

Miroslav Joch
Petra Kubelková
Filip Jančík
Alena Výborná

STANOVENÍ STRAVITELNOSTI ŽIVIN V KRMNÝCH DÁVKÁCH PŘEŽVÝKAVCŮ



ISBN: 978-80-7403-357-5



CERTIFIKOVANÁ METODIKA

STANOVENÍ STRAVITELNOSTI ŽIVIN V KRMNÝCH DÁVKÁCH PŘEŽVÝKAVCŮ

Autoři

Ing. Miroslav Joch, Ph.D.

Ing. Petra Kubelková, Ph.D.

Ing. Filip Jančík, Ph.D.

Ing. Alena Výborná

Oponenti

prof. MVDr. Ing. Petr Doležal, CSc.

Ústav výživy zvířat a pícninářství, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Jan Vodička, Ph.D.

Odbor živočišných komodit a ochrany zvířat, Ministerstvo zemědělství

Metodika byla vypracována za podpory Ministerstva zemědělství v rámci řešení výzkumného projektu NAZV QK23020011.

Předkladatel: Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i.
se sídlem Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetěves

Zástupcem autorského týmu je Ing. Miroslav Joch, Ph.D.



Ministerstvo zemědělství
Těšnov 65/17
110 00 Praha 1

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

č. MZE-42554/2026-13142

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: **Stanovení stravitelnosti živin v krmných dávkách přežvýkavců**

Autoři: **Ing. Miroslav Joch, Ph.D., Ing. Petra Kubelková, Ph.D., Ing. Filip Jančík, Ph.D.,
Ing. Alena Výborná**

Názvy organizací: **Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i.
se sídlem Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetíněves**

Místo vydání: **Praha**

Rok vydání: **2026**

ISBN: **978-80-7403-357-5**

Metodika byla vypracována za podpory Ministerstva zemědělství v rámci řešení výzkumného projektu NAZV QK23020011.

Ing. Jan Vodička, Ph.D.



Digitální podpis: 22.05.2026 21:39

Důvod podpisu: Schvaluji tento dokument.

.....
podpis zástupce odborného útvaru státní správy

v z. Ing. Jan Vodička, Ph.D.

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:

**Mgr. Jan
Radoš**

Digitálně podepsal
Mgr. Jan Radoš
Datum: 2026.05.27
17:13:11 +02'00'

.....
Mgr. Jan Radoš

Obsah

1. Cíl metodiky	4
2. Vlastní popis metodiky	4
3. Srovnání novosti postupů	22
4. Popis uplatnění metodiky	22
5. Ekonomické aspekty	23
6. Seznam použité literatury	25
7. Seznam publikací, které předcházely metodice	26

Stanovení stravitelnosti živin v krmných dávkách přežvýkavců

1. Cíl metodiky

Hlavním cílem metodiky je popsat principy, postupy a praktické možnosti využití přirozených indikátorů k odhadu zdánlivé stravitelnosti živin u přežvýkavců. Metodika se zaměřuje zejména na využití přirozeně se vyskytujících, nestravitelných složek krmiv (nestravitelný popel, nestravitelná neutrálně detergentní vláknina a nestravitelná acido-detergentní vláknina), které umožňují stanovit poměr mezi přijatými a vyloučenými živinami bez nutnosti sběru veškerých výkalů. Tento přístup představuje praktickou a méně náročnou alternativu ke klasickým bilančním pokusům. Metodika shrnuje postupy odběru a zpracování vzorků krmiv a výkalů, laboratorní analýzy indikátorů a živin a způsob výpočtu zdánlivé stravitelnosti.

Dalším cílem metodiky je aktualizace údajů o stravitelnosti živin krmných dávek přežvýkavců s rozdílným zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv. Tato aktualizovaná data mohou být využita jako vstupní parametry pro výpočty emisí skleníkových plynů u přežvýkavců, protože stravitelnost krmné dávky významně ovlivňuje produkci metanu i celkovou efektivitu využití živin. Metodika tak poskytuje ucelený rámec pro stanovení stravitelnosti živin v podmínkách experimentálních i poloprovozních pokusů a současně přispívá k rozšíření znalostí o využitelnosti živin v krmných dávkách přežvýkavců.

Dedikace metodiky

Metodika je výsledkem řešení projektu QK23020011 „Rozvoj strategií snižování emisí skleníkových plynů a amoniaku z chovů hospodářský zvířat v České republice“

2. Vlastní popis metodiky

2.1 Úvod do problematiky

Potenciální nutriční hodnota krmiva je stanovována na základě jeho chemického složení. Tato hodnota však vyjadřuje pouze teoretický potenciál využitelnosti živin. Skutečná nutriční hodnota je ovlivněna ztrátami, ke kterým dochází během trávení, vstřebávání a následného metabolismu živin v organismu zvířete. Nejvýznamnější z těchto ztrát je část živin, která není absorbována v trávicím traktu a je vyloučena ve výkalech. Stravitelnost krmiva je proto definována jako podíl přijatých živin, který není vyloučen ve výkalech, a je tak považován za absorbovaný (McDonald et al., 2022).

Stanovení stravitelnosti živin představuje jeden z klíčových ukazatelů kvality krmné dávky nejen u přežvýkavců a má zásadní význam pro optimalizaci efektivity krmení, dosažení vysoké produkční

užitkovosti zvířat i udržení dobrého zdravotního stavu (Arbaoui a de Vega, 2025). Přesné určení stravitelnosti umožňuje optimalizovat složení krmných dávek a zvyšovat využitelnost živin z objemných i koncentrovaných krmiv. Za referenční a metodicky nejpřesnější postup je považováno stanovení stravitelnosti pomocí bilančních pokusů, které spočívají v kompletním měření příjmu živin a jejich výdeje ve výkalech, při současném odděleném sběru moči. Tato metoda je však technicky i organizačně náročná, ekonomicky zatěžující a vyžaduje speciální experimentální vybavení. Zvířata musí být umístěna do metabolických klecí nebo vybavena sběrnými postroji, což může představovat významný stresový faktor (Huhtanen et al., 1994). V důsledku uvedených omezení je obvykle počet zvířat zahrnutých do bilančních pokusů nízký (Morris et al., 2018).

Omezení klasických bilančních pokusů lze částečně překonat stanovením stravitelnosti pomocí indikátorů (markerů), které se podle svého původu dělí na interní (přirozené, tj. přirozeně se vyskytující v krmné dávce) a externí (vnější, tj. cíleně přidávané do krmné dávky). Přirozené indikátory jsou nejčastěji nerozpustný popel (AIA, *acid insoluble ash*), nerozpustné frakce vlákniny (iADF, *indigestible acid detergent fibre*, iNDF, *indigestible neutral detergent fibre*) či uhlovodíky s dlouhými řetězci (n-alkany, C25–C35), jež se nacházejí ve voskové kutikule listů a využívají se zejména při hodnocení stravitelnosti pastvy. Vnější indikátory se do krmné dávky záměrně přidávají za účelem stanovení stravitelnosti; mezi nejběžnější patří oxid chromitý (Cr_2O_3) a oxid titaničitý (TiO_2).

V praktických podmínkách chovů je stanovení stravitelnosti pomocí klasických bilančních pokusů téměř nerealizovatelné. Použití externích indikátorů je rovněž problematické, protože vyžaduje individuální podávání indikátoru po dobu nejméně dvou týdnů. Pro praktické účely se proto jeví jako nejvhodnější využití přirozených indikátorů, zejména nerozpustného popela a nestravitelné vlákniny. Tyto indikátory patří mezi nejčastěji používané (Morris et al., 2018), přičemž výsledky studií stanovujících stravitelnost různých typů diet s jejich použitím nejsou vždy konzistentní (Huhtanen et al., 1994; Lee a Hristov, 2013; Kanani et al., 2015). V rámci metodiky bude popsána vhodnost těchto přirozených indikátorů pro hodnocení stravitelnosti krmných dávek s různým zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv. Budou rovněž prezentována konkrétní data stravitelnosti krmných dávek u dojnic během laktace a stání na sucho, která mohou sloužit k přesnější formulaci krmných dávek tak, aby přísun využitelných živin lépe odpovídal potřebám zvířete, a také k odhadu produkce metanu, kde stravitelnost živin představuje významný faktor.

