



CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Stanovení parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti sušiny a vlákniny trav na základě chemického složení

Autoři

Ing. Filip Jančík, Ph.D.

Ing. Petr Homolka, Ph.D.

Ing. Veronika Koukolová, Ph.D.

Oddělení výživy a krmení hospodářských zvířat

Oponenti

Prof. MVDr. Ing. Petr Doležal, CSc.

Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně

Ústav výživy zvířat a pícninářství

Ing. Juraj Saksún

Ministerstvo zemědělství České republiky

Odbor živočišných komodit

Metodika vznikla jako součást řešení výzkumných záměrů
MZE0002701403 a MZE0002701404.

ISBN 978-80-7403-029-1

Obsah

I. Cíl metodiky a dedikace	2
II. Vlastní popis metodiky	2
Úvod	3
Experimentální část metodiky	6
Chemické složení, degradovatelnost a stravitelnost sledovaných vzorků	9
Predikční rovnice využívající jedné nezávisle proměnné (prediktoru)	10
Predikční rovnice využívající dvou nezávisle proměnných (prediktorů)	11
Predikční rovnice využívající dvou a více nezávisle proměnných (prediktorů)	12
Tabulky	13
Závěr	21
III. Srovnání „novosti postupů“	22
IV. Popis uplatnění metodiky	22
V. Seznam použité související literatury	22
VI. Seznam publikací, které předcházejí metodice	26

I. Cíl metodiky a dedikace

Cílem práce je poskytnout uživatelům metodiky rovnice umožňující predikovat u travních porostů jednotlivé parametry degradovatelnosti a stravitelnosti sušiny a neutrálně detergentní vlákniny, bez nutnosti používání nákladných *in vivo*, *in situ* a *in vitro* metod.

Metodika byla vytvořena na základě výsledků řešení výzkumných záměrů MZE0002701403 „Rozvoj poznání ve výživě zvířat s cílem zvýšit kvalitu a bezpečnost živočišných produktů“ a MZE0002701404 „Udržitelný rozvoj chovu hospodářských zvířat v evropském modelu multifunkčního zemědělství“.

II. Vlastní popis metodiky

- Úvod
- Experimentální část metodiky
- Chemické složení, degradovatelnost a stravitelnost sledovaných vzorků
- Predikční rovnice využívající jedné nezávisle proměnné (prediktoru)
- Predikční rovnice využívající dvou nezávisle proměnných (prediktorů)
- Predikční rovnice využívající dvou a více nezávisle proměnných (prediktorů)
- Tabulky
- Závěr

Úvod

Trávy jsou v České republice největší skupinou z pěstovaných plodin určených pro výrobu objemných krmiv. Jsou pěstovány nejen jako trvalé travní porosty, ale také jako součást travních či jetelotravních směsných porostů. V podhorských a horských oblastech je výživa přežvýkavců dokonce převážně založena na travních porostech, sklizených sušením, nebo silážováním či využívaných pro pastvu

Užitkovost přežvýkavců je limitována kvalitou krmiv, která je charakterizována zdravotní nezávadností, chutností a zejména stravitelností jednotlivých živin. Významnou roli hraje degradovatelnost živin v batoru (Micek *et al.*, 2001). Výše a rychlost fermentace v batoru ovlivňují příjem živin přežvýkavci (Kamalak *et al.*, 2005). Roe *et al.* (1991) uvádějí, že míra degradace živin v batoru je ovlivňována velkým množstvím faktorů, které zahrnují charakter či složení jednotlivých frakcí krmiva, individualitu zvířete, celkové složení krmných dávek a způsob podávání krmení. Každý druh krmiva má charakteristickou křivku batorové degradace v závislosti na jeho složení (Nagadi *et al.*, 2000b). Dle stupně batorové degradace a její rychlosti můžeme vyvozovat celkovou stravitelnost jednotlivých živin krmiv.

Optimálními metodami pro stanovení a posouzení stravitelnosti krmiv jsou *in vivo* metody. Ovšem zjišťování stravitelnosti pomocí standardních *in vivo* metod je časově náročné, pracné, finančně nákladné a vyžaduje velké množství hodnoceného krmiva (Stern *et al.*, 1997). Proto je důležité vytvořit a využívat levnější, ale kvalitní metody predikce stravitelnosti krmiv.

Důležitým a nejčastěji využívaným postupem je *in situ* (*in sacco*) metoda. Ta spočívá v inkubaci nylonových sáčků se vzorky v batoru kanylovaných přežvýkavců (Roe *et al.*, 1991). Fonseca *et al.* (1998) uvádějí, že technika *in sacco* umožňuje studovat batorovou degradovatelnost v různých časových intervalech nebo i kinetiku batorového trávení. Velikost pórů sáčků je doporučována 30-60 μm (Vanzant *et al.*, 1998). Tato velikost snižuje vyplavování částeczek ze sáčků a umožňuje vstup mikroorganismů. Tím je zajištěna podobná rychlost fermentace uvnitř sáčků jako v batoru. Rozpustná část vzorku (čas 0) je zjišťována promýváním sáčků se vzorkem (bez inkubace v batoru) a následným usušením a zvážením. Promývání je shodné s promýváním po vyjmutí sáčků z batoru. Technika *in situ* je všestrannou technikou využitelnou pro zjišťování degradovatelnosti širokému spektru živin všech druhů krmiv přežvýkavců (Stern a Satter, 1984). Tuto metodu lze také použít pro zjišťování nestravitelného podílu NDF (INDF) (Nousiainen *et al.*, 2003b). Michalet-Doreau a Ould-Bah (1992) uvádějí, že metoda nylonových sáčků je nepochybně nejlepším způsobem modelování batorového prostředí během krmení určitou krmnou dávkou. Výhodou této metody je její relativní jednoduchost a rychlost. Nevýhodou je ovšem pracnost a nutnost mít pokusná zvířata s voperovanou batorovou kanylou. England *et al.* (1997) sice uvádějí, že *in situ* metody jsou nejčastěji

používané pro zjišťování degradovatelnosti dusíkatých látek, ale oproti *in vitro* metodám využívajícím bachorovou tekutinu, jsou časově náročnější a pracnější.

Dalšími důležitými metodami jsou metody *in vitro*. Forejtová *et al.* (2005) uvádějí jako často užívané *in vitro* metody Tilley a Terry (1963) a pepsin celulázovou metodu. Koukolová *et al.* (2004) popisují metodu Tilley a Terry (1963), jako dvoustupňovou metodu, kdy je nejprve krmivo inkubováno po dobu 48 h ve směsi bachorové tekutiny a pufru a následně inkubováno opět po dobu 48 h v pepsin-HCl roztoku. Po této inkubaci zůstane jen nestravitelná část vzorku. Stejní autoři ve své práci došli k závěru, že zmíněné *in vitro* metody mohou být využívány pro predikci degradovatelnosti NDF.

In vitro pepsin celulázová rozpustnost je jednou ze základních *in vitro* metod využívajících průmyslově vyráběných enzymů ke stanovení stravitelnosti krmiv. Metoda je založena na napodobení trávicího traktu přežvýkavců působením pepsin-HCl a celulázového roztoku na testované krmivo (Nousiainen *et al.*, 2003a). Vzorky jsou nejprve inkubovány s roztokem pepsinu a HCl. Ve druhé fázi jsou vzorky inkubovány s roztokem celulózy a acetatovým pufrům. U každé série vzorků musí být inkubován také standardní vzorek se známou *in vivo* stravitelností, z důvodu korekce případné chyby. Výsledkem je zjištěná rozpustnost živiny (organické hmoty, vlákniny, atd.) podle které je pomocí predikčních rovnic možné zjistit stravitelnost. Výhoda této metody spočívá v možnosti zjistit stravitelnost bez využívání zvířat a ve velmi dobré standardizovatelnosti (Stern *et al.*, 1997; Huhtanen *et al.*, 2006). Stern *et al.* (1997) uvádějí že komerční „nebachorové“ enzymy nemusí mít stejné působení jako „originální bachorové“ enzymy. Proto musí být zvolena optimální koncentrace těchto enzymů (Coblentz *et al.*, 1999), která umožňuje dostatečné nasycení a působení na substrát. Aderibigbe a Church (1983) uvádějí, že *in vitro* enzymatické metody jsou dobře využitelné pro zjišťování stravitelnosti monogastrů (např. králíků) i přežvýkavců. Tito autoři také uvádějí efektivní využití *in vitro* metod pro predikci *in vivo* stravitelnosti sušiny, organické hmoty nebo dusíkatých látek. Nocek (1988) doporučuje tyto metody spíše pro porovnávání krmiv mezi sebou než pro detekci skutečné hodnoty stravitelnosti.

Pomocí těchto *in vitro* metod zjistíme stravitelnost krmiv, ale nemůžeme zjistit průběh trávení v čase a tudíž i rychlost trávení. Jedním z velmi důležitých parametrů bachorové degradovatelnosti je právě rychlost odbourávání (degradace) živin. Dle Lópeze *et al.* (1998) je kvantitativní vyjádření kinetiky trávení nezbytné k přesnějšímu zjišťování množství a složení živin strávených z krmiv a jejich následné efektivitě využití zvířaty. Parametry kinetiky trávení charakterizují skutečné vnitřní vlastnosti krmiv, které limitují jejich dostupnost přežvýkavcům. Také Valentin *et al.* (1999) uvádějí, že *in vitro* metody jako Tilley a Terry (1963) nebo metody využívající komerční enzymy zjišťují tzv. potencionální stravitelnost krmiv s minimální informací o dynamice bachorové fermentace. Luchini *et al.* (1996) uvádějí, že enzymatické postupy by měly být rychlé, snadno použitelné a ekonomické,

nicméně komerčně vyráběné proteázy využívané k stanovení degradovatelnosti krmiv nebyly schopny napodobit degradační aktivitu různorodých bachorových mikroorganismů. Proto mohou být někdy výsledky získané pomocí komerčních enzymů zavádějící.