2.2 Použité metody stanovení stravitelnosti

V provedených experimentech byla pro stanovení stravitelnosti živin využita metoda klasických bilancí a indikátorová metoda s využitím následujících přirozených indikátorů: nerozpustný popel (AIA), nestravitelná neutrálně detergentní vláknina (iNDF) a nestravitelná acido-detergentní vláknina (iADF).

2.2.1 Metoda klasických bilancí

Tato metoda byla využita v úvodním experimentu se skopci, který měl posoudit vhodnost využití indikátorů pro stanovení stravitelnosti krmných dávek s různými poměry objemných a koncentrovaných krmiv. Metoda klasických bilancí je založena na porovnání známého množství přijaté živiny s množstvím téže živiny vyloučené výkaly.

Praktické provedení:

Pokusné období je rozděleno na dvě období. Období navykací, které trvá 10 až 21 dní (obvykle okolo 14 dní) a období sběru vzorků dlouhé 5 až 10 dní. Pokud jsou zvířata v období sběru vzorků umístěna v metabolických klecích, neměla by doba umístění překročit 5 dní. Dle Směrnice 2010/63/EU (příloha VIII, oddíl III) o ochraně zvířat používaných pro vědecké účely je umístění zvířete do metabolické klece na méně než 24 hodin klasifikováno jako mírný postup, od 24 hodin do 5 dnů jako střední postup a nad 5 dní jako závažný postup.

Cílem navykacího období je zajistit adaptaci zvířat na krmný režim a na dietu tak, aby výdej exkrementů odpovídal pouze testované dietě, ne dietě z předchozího období. Dále slouží k adaptaci ošetřovatelů zvířat na režim pokusu pro zajištění konzistentní péče a správné provádění všech manipulací během experimentu. V průběhu celého pokusného období by měla být dodržována stejná technika (forma krmiva, způsob podání, dávkování, frekvence) i doba krmení. Při neomezeném (*ad libitum*) krmení je předkládáno množství krmiva, které vede ke zhruba 5–10 % krmných zbytků (vyjádřeno v sušině).

V průběhu sběrného období je denně u každého zvířete zaznamenáváno množství předkládaného krmiva i krmných zbytků. Vzorky krmiv a krmných zbytků jsou také denně odebírány a uloženy při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do konce sběrného období či experimentu, kdy se z jednodenních vzorků vytvoří souhrnný vzorek pro každé zvíře a pokusné období. Tyto vzorky se poté podrobí chemické analýze zastoupení živin. Denně je také zaznamenáváno celkové množství výkalů každého zvířete. Je potřeba započítat i hmotnost vzorků výkalů, které nebyly čistě odebrány a jsou kontaminovány (např. močí). Tato hmotnost se přičte k celkové hmotnosti výkalů, ale kontaminované vzorky se nehomogenizují s celkovým vzorkem pro pozdější odběr na analýzu. Odebrané výkaly z každého dne jsou zváženy, důkladně homogenizovány (promíchány) a je odebrán dílčí vzorek (3–5 %), který se uloží do uzavíratelné nádoby odpovídající velikosti s těsně uzavíratelným víkem a následně se uchovává zmrazený při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V praxi jsou každé ráno před distribucí krmiva veškeré výkaly zváženy a homogenizovány (s výjimkou kontaminovaných). Pro získání homogenního vzorku je vhodné použít elektrický mixér a vzorek odebrat bezprostředně po promíchání, aby se zabránilo sedimentaci. Na konci odběrové fáze by měl být vytvořen pro každé zvíře souhrnný (poolovaný) vzorek výkalů z jednodenních vzorků. Následně by měly být

odebrány reprezentativní vzorky vhodné velikosti (cca 500 g) a uchovány zmrazené při -20 °C pro pozdější nutriční a další analýzy.

Ze získaných dat je počítán koeficient bilanční zdánlivé stravitelnosti podle následujícího vzorce:

$$\text{Bilanční stravitelnost (\%)} = \frac{\text{živina přijatá (g)} - \text{živina vyloučená výkaly (g)}}{\text{živina přijatá (g)}} \times 100$$

Kde je živina přijatá vypočítána jako rozdíl mezi množstvím živiny v předkládané krmné dávce a množstvím živiny v krmných zbytcích (vše vyjádřeno v sušině). Množství živiny vyloučené výkaly je stanoveno jako součin množství vyloučených výkalů a koncentrace živiny v těchto výkalech.

Chemické složení vzorků krmných dávek, krmných zbytků a výkalů bylo stanoveno podle níže uvedených standardizovaných analytických postupů:

Úprava vzorků. Vzorky byly před analýzou důkladně homogenizovány mletím v laboratorním mlýnku se sítem o velikosti ok 1 mm. Vlhké vzorky byly před homogenizací předsoušeny (při 60 °C).

Sušina. Vzorky byly sušeny při 105 °C do dosažení konstantní hmotnosti (minimálně 3 h). Navážka činila 5 g a po vysušení byly vzorky ochlazeny v exsikátoru a převáženy. Obsah sušiny byl vypočten jako podíl hmotnosti vzorku po sušení k původní hmotnosti vzorku a vyjádřen v procentech.

Hrubý protein. Stanovení hrubého proteinu ve vzorcích krmiv bylo provedeno stanovením celkového obsahu dusíku, přičemž pro výpočet proteinu byl použit konverzní faktor 6,25. Vzorky byly mineralizovány koncentrovanou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátoru, následně byl uvolněný amoniak destilován do kyselého roztoku a jeho množství stanoveno titrací.

Hrubý tuk. Hrubý tuk ve vzorcích krmiv byl stanoven extrakcí nepolárním rozpouštědlem (diethyl ether) pomocí Soxhletova extraktoru. Navážka vzorku (1 g) byla umístěna do extrakční trubice a extrahována po dobu 6 hodin, aby se tuky a další nepolární složky rozpustily. Po ukončení extrakce bylo rozpouštědlo odpařeno a zůstaly pouze extrahovatelné látky, jejichž hmotnost byla stanovena a vypočtena jako procento z původní hmotnosti vzorku. Výsledek je vyjádřen jako hrubý tuk a zahrnuje veškeré látky rozpustné v nepolárním rozpouštědle.

NDF. Obsah neutrálně detergentní vlákniny (NDF) ve vzorcích krmiv, zbytků a výkalů byl stanoven pomocí přístroje ANKOM Fiber Analyzer. Sušený a mletý vzorek byl umístěn do speciálních filtračních sáčků (F57, ANKOM Technology, Macedon, NY, USA; velikost pórů: 25 μm) a extrahován neutrálním detergentem (laurylsulfát sodný) s přísadkou termostabilní α-amylázy po dobu 60 minut. Po extrakci byly sáčky opláchnuty vodou, vysušeny a zváženy. Obsah NDF byl vypočten jako procento hmotnosti rezidua z původní hmotnosti vzorku.

ADF. Obsah acido-detergentní vlákniny (ADF) ve vzorcích krmiv byl stanoven pomocí přístroje ANKOM Fiber Analyzer. Sušený a mletý vzorek byl umístěn do speciálních filtračních sáčků (F57, ANKOM Technology, Macedon, NY, USA; velikost pórů: 25 μm) a extrahován kyselým detergentem (roztok kyseliny sírové a cetyltrimethylamoniového bromidu) po dobu 60 minut. Po extrakci byly sáčky opláchnuty vodou, vysušeny a zváženy. Obsah ADF byl vypočten jako procento hmotnosti rezidua z původní hmotnosti vzorku.