In vitro plynová produkce je jednou, z běžných metod využívaných k sledování rychlosti trávení. Tato *in vitro* metoda vyžaduje speciální zařízení na měření plynu v určitých časových intervalech. *In vitro* plynová produkce je podobná jiným *in vitro* technikám, které používají rozemletý substrát, anaerobní prostředí a jako inokulum smíšenou mikrobiální populaci z bachoru (Williams, 2000). Metoda je založena na vztahu mezi fermentační produkcí plynu a trávením krmiva. Předvážený substrát je smíchán s médiem. Tato směs je za stálého míchání záhřáta na 39 °C a jako inokulum je dodán čerstvě odebraný vzorek bachorové tekutiny. Od tohoto momentu je měřena produkce plynu z probíhající fermentace. Základní způsoby měření jsou buď na konci fermentace nebo v určených časových intervalech v průběhu fermentace, z čehož lze zjistit kinetiku fermentace (Valentin *et al.*, 1999; Nagadi *et al.*, 2000a; Rymer *et al.*, 2005) i výši trávení krmiva (Beuvink a Kogut, 1993; Adesogan *et al.*, 2005). Kamalak *et al.* (2005) vytvořili regresní rovnice, dle kterých je možné na základě výsledků *in vitro* plynové produkce velmi dobře predikovat parametry degradovatelnosti krmiv zjištěné metodou *in situ*. Doane *et al.* (1997) uvádějí, že rychlost trávení zjištěná pomocí metody plynové produkce závisí na schopnosti predikovat závislost mezi trávením krmiva a mikrobiálním metabolismem. López *et al.* (1998) konstatují, že rychlost produkce plynu, v *in vitro* podmínkách, je v úzkém poměru s rychlostí degradace zjištěné *in situ* technikou. *In vitro* metody využívající bachorovou mikrofloru jsou plně využitelné pro zjišťování degradovatelnosti dusíkatých látek (Broderick *et al.*, 1988). Craig *et al.* (1984) popisují nutnost využití mikroorganismů osidlujících pevný obsah bachoru. Bachorová tekutina totiž obsahuje jen část mikroorganismů žijících v bachoru a pro přesnější zjištění degradovatelnosti je potřebné získat pro *in vitro* postup celkové spektrum mikroorganismů.

Wilman a Adesogan (2000) porovnávali stravitelnost s filtračními sáčky na přístroji Daisy Incubator firmy ANKOM Technology s metodou Tilley a Terry (1963). Zjistili, že metoda s filtračními sáčky může dávat přijatelné výsledky *in vitro* stravitelnosti krmiv, s menší pracností než metoda Tilley a Terry (1963). Také Mabjeesh *et al.* (2000) doporučují přístroj Daisy Incubator pro predikci trávení krmiv a nahrazení starších *in vitro* metod. Holden (1999) zjistil, že Daisy Incubator je účinný systém pro měření *in vitro* stravitelnosti a produkující data podobná více tradičním metodikám používajícím individuální tuby. Nejistil statisticky průkazné rozdíly, když byly zrny a píce inkubovány ve stejných nádobách. Také uvádí, že tento přístroj je mnohem více výkonný než tradiční metody a představuje významnou výhodu pro analyzování píce, zrnin i smíšených vzorků.

Všechny výše uvedené metody jsou možnostmi relativně přesné predikce stravitelnosti či degradovatelnosti krmiv využívané na výzkumných pracovištích a univerzitách celého světa. Ovšem všechny jsou také velmi náročné na čas, a zejména na dostatek finančních prostředků. U těchto metod je třeba mít k dispozici specializované přístroje či pokusná zvířata. Oproti tomu výpočet stravitelnosti na základě parametrů chemického složení je jednoduchý a dostupný pro všechny zemědělské laboratoře a samozřejmě také pro všechny zemědělské subjekty, které mají provedeny rozboru sklízených krmiv. Například Iantcheva *et al.* (1999) uvádějí, že NDF a ADF mohou být dobrými prediktory stravitelnosti, přestože *in vitro* metody jsou lepšími a spolehlivějšími prediktory stravitelnosti krmiv.

Experimentální část metodiky

Metodika vychází z řešení výzkumných záměrů MZe ČR MZE0002701403 „Rozvoj poznání ve výživě zvířat s cílem zvýšit kvalitu a bezpečnost živočišných produktů“ a MZE0002701404 „Udržitelný rozvoj chovu hospodářských zvířat v evropském modelu multifunkčního zemědělství“.

Cíl práce

Cílem práce je poskytnout uživatelům metodiky rovnice umožňující predikovat u travních porostů jednotlivé parametry degradovatelnosti a stravitelnosti sušiny a neutrálně detergentní vlákniny bez nutnosti používání nákladných *in vivo*, *in situ* či *in vitro* metod.

Materiál a metodika

1. Pokusný materiál

Pokusným materiálem v této práci byly čtyři druhy trav (srha laločnatá - Dana, bojínek luční - Sobol, jilek vytrvalý - Jaspis, kostřava rákosovitá - Prolate) a jeden travní hybrid (Felina). Trávy byly sklizeny v letech 2004 a 2005 jako první seč monokulturních porostů. Pokusné parcely byly vysety 23. 6. 2003 v nadmořské výšce 620 m.n.m., půdní typ hnědá půda. Před setím bylo hnojeno 300 kg NPK 15-15-15/ha a dva měsíce po vysetí 180 kg LAV/ha. Následně bylo každý rok hnojeno před 1. sečí 65 kg N/ha a po 1. a 2. seči bylo hnojeno v dávce 40 kg N/ha a po 3. seči 250 kg NPK 15-15-15/ha.

Každý rok bylo provedeno 6 sklizní (13.5.; 19.5.; 26.5.; 2.6.; 9.6.; 16.6.) s následným sušením u všech použitých travních druhů při různých fázích růstu. Při sklizni byla měřena výška porostu, sušina a růstová fáze trav (Tab. 1 a Tab. 2).

Trávy byly sklizeny ručně z plochy 1 m² s výškou strniště 3 cm. Po sklizni byly umístěny do skříňové sušárny a sušeny při 50 °C po dobu 48 h. Po usušení byly vzorky našrotovány na velikost částic 1 mm.

2. Základní rozbor chemického složení sledovaných trav

Všechny vzorky byly analyzovány na obsah popele (spáleno při teplotě 550 °C po dobu 4,5 h), tuku (extrakce petrol-etherem po dobu 6 h), dusíkatých látek (NL) (metodou dle Kjeldahla, AOAC Official Method 976.05; AOAC, 2005), hrubé vlákniny (CF), neutrálně detergentní vlákniny (NDF) (Van Soest et al., 1991), acido detergentní vlákniny (ADF) a acido detergentního ligninu (ADL) (AOAC Official Method 973.18, AOAC, 2005).

3. Degradovatelnost sušiny a NDF v batoru přežvýkavců a stanovení potencionální stravitelnosti (DNDF) a nestravitelné části NDF (INDF)

Jednotlivé parametry batorové degradovatelnosti a potencionální stravitelnosti byly stanoveny metodou *in sacco*.

Metodika stanovení batorové degradovatelnosti byla upravena dle Rinne *et al.* (1999) a stanovení DNDF a INDF bylo provedeno dle Rinne *et al.* (1997), Huhtanen *et al.* (1998) a Nousiainen *et al.* (2003a; 2004).

Degradovatelnost NDF byla vypočítána z výsledků inkubačních intervalů 6, 12, 24, 48, 72 a 96 hodin dle rovnice (Ørskov a McDonald, 1979):

$$\text{Deg}_{\text{NDF}}(t) = b_{\text{NDF}} \times (1 - \exp^{-ct})$$

kde: $\text{Deg}_{\text{NDF}}(t)$ je degradovatelnost NDF v čase t ; b_{NDF} je nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce NDF; c_{NDF} je rychlost degradace frakce b_{NDF} a \exp je exponenciál.

Efektivní batorová degradovatelnost NDF byla vypočítána pro výtokovou rychlost částic 0,02 h⁻¹ (Koukolová *et al.*, 2004) dle rovnice (Ørskov a McDonald, 1979):

$$\text{ED}_{\text{NDF}} = b_{\text{NDF}} \times (c_{\text{NDF}} / (c_{\text{NDF}} + k))$$

kde: ED_{NDF} je efektivní batorová degradovatelnost NDF; b_{NDF} je nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce NDF; c_{NDF} je rychlost degradace frakce b_{NDF} ; k je rychlost pasáže částic z batoru, tj. 0,02 h⁻¹.

Degradovatelnost sušiny byla vypočítána z výsledků inkubačních intervalů 0, 6, 12, 24, 48, 72 a 96 hodin dle rovnice (Ørskov a McDonald, 1979):

$$\text{Deg}_{s(t)} = a_s + b_s \times (1 - \exp^{-c_s t})$$

kde: $\text{Deg}_{s(t)}$ je degradovatelnost sušiny v čase t ; a_s je rozpustná frakce sušiny; b_s je nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce sušiny; c_s je rychlost degradace frakce b_s a \exp je exponenciál.

Efektivní bachorová degradovatelnost DM byla vypočítána pro výtokovou rychlost částic $0,05 \text{ h}^{-1}$ (Petit *et al.*, 1994) dle rovnice (Ørskov a McDonald, 1979):

$$\text{ED}_s = a_s + b_s \times (c_s / (c_s + k))$$

kde: ED_s je efektivní bachorová degradovatelnost sušiny, a_s je rozpustná frakce DM, b_s je nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce sušiny, c_s je rychlost degradace frakce b_s , k je rychlost pasáže částic z bachoru, tj. $0,05 \text{ h}^{-1}$.

4. Statistické vyhodnocení

Pomocí programu Statistica 6 (2001) byly vypočteny predikční rovnice pro sledované parametry degradovatelnosti a stravitelnosti trav. Pro výpočet byla využita jednoduchá lineární regrese, mnohonásobná lineární regrese a zpětná postupná mnohonásobná regrese. Jako prediktory byly použity jednotlivé parametry chemického složení a jejich vzájemná kombinace.