2.2.2 Indikátorové metody

Indikátorové metody umožňují stanovení zdánlivé stravitelnosti živin bez nutnosti zaznamenávání spotřeby krmiva a sbírání veškerých výkalů. Indikátorové metody jsou založeny na porovnávání zastoupení indikátoru (tzn. nestravitelné složky) a živiny v krmné dávce a ve výkalech. Ve výkalech se vylučuje veškerý indikátor, ale pouze část živiny (nestrávená část). Z toho vyplývá, že koncentrace indikátoru ve výkalech vzroste úměrně tomu, kolik živiny se strávilo. U indikátorové metody se koeficient stravitelnosti vypočítá dle následujícího vzorce:

$$\text{Koeficient stravitelnost (\%)} = 100 - \frac{I_{\text{krmivo}} \times \text{Žvýkal}}{I_{\text{výkal}} \times \text{Žkrmivo}} \times 100$$

I_{krmivo} – obsah indikátoru v krmivu (%)

$I_{\text{výkal}}$ – obsah indikátoru ve výkalech (%)

Ž_{krmivo} – obsah živiny v krmivu (%)

$\text{Ž}_{\text{výkal}}$ – obsah živiny ve výkalech (%)

Praktické provedení:

Jak bylo uvedeno, indikátorové metody nevyžadují zaznamenávání celkového příjmu krmiva a kompletní sběr výkalů, ale u každého zvířete se odebírají pouze reprezentativní vzorky krmné dávky a výkalů (jde o tzv. spot sampling). Kolik by těchto reprezentativních vzorků výkalů mělo být, bylo předmětem studie Morris et al. (2018). Autoři porovnávali odběr 2, 4, 6 a 12 vzorků v pravidelných

intervalech v průběhu 24 h a zjistili, že pro srovnatelné výsledky indikátorové metody s metodou klasických bilancí je nezbytné odebrat nejméně 6 vzorků výkalů od každého zvířete. Ve vědeckých experimentech se obvykle těchto 6 vzorků neodebírá v jednom dni, ale odběr je rozložen do dvou či tří dnů, tedy buď 3 odběry za den ve 2 dnech, či 2 odběry za den ve 3 dnech. Tyto odběry se provádějí po navykacím (adaptačním) období, které by nemělo být kratší než 10 dní (optimálně 14). Navykací období je zařazováno ze stejného důvodu jako u stanovení bilanční stravitelnosti, tzn. zajištění kompletní eliminace předchozího krmiva z trávicího traktu zvířete, stabilizace příjmu nové krmné dávky a adaptace zvířat i ošetřovatelů na režim experimentu.

Odebrané vzorky výkalů jsou uchovány při teplotě 4 °C až do doby, kdy je u každého zvířete odebráno všech 6 vzorků (většinou během 48 či 72 hodin). Poté jsou tyto vzorky u každého zvířete smíchány a je vytvořen jeden souhrnný vzorek pro každé zvíře. V tomto kompozitním vzorku je analyzováno množství základních živin a zastoupení indikátoru (AIA, iNDF, nebo iADF).

Analýza zastoupení nerozpustného popela (AIA)

Množství AIA v krmné dávce a ve výkalech bylo analyzováno podle mírně upravené metody Van Keulen and Young (1977) s použitím 2 N HCl. Do spalovacího kelímku se naváží v duplikátu 5 g vzorku krmiva, krmných zbytků či výkalů, které se suší 2 h při teplotě 135 °C v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu. Poté se vzorky schladí v exsikátoru na laboratorní teplotu a zváží se. Dále se vzorky spalují při teplotě 550 °C nejméně 8 h. Po spálení se popel kvantitativně převede do kádinky, přidá se 100 ml 2 N HCl a směs se vaří na topné desce alespoň 5 minut. Horká směs je poté filtrována před filtrační papír, který neobsahuje popel (např. Whatman 41), a vzorek se promývá horkou destilovanou vodou. Filtrační papír se s promytm vzorkem přemístí do spalovacího kelímku a vzorek se znovu spaluje při teplotě 550 °C (nejméně 8 h). Po spálení se vzorek opět schladí v exsikátoru na laboratorní teplotu a zváží se. Obsah nerozpustného popela ve vzorku se vypočte podle následujícího vzorce:

$$\text{Nerozpustný popel (\%)} = \frac{(H_{kp} - H_k)}{H_s} \times 100$$

H_{kp} – hmotnost spalovacího kelímku s popelem

H_k – hmotnost samotného spalovacího kelímku

H_s – hmotnost navážky (v sušině)

Analýza zastoupení nestravitelné neutrálně detergentní vlákniny (iNDF)

Nestravitelná NDF (iNDF) byla analyzována podle metody Huhtanena et al. (1994) upravené podle Morrise et al. (2018). Vzorky krmiv a výkalů se usuší (55 °C, 48 h) a pomelou (1 mm). Poté se vzorky

naváží (500 mg) do filtračních sáčků (25 µm, F57, ANKOM). Tyto sáčky se umístí do nosiče a dají se inkubovat na 12 dní (288 h) do bachoru kanylované dojnice. Pokud není k dispozici speciální nosič na sáčky se vzorky, lze tyto sáčky vložit do bachoru v komerčně dostupném síťovaném vaku na praní jemného prádla zatíženém závažím (cca 500 g, např. oblým kamenem, či plastovou lahví naplněnou kameny). Po inkubaci se sáčky se vzorky promývají čistou vodou, dokud neodtéká čirá voda. K promytí lze také využít automatickou pračku s využitím cyklu se studenou vodou (30 min; Huhtanen et al., 1994). Po promytí se ve vzorcích stanoví NDF v přístroji ANKOM (ANKOM Technology, Macedon, USA) s termostabilní α -amylázou a sulfitem sodným (Van Soest, 1991, Morris et al., 2018). Po analýze NDF se sáčky se vzorky usuší (105 °C, 24 h) a zváží. Výsledné reziduum v sáčku je považováno za nestravitelnou NDF. Obsah nestravitelné NDF ve vzorku se vypočte podle následujícího vzorce:

$$\text{Nestravitelné NDF (iNDF; \%)} = \frac{(H3 - H1)}{H2} \times 100$$

H1 – hmotnost prázdného sáčku (g)

H2 – původní hmotnost vzorků (g)

H3 – hmotnost sáčku s reziduem vzorku po analýze NDF (tzn. na konci procesu) (g)

Analýza zastoupení nestravitelné neutrálně detergentní vlákniny (iADF)

Analýza nestravitelné ADF (iADF) probíhá obdobně jako u iNDF s výjimkou samotného stanovení vlákniny. Vzorky se připraví, naváží do filtračních sáčků a inkubují v bachoru kanylované dojnice po dobu 12 dní (288 h) stejně jako u iNDF. Po inkubaci se sáčky promyjí čistou vodou a poté se stanoví ADF v přístroji ANKOM (ANKOM Technology, Macedon, USA) podle metody Van Soest (1991), kdy je vzorek 60 minut extrahován kyselým detergentem (roztok kyseliny sírové a cetyltrimethylamoniového bromidu). Sáčky se následně usuší (105 °C, 24 h) a zváží. Výsledné reziduum v sáčku představuje nestravitelnou ADF. U metod stanovení iNDF a iADF se neprovádí korekce na popeloviny, tzn. vzorek není spalován a výsledná hmotnost NDF a ADF zahrnuje i obsah popelovin.

2.3 Vlastní experimenty

Experimentální část metodiky zahrnuje experiment (Experiment 1), ve kterém byly porovnávány tři přirozené indikátory pro ověření stravitelnosti živin u přežvýkavců. V dalších čtyřech experimentech (Experimenty 2, 3, 4 a 5) byla stanovována stravitelnost směsné krmné dávky (TMR) dojníc s různým zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv pomocí přirozených indikátorů.

Experiment 1

Cílem experimentu bylo porovnat stanovení zdánlivé stravitelnosti pomocí klasických bilancí a pomocí přirozených indikátorů.