Chemické složení, degradovatelnost a stravitelnost sledovaných vzorků

Popis jednotlivých parametrů chemického složení sledovaného souboru vzorků trav je uveden v tabulce 3. Na základě uvedených hodnot je patrné, že byl využit soubor vzorků různé kvality s velkým rozpětím obsahu živin. Obsah NL byl v rozsahu od 6,45 do 21,13 % sušiny (průměr 13,03 %). Rozmezí obsahu NDF bylo od 33,7 do 69,12 % sušiny (průměr 54,45 %). Průměrný obsah ADF byl 30,19 % sušiny (od 18,3 do 38,28 %) a ADL 2,28 % (od 0,82 do 4,22 %). Zjištěné hodnoty odpovídají výsledkům, které zjistili Cherney *et al.* (1993) u kostřavy rákosovité a bojínku lučního a Jensen *et al.* (2003) u srhy laločnaté a jílku vytrvalého.

V tabulce 3 jsou také uvedeny parametry degradovatelnosti sušiny, kde parametr a_s byl zjištěn v rozpětí 22,56 až 52,16 % sušiny, parametr b_s v rozmezí od 43,68 do 66,66 % sušiny a parametr c_s v rozmezí od 0,0266 do 0,1339 h^{-1} . Efektivní degradovatelnost sušiny (ED_s) se pohybovala od 44,11 do 83,96 % sušiny. Yu *et al.* (2004) zjistili u bojínku lučního hodnoty parametru a_s od 16,9 do 21,3 % sušiny, parametru b_s 43,1 až 57,7 % sušiny, parametru c_s 0,026 až 0,059 h^{-1} a ED_s 60,9 až 69,8 % sušiny. Rymer a Givens (2002) zjistili efektivní degradovatelnost sušiny u lučního sena 47 %. Comblentz *et al.* (1998) uvádí u vzorků travních porostů rozpětí parametru a_s 18,9 až 26,8 % sušiny, parametru b_s 46,9 až 53,6 % sušiny a parametru c_s 0,031 až 0,056 h^{-1} . Gosselink *et al.* (2004) určili hodnoty parametru a_s 24,8 %, b_s 550 % sušiny a c_s 0,053 h^{-1} pro degradovatelnost sušiny u sušeného jílku vytrvalého. Elizalde *et al.* (1999) zjistili u kostřavy rákosovité průměrnou hodnotu ED_s 56 %.

Zjištěné parametry degradovatelnosti a stravitelnosti NDF jsou uvedeny také v tabulce 3. Hodnoty parametru b_{NDF} se pohybovaly od 68,42 do 94,22 % NDF. Parametr c_{NDF} byl v rozmezí od 0,0264 do 0,1075 h^{-1} a efektivní degradovatelnost NDF (ED_{NDF}) byla od 42,89 do 78,48 % NDF. DNDF (potencionálně stravitelná NDF) kolísala od 72,48 do 95,95 % NDF a obsah INDF (nestravitelný podíl NDF) vykazoval hodnoty od 1,81 do 17,57 % sušiny. Comblentz *et al.* (1998) zjistili parametry degradovatelnosti NDF u sledovaných trav v rozmezí od 59,5 do 75,2 % NDF (parametr b_{NDF}) a od 0,032 do 0,056 h^{-1} (parametr c_{NDF}). Andrighetto *et al.* (1993) uvádějí hodnoty parametrů degradovatelnosti NDF u jílku mnohokvětého 59,8 % NDF pro b_{NDF} a 0,0291 h^{-1} pro c_{NDF} .

Uvedená velká rozpětí jednotlivých sledovaných parametrů a velké množství vzorků ($n = 60$) poskytuje dostatečnou záruku pro vytvoření kvalitních a plně využitelných predikčních rovnic.

Predikční rovnice využívající jedné nezávisle proměnné (prediktoru)

Pro každý parametr degradovatelnosti sušiny byly vypočteny predikční rovnice využívající vždy jednoho parametru chemického složení. Jednotlivé rovnice jsou uvedeny v tabulce 4. Pro parametr a_s (rozpuštná frakce sušiny) byl zjištěn nejvyšší koeficient determinace (R^2) u predikční rovnice počítající s obsahem ADF ($R^2 = 0,871$). Velmi kvalitní (překážná) rovnice byla také vypočtena na základě obsahu NDF ($R^2 = 0,831$). Rovnice vycházející z obsahu CF byla vyjádřena koeficientem determinace 0,602, která překračuje požadovanou minimální hodnotu 0,5.

Parametr b_s (nerozpuštná, ale potencionálně degradovatelná frakce sušiny) se nepodařilo kvalitně predikovat pomocí jednoduché lineární regrese použitím ani jednoho z možných parametrů chemického složení. Nejlepší rovnice byla vypočtena na základě obsahu NDF, ale i zde byl zjištěn velmi nízký koeficient determinace ($R^2 = 0,092$).

Parametr c_s (rychlost degradace frakce b_s) byl nejlépe predikován pomocí ADF ($R^2 = 0,403$). Pomocí této rovnice je možné parametr c_s vypočítat ovšem s nižší přesností. Ostatní proměnné neposkytly rovnice s dostačujícím koeficientem determinace.

Efektivní degradovatelnost sušiny (ED_s) byla nejlépe predikována pomocí ADF ($R^2 = 0,751$), dále pak NDF ($R^2 = 0,617$), ADL ($R^2 = 0,597$), NL ($R^2 = 0,517$) a CF ($R^2 = 0,517$).

V tabulce 5 jsou znázorněny jednoduché predikční rovnice pro parametry degradovatelnosti a stravitelnosti NDF.

Parametr b_{NDF} (nerozpuštná, ale potencionálně degradovatelná frakce NDF) byl dobře predikován pouze pomocí ADL ($R^2 = 0,582$). Ostatní rovnice nedosahovaly dostatečné hodnoty deteminačního koeficientu. Rovnice založené na obsahu NL ($R^2 = 0,442$) a ADF ($R^2 = 0,427$) by bylo možné využít pouze s interpretací vyšší statistické chyby než by tomu bylo v případě rovnice zahrnující ADL.

Rovnice určené pro výpočet parametru c_{NDF} (rychlost degradace frakce b_{NDF}) nedosahovaly požadovaného koeficientu determinace (0,5). Nejlepším prediktorem zde byly NL ($R^2 = 0,396$).

ED_{NDF} (efektivní degradovatelnost NDF) byla dostatečně predikována pomocí NL ($R^2 = 0,569$) a ADL ($R^2 = 0,568$). Potencionálně využitelná by byla ještě rovnice s ADF ($R^2 = 0,477$).

DNDF (potencionálně stravitelná NDF) byla velmi dobře predikována pomocí ADL ($R^2 = 0,757$). Využitelné by byly také rovnice s ADF ($R^2 = 0,586$) a NL ($R^2 = 0,543$) a potencionálně využitelné s NDF ($R^2 = 0,464$).

INDF (nestravitelný podíl NDF) byla velmi dobře predikována pomocí ADL ($R^2 = 0,783$) a ADF ($R^2 = 0,687$) a dobře pomocí NDF ($R^2 = 0,586$), NL ($R^2 = 0,544$) a CF ($R^2 = 0,512$).

Naopak nejhorší, a pro predikci naprosto nevyužitelné byly u všech zmíněných parametrů rovnice vypočítané na základě obsahu tuku ($R^2 \leq 0,023$).

Predikční rovnice využívající dvou nezávisle proměnných (prediktorů)

Predikční rovnice pro parametry degradovatelnosti sušiny a NDF, DNDF a INDF, které zohledňují dvě nezávisle proměnné veličiny, byly vypočteny pomocí mnohonásobné lineární regrese (tabulky 6 a 7). Pro každý parametr byl zkombinován jeho nejlepší prediktor z jednoduché lineární regrese s ostatními parametry chemického složení. U všech predikovaných parametrů byly pomocí mnohonásobné lineární regrese získány rovnice s lepší vypovídací schopností (s vyšším determinačním koeficientem), ve srovnání s jednoduchou lineární regresí. Zlepšení predikovatelnosti pomocí mnohonásobné lineární regrese popisují také Blümmel *et al.* (1999).

Parametry degradovatelnosti sušiny jsou uvedeny v tabulce 6. Parametr a_s byl velmi dobře predikován pomocí všech využitých kombinací ($R^2 = 0,871 - 0,881$). Nejlepší rovnice využívala kombinace NL a ADF ($R^2 = 0,881$).

Parametr b_s byl nejlépe predikován kombinací ADF a ADL, ovšem koeficient determinace ve výši 0,312 nelze považovat za dostatečný. Tuto b_s rovnici lze využít, ale není dostatečně spolehlivá. Ostatní uvedené b_s rovnice jsou využitelné minimálně.

Rychlost degradace sušiny (c_s) byla nejlépe predikována kombinací NL a ADF ($R^2 = 0,450$). Tato c_s rovnice sice ještě nedosahuje požadované hodnoty 0,5, ale její spolehlivost je vyšší než pro rovnice vypočítané jednoduchou lineární regresí.

Efektivní degradovatelnost sušiny (ED_s) byla velmi dobře predikována pomocí všech znázorněných rovnic ($R^2 = 0,754 - 0,792$). Nejlepší predikční rovnice ED_s byla vytvořena pomocí kombinace NL a ADF ($R^2 = 0,792$).

Mnohonásobnou regresí sestavené predikční rovnice pro parametry degradovatelnosti a stravitelnosti NDF u trav jsou vyčísleny v tabulce 7. Pro parametr b_{NDF} byly získány mnohonásobnou regresí predikční rovnice s dobrou předpověďací schopností ($R^2 = 0,586 - 0,647$). Statisticky nejspolehlivější byla zjištěna kombinace NL a ADL ($R^2 = 0,647$).

Rovnice predikující parametr c_{NDF} dosahovaly přibližně stejné vypovídací schopnosti ($R^2 = 0,396 - 0,421$), ovšem zjištěné determinační koeficienty nedosahovaly požadované hodnoty 0,5. Jako nejlepší se ukázala kombinace NL a ADL ($R^2 = 0,421$).

Efektivní degradovatelnost NDF (ED_{NDF}) byla velmi dobře predikována pomocí kombinace parametrů NL a ADL ($R^2 = 0,708$). Ostatní použité kombinace dosahovaly také poměrně dobré hodnoty koeficientů determinace ($R^2 = 0,570 - 0,637$).