Do pokusu bylo zařazeno devět skopců, kteří byli zváženi a podle hmotnosti rozděleni do tří vyrovnaných skupin. Před zahájením samotného experimentu byli skopci navykáni po dobu 14 dní na krmnou dávku složenou z kukuřičné siláže a malého množství koncentrované směsi. Vlastní experimentální období se skládalo ze tří period s třemi dietami (latinský čtverec 3 × 3), kdy byla ověřována stravitelnost živin krmných dávek s rozdílným zastoupením kukuřičné siláže a koncentrovaných krmiv. V průběhu celého experimentu byl každý skopek krměn postupně všemi třemi krmnými dávkami. Krmné dávky byly:

- 1) 100 % kukuřičné siláže (CON0; vyjádřeno v sušině)
- 2) 75 % kukuřičné siláže a 25 % koncentrované směsi (CON25)
- 3) 50 % kukuřičné siláže a 50 % koncentrované směsi (CON50)

Jako koncentrovaná směs byla použita směs pro dojnice na začátku laktace s následujícím zastoupením jednotlivých komponentů (v sušině): řepkový extrahovaný šrot 40,8 %, pšenice 34,5 %, ječmen 9,7 %, minerální směs 6,6 %, oves 4,5 %, kyselina palmitová 2,8 %, uhličitan sodný 1,1 % (chemické složení kukuřičné siláže a koncentrované směsi viz tabulka 1). Krmné dávky byly skopcům podávány v množství sušiny na kus a den odpovídající 2 % jejich tělesné hmotnosti. Každá perioda byla rozdělena na 10 dnů navykání a 5 dnů sběru vzorků. Krmná dávka byla předkládána skopcům dvakrát denně.

V období sběru vzorků (5 dní) byla zvířata umístěna v metabolických klecích a byly sbírány veškeré výkaly od každého zvířete. Každý den bylo celkové množství výkalů u každého zvířete zváženo, homogenizováno a bylo odebráno a uloženo (−20 °C) 5 % těchto výkalů. Odděleně od výkalů byla sbírána veškerá moč, jejíž produkce byla každý den změřena a zaznamenána. Na konci každého ze tří období sběru vzorků byly jednodenní vzorky výkalů u každého zvířete smíchány a homogenizovány a byl vytvořen jeden směsný vzorek pro každé zvíře a periodu. V průběhu období sběru vzorků bylo také zaznamenáváno množství krmných zbytků a byl odebrán vzorek těchto zbytků. Na konci sběrného období se vytvořil jeden směsný vzorek pro každé zvíře z jednodenních vzorků zbytků. Vzory předkládaných krmiv, krmných zbytků a výkalů byly analyzovány na zastoupení sušiny, hrubého proteinu, tuku, popeloviny, NDF a ADF a na také zastoupení vnitřních indikátorů (AIA, iNDF a iADF) dle metod uvedených v části 2.2.

Tabulka 1. Chemické složení kukuřičné siláže a směsi koncentrovaných krmiv (% sušiny) použitých v experimentu se skopci (experiment 1)

	Kukuřičná siláž	Koncentrovaná směs
Sušina (% původní sušiny)	38,2	87,7
Hrubý protein	7,4	15,8
Tuk	2,8	4,0
Organická hmota	95,7	90,1
NDF	41,8	28,2
ADF	22,3	6,6

Experiment 2

V tomto experimentu byla stanovována stravitelnost živin krmné dávky dojníc v období stání na sucho pomocí indikátorové metody s využitím AIA jako indikátoru. Hlavním cílem popisovaného experimentu bylo ověřit vliv směsi kyseliny kaprinové a laurové na produkci metanu, bachorovou fermentaci a stravitelnost krmné dávky (Joch et al., 2023), nicméně vliv těchto kyselin na stravitelnost není předmětem této metodiky, pozornost proto bude zaměřena především na stravitelnost živin kontrolní krmné dávky.

Do pokusu bylo zařazeno osm suchostojných holštýnských dojníc (průměr \pm směrodatná odchylka; laktace 3 ± 1 , hmotnost 699 ± 78 kg). Dojnice byly rozděleny do dvou vyrovnaných skupin po čtyřech a každé skupině byla náhodně přidělena pokusná nebo kontrolní krmná dávka. Kontrolní krmná dávka se skládala pouze z objemných krmiv a směsi minerálů a vitaminů (tabulka 2). Celková délka pokusu byla 42 dní. Experiment byl rozdělen do dvou period, kdy každá byla dlouhá 21 dní a skládala se ze dvou období, období navykání (14 dní) a období sběru vzorků (7 dní). Po první periodě byly krmné dávky mezi skupinami prohozeny, v průběhu experimentu tak všechny dojnice postupně přijímaly obě krmné dávky.

Výkaly (cca 400 g) od 8 dojníc byly odebírány přímo z rekta ve dvou po sobě jdoucích dnech (17. a 18. den každé periody). V průběhu těchto dvou dnů byly výkaly od každé dojnice odebrány dvakrát (před nakrmením a 6 hodin po nakrmení). Dva odběry výkalů nejsou metodicky pro stanovení stravitelnosti optimální. Vzhledem k režimu experimentu a minimalizaci stresu zvířat však nebylo možné provést více odběrů. Přesto byla zachována vysoká standardizace času odběru vzhledem k pasáži krmiva, což umožňuje považovat získaná data za reprezentativní a věrohodná. Vzorky z prvního dne byly umístěny v pevně uzavíratelných nádobách a skladovány v lednici (4 °C) do druhého dne, kdy byl odebrán druhý vzorek. Po dokončení posledního odběru byly vzorky výkalů smíchány a homogenizovány. Poté byly vzorky usušeny (55 °C, 48 h) a pomlety (síto 1 mm). V průběhu odběrů výkalů byly odebírány také vzorky krmných dávek a krmných zbytků, ty byly také usušeny a pomlety. Vzorky výkalů, krmných dávek

a krmných zbytků byly analyzovány a byl stanoven obsah sušiny, hrubého proteinu, popelovin, tuku, NDF a ADF. Ve vzorcích byla také stanoveno zastoupení indikátoru (AIA) podle metody popsané v části 2.2.

Tabulka 2. Použitá krmiva (% ze sušiny) a chemické složení (% ze sušiny, pokud není uvedeno jinak) kontrolní krmné dávky suchostojných dojnic (experiment 2).

Položka	Množství
Použitá krmiva	% ze sušiny
Objemná krmiva	98,2
Vojtěšková siláž	32,5
Luskoobilná siláž	21,7
Pšeničná sláma	20,0
Kukuřičná siláž	17,4
Pivovarské mláto	6,6
Koncentrovaná krmiva	1,8
Směs minerálů a vitaminů	1,8
Chemické složení	% ze sušiny
Sušina (% původní sušiny)	39,9
Organická hmota	90,5
Hrubý protein	16,1
Tuk	1,4
NDF	45,4
ADF	26,7

Experiment 3

V experimentu 3 byla stanovena stravitelnost živin u dojnic krmených směsnou krmnou dávkou s nízkým podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 88:12) s využitím iADF jako indikátoru. V tomto experimentu byla ověřován vliv náhrady řepkového extrahovaného šrotu dusičnanem vápenatým na produkci skleníkových plynů, bachorovou fermentaci, složení bachorového mikrobiomu a stravitelnost živin.

Do pokusu bylo zařazeno osm holštýnských dojnic ve fázi zasušení (průměr \pm směrodatná odchylka; laktace 3 ± 1 , hmotnost 567 ± 70 kg), kdy každá čtveřice dojnic byla umístěna do samostatné respirační komory. Experimentální období celkově trvalo 42 dní a bylo rozděleno do dvou období po 21 dnech (14 dní navykání + 7 dní sběru vzorků). Pro experiment byl využit crossover design, při kterém byla každá dojnice krmena jak kontrolní, tak pokusnou krmnou dávkou v různých periodách. V první periodě byla jedna skupina dojnic krmena kontrolní krmnou dávkou a druhá pokusnou, ve druhé periodě se krmné dávky prohodily. Kontrolní krmná dávka byla složena z vojtěškové siláže, kukuřičné siláže, slámy, pšenice a řepkového extrahovaného šrotu, pokusná krmná dávka byla stejná s výjimkou řepkového

extrahovaného šrotu, který byl kompletně nahrazen dusičnanem vápenatým. Složení kontrolní krmné dávky je uvedeno v tabulce 3.