Potencionálně stravitelná NDF (DNDF) byla velmi dobře predikovatelná pomocí všech uvedených rovnic ($R^2 = 0,759 - 0,826$). Jako nejlepší se ukázala kombinace NL a ADL ($R^2 = 0,826$).

Stejně tak nestravitelná NDF (INDF) byla velmi dobře predikovatelná pomocí všech uvedených rovnic ($R^2 = 0,791 - 0,847$). A opět kombinace NL a ADL se ukázala jako nejlepší ($R^2 = 0,847$).

V práci byl potvrzen hlavní vliv ligninu na stravitelnost NDF. Lignin je považován za primární jednotku odpovědnou za vyšší stravitelnosti krmiv (Van Soest, 1994; Traxler *et al.*, 1998; Agbagla-Dohnani *et al.*, 2001). Traxler *et al.* (1998) predikovali INDF pomocí ADL pro trávy C3 cyklu ($R^2 = 0,63$), trávy C4 cyklu ($R^2 = 0,69$), jeteloviny ($R^2 = 0,66$) a kombinaci těchto pícein ($R^2 = 0,79$).

Predikční rovnice využívající dvou a více nezávisle proměnných (prediktorů)

Poslední statistickou metodou využitou pro tuto metodiku byla postupná zpětná mnohonásobná lineární regrese, která umožňuje získat nejlepší kombinace dvou a více prediktorů. Uvedená metoda nejprve vypočítá predikční rovnici ze všech dostupných prediktorů a postupným oddělováním jednotlivých prediktorů uvádí nejlepší kombinace zbývajících proměnných. Pokud nám tedy nevyhovuje predikční rovnice vypočtená pomocí jednoduché lineární regrese, můžeme pomocí této metody zjistit zda nám bude stačit rovnice se dvěma či více prediktory.

Tabulka 8 znázorňuje predikční rovnice (metoda postupné mnohonásobné regrese) parametrů degradovatelnosti sušiny. Rovnice a_s a ED_s využívající dvou prediktorů se vyznačují velmi dobrou vypovídací schopností ($R^2 = 0,880$ a $0,792$, respektive). Parametr b_s byl uspokojivě predikován pomocí tří prediktorů (NL, ADF, ADL; $R^2 = 0,538$), ale při zohlednění čtyř prediktorů byl dosažen významně vyšší koeficient determinace (tuk, NL, ADF, ADL; $R^2 = 0,610$). Pro parametr c_s se nepodařilo získat žádnou predikční rovnici s hodnotou R^2 vyšší než 0,5. Této hodnotě se přiblížila rovnice uplatňující čtyři prediktory (popel, NL, ADF, NDF; $R^2 = 0,481$).

Tabulka 9 ukazuje možnosti predikce parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti NDF postupnou mnohonásobnou regresí. Kombinace prediktorů NL a ADL se ukázala jako optimální a plně dostačující k predikci parametru b_{NDF} ($R^2 = 0,647$), ED_{NDF} ($R^2 = 0,708$), DNDF ($R^2 = 0,826$) a INDF ($R^2 = 0,847$). Pouze pro predikci parametru c_{NDF} je třeba využít minimálně tří prediktorů (NL, ADF, NDF; $R^2 = 0,501$).

Tabulky

Tab. 1. Vyjádření růstové fáze podle Zadokse *et al.* (1974)

Kód	Růstová fáze	Kód	Růstová fáze
00	výsev	32	2. kolénko
07	obj. koleoptile	37	objevení posledního listu
10-13	vzcházení až 1-3 list	39	objevení jazýčku posledního listu
21	počátek odnožování	49	otvírání listové pochvy
25	hlavní odnožování	51	počátek metání
29	konec odnožování	59	konec metání
30	počátek sloupkování	61-69	počátek až konec květu
31	1. kolénko	71-92	tvorba zrna až absolutní zralost

Tab. 2. Růstové fáze sledovaných vzorků trav

Skizeň	Datum	Rok	Tráva				
			Srha laločnatá	Bojínek luční	Jílek vytrvalý	Kostřava rákosovitá	Felina
1	13.5.	04	32	30	30	30	31
		05	31	30	30	30	31
2	19.5.	04	35	31	31	31	38
		05	34	31	30	31	37
3	26.5.	04	51	32	32	32	50
		05	51	32	32	37	51
4	2.6.	04	57	32	32	32	55
		05	60	37	37	51	59
5	9.6.	04	59	51	51	51	57
		05	61	51	51	55	59
6	16.6.	04	65	53	51	55	61
		05	65	55	54	58	61

Číselné kódy zralostí dle Zadokse *et al.* (1974) (Tab. 1), kde 30 až 39 je prodlužování stonku (sloupkování), 50 až 59 metání a 60 až 69 je kvetení.