Výkaly (cca 400 g) od osmi dojnic byly odebírány přímo z rekta ve dvou po sobě jdoucích dnech (19. a 20. den každé periody). V průběhu dvou dnů byly výkaly od každé dojnice odebrány šestkrát (každý den v 6:00, 12:00 a 18:00). Vzorky výkalů z prvního dne byly umístěny v pevně uzavíratelných nádobách a skladovány v lednici (4 °C) do druhého dne, kdy byly odebrány zbývající vzorky. Po dokončení posledního odběru byly vzorky výkalů smíchány a homogenizovány, tím byl vytvořen jeden kompozitní vzorek pro každou dojnici a periodu určený pro analýzu živin. Poté byly vzorky usušeny (55 °C, 48 h) a pomlety (síto 1 mm). V průběhu odběrů výkalů byly odebírány také vzorky krmné dávky a krmných zbytků, ty byly také usušeny a pomlety. Vzorky výkalů, krmiv a krmných zbytků byly analyzovány a byl stanoven obsah sušiny, hrubého proteinu, popelovin, tuku a NDF. Ve vzorcích byla také stanoveno zastoupení indikátoru (iADF) podle metody popsané v části 2.2.

Tabulka 3. Použitá krmiva (% ze sušiny) a chemické složení (% ze sušiny, pokud není uvedeno jinak) kontrolní krmné dávky dojnic

Položka	Množství
Použitá krmiva	% ze sušiny
Objemná krmiva	88
Vojtěšková siláž	49
Kukuřičná siláž	23
Pšeničná sláma	16
Koncentrovaná směs	12
Pšenice	8
Řepkový extrahovaný šrot	4
Chemické složení	% ze sušiny
Sušina (% původní sušiny)	52,7
Organická hmota	91,5
Hrubý protein	13,0
Tuk	1,9
NDF	50,1
ADF	32,6

Experiment 4

V experimentu 4 byla stanovena stravitelnost živin u dojnic krmených směsnou krmnou dávkou s vysokým podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 57:43) s využitím iADF jako indikátoru. V tomto experimentu byl ověřován vliv částečné náhrady řepkového extrahovaného šrotu dusičnanem vápenatým na produkci metanu, užitkovost a stravitelnost živin.

V experimentu bylo rozděleno 34 holštýnských dojnic (průměr ± směrodatná odchylka; laktace 2 ± 1, hmotnost 574 ± 36 kg, produkce mléka 42,6 ± 6,2 kg/den, den v laktaci 80 ± 37) do dvou

vyrovnaných skupin (podle aktuální dojivosti, dne v laktaci, parity a hmotnosti), každé skupině byla v první periodě pokusu náhodně přiřazena jedna ze dvou krmných dávek: 1) Kontrola, směsná krmná dávka s poměrem objemných a koncentrovaných krmiv 57:43 (tabulka 4); 2) Dusičnan, kontrolní krmná dávka, ve které bylo 1,9 kg řepkového extrahovaného šrotu nahrazeno 0,32 kg dusičnanu. Obě krmné dávky obsahovaly stejné množství hrubého proteinu v sušině. V druhé periodě se krmné dávky mezi skupinami prohodily. Každá z period byla rozdělena na 14denní období navykání a 7denní období sběru vzorků. Mezi periodami bylo 5denní vymývací období (washout period), kdy všechny dojnice přijímaly kontrolní krmnou dávku.

Výkaly (cca 400 g) od 20 dojnic byly odebírány přímo z rekta ve dvou po sobě jdoucích dnech (18. a 19. den každé periody). V průběhu těchto dvou dnů byly výkaly od každé dojnice odebrány šestkrát (každý den v 6:00, 12:00 a 18:00). Vzorky výkalů z prvního dne byly umístěny v pevně uzavíratelných nádobách a skladovány v lednici (4 °C) do druhého dne, kdy byly odebrány zbývající vzorky. Po dokončení posledního odběru byly vzorky výkalů smíchány a homogenizovány, tím byl vytvořen jeden kompozitní vzorek pro každou dojnici a periodu určený pro analýzu živin. Poté byly vzorky usušeny (55 °C, 48 h) a pomlety (síto 1 mm). V průběhu odběrů výkalů byly odebírány také vzorky krmné dávky a krmných zbytků, ty byly také usušeny a pomlety. Vzorky výkalů, krmiv a krmných zbytků byly analyzovány a byl stanoven obsah sušiny, hrubého proteinu, popelovin, tuku a NDF. Ve vzorcích byla také stanoveno zastoupení indikátoru (iADF) podle metody popsané v části 2.2.

Tabulka 4. Použitá krmiva (% ze sušiny) a chemické složení (% ze sušiny, pokud není uvedeno jinak) kontrolní krmné dávky s vysokým zastoupením koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 57:43)

Položka	Množství
Použitá krmiva	% ze sušiny
Objemná a tekutá krmiva	56,9
Vojtěšková siláž	14,7
Kukuřičná siláž	29,3
Pšeničná sláma	0,8
Silážované vlhké kukuřičné zrno	6,7
Tekuté krmivo MGP	5,4
Koncentrovaná směs	43,1
Pšenice	14,9
Ječmen	4,3
Oves	1,9
Řepkový extrahovaný šrot	17,5
Minerální směs	2,6
Chráněný tuk	1,1
Uhličitan sodný	0,8

Položka	Množství
Chemické složení	% ze sušiny
Sušina (% původní sušiny)	47,1
Organická hmota	92,3
Hrubý protein	15,6
Tuk	1,9
NDF	28,3
ADF	15,6

Experiment 5

V experimentu 5 byla stanovena stravitelnost živin u dojnic krmených směsnou krmnou dávkou se středním podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 65:35) s využitím iADF jako indikátoru. V tomto experimentu byl ověřován vliv kombinace dusičnanu vápenatého a propylenglykolu v krmné dávce dojnic na produkci metanu, užitkovost a stravitelnost živin.

Do pokusu bylo zařazeno 36 dojnic ve druhé třetině laktace (průměrně 156. den v laktaci) s průměrnou dojivostí 41 kg/den na začátku pokusu. Dojnice byly na základě parity, dne v laktaci, dojivosti a hmotnosti rozděleny do dvou vyrovnaných skupin. Každé skupině byla náhodně přiřazena jedna ze dvou krmných dávek: 1) Kontrola, směsná krmná dávka se středním podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 65:35; tabulka 5); 2) DuPro, stejná směsná krmná dávka jako v kontrole, ve které bylo přibližně 50 % řepkového extrahovaného šrotu, nahrazeno dusičnanem vápenatým a propylenglykolem. Dojnice přijímaly denně přibližně 390 g dusičnanu vápenatého a 200 g propylenglykolu. Celková délka experimentu byla 9 týdnů (63 dní) rozdělených do tří následujících období: referenční období (dva týdny), adaptační období (dva týdny) a odběrové období (pět týdnů).

Výkaly (cca 400 g) od 20 dojnic byly odebírány přímo z rekta ve dvou po sobě jdoucích dnech (54. a 55. den experimentu). V průběhu těchto dvou dnů byly výkaly od každé dojnice odebrány šestkrát (každý den v 6:00, 12:00 a 18:00). Vzorky výkalů z prvního dne byly umístěny v pevně uzavíratelných nádobách a skladovány v lednici (4 °C) do druhého dne, kdy byly odebrány zbývající vzorky. Po dokončení posledního odběru byly vzorky výkalů smíchány a homogenizovány, tím byl vytvořen jeden kompozitní vzorek pro každou dojnici určený pro analýzu živin. Poté byly vzorky usušeny (55 °C, 48 h) a pomlety (síto 1 mm). V průběhu odběrů výkalů byly odebírány také vzorky krmné dávky a krmných zbytků, ty byly také usušeny a pomlety. Vzorky výkalů, krmiv a krmných zbytků byly analyzovány a byl stanoven obsah sušiny, hrubého proteinu, popelovin, tuku a NDF. Ve vzorcích byla také stanoveno zastoupení indikátoru (iADF) podle metody popsané v části 2.2.

Tabulka 5. Použita krmiva (% ze sušiny) a chemické složení (% ze sušiny, pokud není uvedeno jinak) kontrolní krmné dávky s poměrem zastoupení objemných a koncentrovaných krmiv 65:35

Položka	Množství
Použitá krmiva	% ze sušiny
Objemná a tekutá krmiva	64,9
Vojtěšková siláž	25,9
Kukuřičná siláž	24,9
Pšeničná sláma	0,7
Silážované vlhké kukuřičné zrno	8,0
Tekuté krmivo MGP	5,4
Koncentrovaná směs	35,1
Pšenice	9,0
Ječmen	9,3
Řepkový extrahovaný šrot	13,8
Minerální směs	2,8
Uhličitan sodný	0,2
Chemické složení	% ze sušiny
Sušina (% původní sušiny)	47,1
Organická hmota	92,0
Hrubý protein	15,2
Tuk	1,7
NDF	32,5
ADF	21,0

2.4 Dosažené výsledky

Experiment 1

Zvyšující se zastoupení koncentrované směsi v krmné dávce skopců zvyšovalo stravitelnost hrubého proteinu (tabulka 6). Podobná tendence ($P < 0,1$) platila i pro sušinu a NDF. Naopak poměr kukuřičné siláže a koncentrované směsi neměl vliv na stravitelnost ADF. Při porovnání metod stanovení stravitelnosti sušiny u krmných dávek s rozdílným zastoupením kukuřičné siláže a koncentrované směsi byla nejvyšší stravitelnost stanovena referenční metodou, tedy metodou bilanční. Průměrná stravitelnost sušiny všech diet stanovena bilanční metodou byla 70,7 % (tabulka 7). Stravitelnost sušiny stanovena pomocí přirozených indikátorů byla ve srovnání s referenční metodou podhodnocena (tabulka 7). Nejvýraznější podhodnocení stravitelnosti bylo zjištěno při jejím stanovení pomocí iNDF, kdy byla v průměru nižší o 11,1 procentního bodu. U AIA byla stravitelnost průměrně podhodnocena o 10,3 a u iADF o 6,8 procentních bodů. Podhodnocení u iADF však nebylo statisticky významné (tabulka 8). U jednotlivých indikátorů nebylo podhodnocení statisticky významně odlišné u jednotlivých diet. To znamená, že zvyšující se poměr koncentrované směsi neměl statisticky významný vliv na velikost podhodnocení. Ze tří ověřovaných přirozených indikátorů byla jako nejhodnější pro následné

experimenty vyhodnocena nestravitelná acido-detergentní vláknina (iADF). Stanovení stravitelnosti pomocí iADF vykazovalo nejbližší shodu s referenční metodou.

Tabulka 6. Stravitelnost živin stanovená metodou klasických bilancí

Stravitelnost (%)	Krmná dávka			SEM	P-hodnota
	CON0	CON25	CON50		
Sušina	67,8	70,9	73,3	1,66	0,0723
Hrubý protein	50,5	62,0	69,1	1,84	<0,0001
ADF	50,6	48,9	45,2	2,89	0,3793
NDF	52,6	55,6	60,4	2,26	0,0564

CON0 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 100:0 (v sušině); CON25 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 75:25; CON50 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 50:50

SEM = střední chyba průměru

Tabulka 7. Stravitelnost sušiny zjištěná pomocí metody klasických bilancí a indikátorovou metodou s různými přirozenými indikátory (AIA, iNDF a iADF)

Stravitelnost sušiny (%)	Krmná dávka			SEM	P-hodnota
	CON0	CON25	CON50		
Bilanční metoda	67,8	70,9	73,3	1,66	0,072
AIA	56,9	61,5	62,5	1,74	0,017
iNDF	55,0	59,3	64,3	1,71	<0,001
iADF	58,8	63,2	69,7	3,38	<0,001

CON0 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 100:0 (v sušině); CON25 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 75:25; CON50 = kukuřičná siláž:koncentrovaná směs 50:50

SEM = střední chyba průměru

Tabulka 8. Párové rozdíly (DMD_b – DMD_ind) ve stravitelnosti sušiny pokusných krmných dávek stanovené pomocí přirozených indikátorů (DMD_ind) a metodou klasických bilancí (DMD_b) u skopců krmných směsnou krmnou dávkou se zastoupením koncentrované směsi 0, 25 a 50 % sušiny krmné dávky

Indikátor	Celkem ^a	Krmná dávka			SEM	P-hodnota ^b
		CON0	CON25	CON50		
AIA	10,3*	10,8	9,4	10,8	1,52	0,7353
iNDF	11,1*	12,8	11,6	9,0	2,51	0,5600
iADF	6,8	9,0	7,7	3,7	2,76	0,3815

^aPrůměrný rozdíl ve stravitelnosti sušiny zjištěný bilanční a indikátorovou metodou, významnost testována pomocí párového t-testu: *P < 0.05.

^bVliv testované krmné dávky na průměrný rozdíl v porovnávaných metodách stanovení stravitelnosti.

SEM = střední chyba průměru

Experiment 2

V kontrolní krmné dávce byla zaznamenána nejvyšší stravitelnost u tuku (69,8 %), nižší byla stravitelnost hrubého proteinu (68,1 %), organické hmoty (65,9 %) a sušiny (63,7 %). Nejnižší byla stravitelnost frakcí vlákniny, NDF (53,9 %) a ADF (48,7 %) (tabulka 9). Stravitelnost sušiny byla nižší o 4,1 procentního bodu v porovnání se stravitelností sušiny u krmné dávky s pouze objemnými krmivy v experimentu se skopci (experiment 1). Lze předpokládat, že hodnoty stravitelnosti zjištěné metodou s využitím indikátoru (AIA) jsou významně podhodnoceny.

Tabulka 9. Stravitelnost živin u dojnic krmných směsnou krmnou dávkou bez koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 98:2).

Stravitelnost (AIA)	Skupina		SEM	P-hodnota
	Kontrola	Pokus		
Sušina (%)	63,7	64,0	1,58	0,883
Hrubý protein	68,1	68,4	1,45	0,800
Organická hmota	65,9	66,0	1,52	0,964
Tuk	69,8	73,1	1,86	0,282
NDF	53,9	55,3	2,53	0,473
ADF	49,7	52,3	3,16	0,378

SEM = střední chyba průměru

Experiment 3

Podle předpokladů patřily k nejstravitelnějším živinám tuk a organická hmota. Naopak nejméně stravitelná byla vláknina (NDF) (tabulka 10). Stravitelnost hrubého proteinu a sušiny se pohybovala okolo 60 %. Stravitelnost sušiny zjištěná v tomto experimentu pomocí indikátorové metody (iADF) byla podobná jako stravitelnost sušiny odpovídající krmné dávky zjištěná stejnou metodou v experimentu se skopci (experiment 1). Lze tedy také předpokládat, že tyto hodnoty stravitelnosti jsou oproti skutečné stravitelnosti zjišťované referenční metodou významně podhodnocené.

Tabulka 10. Stravitelnost živin u dojnic krmných směsnou krmnou dávkou s nízkým podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 88:12).

Stravitelnost	Skupina		SEM	P-hodnota
	Kontrola	Dusičnan		
Sušina (%)	56,5	57,9	0,56	0,010
Hrubý protein	58,0	60,1	0,80	0,052
Organická hmota	59,2	60,7	0,49	0,003
Tuk	67,2	70,7	1,03	0,039
NDF	53,3	52,9	0,73	0,598

SEM = střední chyba průměru

Experiment 4

V kontrolní krmné dávce byla zaznamenána nejvyšší stravitelnost u tuku (85,7 %), nižší byla stravitelnost organické hmoty (66,0 %), hrubého proteinu (64,1 %) a sušiny (62,9 %). Nejnižší byla stravitelnost vlákniny (NDF; 32,6 %) (Tabulka 11). Stravitelnost sušiny byla vyšší v porovnání se stravitelností sušiny u krmné dávky s nízkým podílem koncentrovaných krmiv, což je v souladu s předpokladem a také s výsledky experimentu se skopci (experiment 1).

Tabulka 11. Stravitelnost živin u dojníc krmených směsnou krmnou dávkou s vysokým podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 57:43).

Stravitelnost	Skupina		SEM	P-hodnota
	Kontrola	Dusičnan		
Sušina (%)	62,9	59,8	0,76	<0,001
Hrubý protein	64,1	59,4	0,88	<0,001
Organická hmota	66,0	63,1	0,71	<0,001
Tuk	85,7	86,1	0,49	0,584
NDF	32,6	29,3	1,66	0,066

SEM = střední chyba průměru

Experiment 5

V kontrolní krmné dávce byla zaznamenána nejvyšší stravitelnost u tuku (78,1 %), nižší byla stravitelnost organické hmoty (66,1 %), sušiny (62,6 %) a hrubého proteinu (60,3 %). Nejnižší byla stravitelnost vlákniny (40,9 %) (tabulka 12). Stravitelnost sušiny byla mírně nižší v porovnání se stravitelností sušiny u krmné dávky s vysokým podílem koncentrovaných krmiv, což je v souladu s předpokladem a také s výsledky experimentu se skopci (experiment 1). V porovnání s bilanční stravitelností odpovídající krmné dávky v experimentu se skopci, lze předpokládat, že hodnoty stravitelnosti zjištěné metodou s využitím indikátoru (iADF) jsou významně podhodnoceny.

Tabulka 12. Stravitelnost živin u dojníc krmených směsnou krmnou dávkou se středním podílem koncentrovaných krmiv (poměr objemná:koncentrovaná krmiva 65:35).

Stravitelnost	Skupina		SEM	P-hodnota
	Kontrola	DuPro		
Sušina (%)	62,6	59,5	0,44	<0,001
Hrubý protein	60,3	57,7	0,83	0,034
Organická hmota	66,1	63,2	0,40	<0,001
Tuk	78,1	80,7	0,95	0,068
NDF	40,9	38,9	1,21	0,258

SEM = střední chyba průměru

Při porovnání výsledků stravitelnosti krmných dávek dojníc s různými zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv s využitím iADF jako nestravitelného indikátoru byla potvrzena vyšší stravitelnost sušiny, hrubého proteinu a tuku v krmných dávkách s vyšším zastoupením koncentrovaných krmiv (tabulka 13). U dalších živin tento trend není jednoznačný u stravitelnosti vlákniny je dokonce opačný. Stravitelnost krmné dávky s nejnižším zastoupením koncentrovaných krmiv byla stanovena s využitím AIA jako indikátoru, a to z toho důvodu, že tento pokus byl proveden ještě před bilančním experimentem se skopci, kde byla zvolena nestravitelná vláknina (iADF) jako nejvhodnější indikátor. Z tohoto důvodu nelze hodnoty stravitelnosti přímo porovnat s hodnotami zjištěnými s využitím iADF.

Tabulka 13. Porovnání stravitelnosti u kontrolních krmných dávek dojníc s různým zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv

Objemná:Koncentrovaná	57:43	65:35	88:12	98:2
Experiment č.	4	5	3	2
Metoda	iADF	iADF	iADF	AIA
Stravitelnost				
Sušina (%)	62,9	62,6	56,5	63,7
Hrubý protein	64,1	60,3	58,0	68,1
Organická hmota	66,0	66,1	59,2	65,9
Tuk	85,7	78,1	67,2	69,8
NDF	32,6	40,9	53,3	53,9

Závěr

Výsledky experimentu se skopci potvrdily, že zvyšující se podíl koncentrované směsi v krmné dávce zvyšuje stravitelnost sušiny, hrubého proteinu a částečně i NDF, zatímco stravitelnost ADF nebyla poměrem objemných a koncentrovaných krmiv významně ovlivněna. Porovnání metod stanovení stravitelnosti ukázalo, že indikátorové metody obecně poskytují nižší hodnoty než referenční bilanční metoda. Největší odchylky byly zjištěny u indikátorů iNDF a AIA, kdy stravitelnost stanovená s využitím těchto indikátorů byla o více než 10 procentních bodů nižší ve srovnání s metodou klasických bilancí. Naopak nestravitelná acido-detergentní vláknina (iADF) vykazovala nejbližší shodu s bilanční metodou a byla proto vyhodnocena jako nejvhodnější indikátor pro následné experimenty. V experimentech s dojnícemi byla obecně nejvyšší stravitelnost zjištěna u tuku, zatímco nejnižší u vlákniny (NDF). Stravitelnost sušiny a hrubého proteinu se pohybovala přibližně kolem 60–65 %. Porovnání krmných dávek s různým zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv naznačuje, že vyšší podíl koncentrovaných krmiv je spojen s vyšší stravitelností sušiny, což odpovídá i výsledkům z experimentu se skopci. Současně je pravděpodobné, že hodnoty stravitelnosti stanovené indikátorovými metodami jsou oproti skutečné stravitelnosti zjišťované bilanční metodou systematicky podhodnoceny. Závěrem

Ize říci, že stanovení absolutních hodnot stravitelnosti pomocí přirozených indikátorů, a to zejména iNDF a AIA, není vhodné, protože tyto markery podceňují zdánlivou stravitelnost. Přesto v kontrolovaném experimentálním prostředí dokážou odrážet relativní rozdíly mezi krmnými dávkami či ošetřeními, obzvláště pokud se jedná o pokusné diety s podobným poměrem objemných a koncentrovaných krmiv.

3. Srovnání novosti postupů

Metodika je reakcí na nedostatek lokálně ověřených dat o stravitelnosti krmných dávek přežvýkavců, se zvláštním zaměřením na dojnice. Tato data jsou klíčová jak pro zpřesnění formulace krmných dávek, tak pro přesnější odhad produkce skleníkových plynů, zejména metanu. Tradiční metoda klasických bilancí je v praxi pro hodnocení stravitelnosti velmi omezeně použitelná, zejména kvůli své vysoké časové, pracovní a finanční náročnosti a nutnosti používání speciálních zařízení (metabolické klece, sběrné vaky na moč a výkaly). Použití přirozených indikátorů, jako je nerozpustný popel (AIA) a nestravitelné frakce vlákniny (iNDF, iADF), výrazně zjednodušuje stanovení stravitelnosti. Tato metoda umožňuje odebrat reprezentativní vzorky krmiva a výkalů bez nutnosti kompletního sběru exkrementů a přesného měření příjmu krmiva. Takto získaná data mohou přispět k vytvoření robustnější databáze stravitelnosti krmných dávek, která bude využitelná pro praktické i výzkumné účely. Dosud však ani ve vědecké literatuře nepanuje jednoznačná shoda, který z dostupných indikátorů poskytuje nejpresnější výsledky. Proto byly v této metodice vybrány tři z perspektivních indikátorů (AIA, iNDF a iADF) pro ověření jejich vhodnosti při stanovení stravitelnosti krmných dávek s různým zastoupením objemných a jadrných krmiv. Cílem bylo stanovit stravitelnost všech krmných dávek dojníc v průběhu reprodukčního cyklu a získat tak prakticky využitelná a přesná data pro optimalizaci krmení a hodnocení environmentálních dopadů.

4. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena pro krmivářské poradce, chovatele, státní i vzdělávací instituce. Její praktické využití lze rozdělit do tří hlavních oblastí:

1. Metodický návod pro stanovení stravitelnosti živin

- Poskytuje chovatelům i poradcům jasný a prakticky proveditelný postup, jak stanovit stravitelnost živin pomocí vnitřních indikátorů (AIA, iNDF, iADF).
- Tato metoda je méně časově a finančně náročná než klasické bilanční pokusy, a proto je vhodná i pro podmínky běžného chovu.

2. Zdroj informací o stravitelnosti různých typů krmných dávek

- Metodika přináší konkrétní data o stravitelnosti živin u přežvýkavců krmných dávkami s různým zastoupením objemných a koncentrovaných krmiv.

- Tato data lze využít k optimalizaci formulace krmných dávek, ke zvýšení efektivity využití živin a k minimalizaci ztrát.

3. Podklad pro hodnocení environmentálních dopadů

- Lokálně ověřená data o stravitelnosti živin z této metodiky mohou sloužit k přesnějšímu výpočtu produkce skleníkových plynů, zejména metanu.
- Průměrná stravitelnost sušiny krmných dávek dojnic zjištěná v experimentu (70,7 %), může ve výpočtu emisí metanu validovat a upřesnit dosud používanou odhadovanou hodnotu stravitelnosti krmné dávky dojnic (70 %), čímž napomůže přesnějšímu a robustnějšímu odhadu emisí metanu. Pro zohlednění fáze laktace dojnice lze použít vážený přístup: pro období 305 dní laktace lze vycházet ze stravitelnosti krmných dávek s podílem koncentrovaných krmiv 50 a 25 % (zjištěné stravitelnosti sušiny 73,3 % a 70,9 %) a pro období 60 dní stání na sucho lze použít hodnotu stravitelnosti 67,8 % odpovídající krmné dávce složené pouze z objemného krmiva. Tento přístup umožňuje další zpřesnění odhadu emisí metanu.
- Přesnější odhad emisí skleníkových plynů založený na experimentálně získaných datech o stravitelnosti přispívá k efektivnějšímu naplňování environmentálních cílů a legislativních požadavků v chovech hospodářských zvířat.

Celkově metodika propojuje vědecké poznatky s praktickým využitím, čímž přispívá k vyšší efektivitě a udržitelnosti živočišné výroby v podmínkách České republiky.

5. Ekonomické aspekty

5.1 Náklady na zavedení nových postupů uvedených v metodice

Využití již existujících dat o stravitelnosti živin, která jsou součástí metodiky, není spojeno s žádnými dodatečnými náklady. Stejně tak aplikace dat pro výpočet emisí skleníkových plynů (zejména metanu) nevyžaduje žádné další finanční prostředky.

Pokud je však cílem stanovit stravitelnost konkrétní krmné dávky v podmínkách chovu, je nutné provést odběr a analýzu vzorků:

- alespoň 8 směsných vzorků výkalů (odpovídajících 8 zvířatům),
- 1 směsný vzorek krmné dávky.

U každého vzorku je nezbytné stanovit základní živinové složení (sušina, hrubý protein, tuk, NDF) a obsah indikátoru (AIA, iNDF, iADF). Při orientační ceně cca 2 500 Kč za jednu kompletní analýzu vzorku se celková cena vyšetření pohybuje kolem 22 500 Kč.

Do této částky nejsou zahrnuty pracovní náklady na odběr, uchování a transport vzorků, které se mohou lišit podle podmínek konkrétního chovu a vzdálenosti laboratoře. Tyto náklady je proto nutné zohlednit

individuálně. Celkově však metodika nevyžaduje žádné investice do speciálního zařízení či infrastruktury, což činí její zavedení finančně dostupným i v běžné praxi.

5.2 Ekonomický přínos pro uživatele

Náklady na krmiva představují největší položku v nákladech chovů hospodářských zvířat. Celosvětově se u intenzivních systémů produkce mléka uvádí, že náklady na krmiva tvoří přibližně 50–70 % celkových nákladů na výrobu mléka (Alqaisi a Schlecht, 2020). I když česká ročenka chovu skotu uvádí nižší hodnotu, okolo 43,7 % nákladů na litr vyprodukovaného mléka (ČMSCH, 2025), stále se jedná o jednoznačně nejvyšší individuální náklad.

Využití přirozených indikátorů (AIA, iNDF, iADF) pro stanovení stravitelnosti živin proto představuje významný nástroj, jak krmiva a náklady na ně efektivně využít. Přesnější odhad stravitelnosti umožňuje chovatelům optimalizovat formulaci krmných dávek, zvýšit využitelnost živin, snížit plýtvání krmivem a tím i náklady. Současně přispívá ke zlepšení produkčního výkonu zvířat (mléko, růst), zdravotního stavu i ke snížení environmentální zátěže, zejména emisí metanu.

Metodika umožňuje chovatelům:

- Efektivněji kombinovat objemná a koncentrovaná krmiva podle skutečných potřeb zvířat, čímž se snižuje nadbytečný příjem živin a náklady na krmivo.
- Minimalizovat doplňkové náklady spojené s experimentálními metodami, protože využití přirozených indikátorů je levnější a méně pracné než klasické bilanční pokusy či externí markery.
- Podporovat udržitelný chov s lepším environmentálním profilem, což může mít i ekonomický přínos v podobě úspor nebo splnění legislativních a certifikačních požadavků.

Celkově tak aplikace metodiky přináší úsporu krmiva, optimalizaci produkce a zvýšení ekonomické efektivity chovu.

Praktický příklad úspory

Pokud náklady na krmivo představují u průměrného českého chovu dojnic 4,8 Kč/litr mléka (43,7 % z 11 Kč celkového nákladu, ČMSCH, 2025), potom 3% zvýšení efektivity díky přesnější formulaci krmných dávek znamená úsporu přibližně 0,15 Kč na litr. U stáda 100 dojnic s roční užitkovostí 10 000 litrů mléka na dojnici tak tato úspora představuje cca 150 000 Kč ročně.

6. Seznam použité literatury

Alqaisi, O., & Schlecht, E. (2020). Feeding models to optimize dairy feed rations in view of feed availability, feed prices and milk production scenarios. *Sustainability*, 13(1), 215.

Arbaoui, A., & de Vega, A. (2025). Reliability of Acid-Insoluble Ashes and Undigestible Neutral Detergent Fibre as Internal Markers for Estimation of Digestibility in Beef Cattle Fed High-Concentrate Diets. *Agriculture*, 15(14), 1485.

Českomoravská společnost chovatelů (ČMSCH). (2025). Chov skotu v České republice: Hlavní výsledky a ukazatele za rok 2024 (Ročenka) (J. Syrůček, D. Lipovský, M. Sládek, Eds.). Praha, Česká republika.

Huhtanen, P., Kaustell, K., & Jaakkola, S. (1994). The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), 211-227.

Joch, M., Vadroňová, M., Češpiva, M., Zabloudilová, P., Výborná, A., Tyrolová, Y., Kudrna, V., Tichá, D., Plachý, V., & Hroncová, Z. (2023). Capric and lauric acid mixture decreased rumen methane production, while combination with nitrate had no further benefit in methane reduction. *Annals of Animal Science*, 23(3), 799–808.

Kanani, J., Philipp, D., Coffey, K. P., Kegley, E. B., West, C. P., Gadberry, S., Jennings, J., Young, A. N., & Rhein, R. T. (2015). Diurnal variation in fecal concentrations of acid-detergent insoluble ash and alkaline-peroxide lignin from cattle fed bermudagrass hays of varying nutrient content. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 24.

Lee, C., & Hristov, A. N. (2013). Evaluation of acid-insoluble ash and indigestible neutral detergent fiber as total-tract digestibility markers in dairy cows fed corn silage-based diets. *Journal of dairy science*, 96(8), 5295-5299.

McDonald, P., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C., Edwards, R. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2021). *Animal nutrition* (8th ed.). Pearson Higher Education. ISBN 978-1-292-25167-7.

Morris, D. L., Rebelo, L. R., Dieter, P. A., & Lee, C. (2018). Validating intrinsic markers and optimizing spot sampling frequency to estimate fecal outputs. *Journal of dairy science*, 101(9), 7980-7989.

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

Joch, M., Vadroňová, M., Češpiva, M., Zabloudilová, P., Výborná, A., Tyrolová, Y., Kudrna, V., Tichá, D., Plachý, V., & Hroncová, Z. (2023). Capric and lauric acid mixture decreased rumen methane production, while combination with nitrate had no further benefit in methane reduction. *Annals of Animal Science*, 23(3), 799–808. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0010>

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

Název: STANOVENÍ STRAVITELNOSTI ŽIVIN V KRMNÝCH DÁVKÁCH PŘEŽVÝKAVCŮ

Autoři: Ing. Miroslav Joch, Ph.D. (60 %)
Ing. Petra Kubelková, Ph.D. (15 %)
Ing. Filip Jančík, Ph.D. (10 %)
Ing. Alena Výborná (15 %)

ISBN: 978-80-7403-357-5

Dedikace: Metodika byla vypracována za podpory Ministerstva zemědělství v rámci řešení
výzkumného projektu NAZV QK23020011.

Vydáno bez jazykové úpravy.

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



Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i.

Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetěves

www.vuzv.cz