Tab. 3. Chemické složení a sledované parametry degradovatelnosti a stravitelnosti sledovaných vzorků trav ($N = 60$)

	Průměr	Směrodatná odchyłka	Minimum	Maximum
Chemické složení (% sušiny)				
popel	7,67	1,45	4,90	10,53
tuk	2,35	0,80	0,54	4,26
NL	13,03	3,79	6,45	21,13
CF	28,12	4,97	16,65	37,38
ADF	30,19	4,87	18,30	38,28
NDF	54,45	7,51	33,70	69,12
ADL	2,28	0,80	0,82	4,22
Degradovatelnost sušiny (% sušiny)				
a_s	32,77	6,343	22,56	52,16
b_s	55,55	4,358	43,68	66,66
c_s (h^{-1})	0,0594	0,0214	0,0266	0,1339
ED_s	61,93	9,549	44,11	83,96
Degradovatelnost a stravitelnost NDF (% NDF)				
b_{NDF}	84,42	6,365	68,42	94,22
c_{NDF} (h^{-1})	0,0644	0,0236	0,0264	0,1075
ED_{NDF}	62,79	9,526	42,89	78,48
DNDF	87,85	5,514	72,48	95,95
INDF (% sušiny)	6,892	3,758	1,805	17,57

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 4. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti sušiny trav využívající jednoho prediktoru (% sušiny)

Parametr	Rovnice	RMSE	R ²
a_s	= 15,22 + 2,290 popel	5,445	0,276
	= 29,94 + 1,208 tuk	6,322	0,023
	= 21,14 + 0,8925 NL	5,410	0,285
	= 60,60 - 0,9893 CF	4,037	0,602
	= 69,48 - 1,216 ADF	2,299	0,871
	= 74,72 - 0,770 NDF	2,629	0,831
	= 45,00 - 5,376 ADL	4,681	0,465
b_s	= 59,96 - 0,5751 popel	4,314	0,037
	= 56,23 - 0,2923 tuk	4,389	0,003
	= 52,77 + 0,2129 NL	4,319	0,034
	= 50,97 + 0,1629 CF	4,319	0,035
	= 48,24 + 0,2421 ADF	4,232	0,073
	= 45,95 + 0,1762 NDF	4,188	0,092
	= 57,28 - 0,7601 ADL	4,352	0,020
c_s	= 0,0243 + 0,0046 popel	0,021	0,096
	= 0,0539 + 0,0023 tuk	0,022	0,008
	= 0,0167 + 0,0033 NL	0,018	0,335
	= 0,1229 - 0,0023 CF	0,018	0,275
	= 0,1438 - 0,0028 ADF	0,017	0,403
	= 0,1435 - 0,0015 NDF	0,018	0,292
	= 0,0912 - 0,0140 ADL	0,018	0,275
ED_s	= 39,34 + 2,948 popel	8,607	0,201
	= 59,77 + 0,9207 tuk	9,603	0,006
	= 38,33 + 1,381 NL	6,692	0,517
	= 100,8 - 1,381 CF	6,694	0,517
	= 113,3 - 1,700 ADF	4,802	0,751
	= 116,3 - 0,999 NDF	5,963	0,617
	= 82,80 - 9,175 ADL	6,115	0,597

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 5. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti neutrálně detergentní vlákniny trav využívající jednoho prediktoru (% sušiny)

Parametr	Rovnice	RMSE	R ²
b_{NDF}	= 72,05 + 1,614 popel	5,968	0,136
	= 82,41 + 0,858 tuk	6,382	0,012
	= 69,87 + 1,116 NL	4,794	0,442
	= 105,2 - 0,7395 CF	5,240	0,334
	= 110,2 - 0,8544 ADF	4,859	0,427
	= 112,8 - 0,5206 NDF	5,068	0,377
	= 98,16 - 6,039 ADL	4,150	0,582
c_{NDF}	= 0,0260 + 0,0050 popel	0,227	0,095
	= 0,0692 - 0,0021 tuk	0,024	0,005
	= 0,0133 + 0,0039 NL	0,019	0,396
	= 0,1134 - 0,0017 CF	0,022	0,135
	= 0,1415 - 0,0026 ADF	0,020	0,278
	= 0,1305 - 0,0012 NDF	0,022	0,149
	= 0,0982 - 0,0149 ADL	0,021	0,257
ED_{NDF}	= 44,52 + 2,384 popel	8,950	0,132
	= 64,08 - 0,5538 tuk	9,597	0,002
	= 38,09 + 1,895 NL	6,306	0,569
	= 91,35 - 1,016 CF	8,146	0,281
	= 103,6 - 1,351 ADF	6,951	0,477
	= 101,7 - 0,7155 NDF	7,936	0,318
	= 83,09 - 8,925 ADL	6,317	0,568
DNDF	= 76,21 + 1,519 popel	5,095	0,160
	= 87,21 + 0,2738 tuk	5,557	0,002
	= 73,89 + 1,071 NL	3,760	0,543
	= 107,8 - 0,7081 CF	4,279	0,408
	= 114,0 - 0,8669 ADF	3,579	0,586
	= 115,1 - 0,5001 NDF	4,073	0,464
	= 101,4 - 5,967 ADL	2,740	0,757
INDF	= 15,69 - 1,148 popel	3,396	0,197
	= 7,761 - 0,3704 tuk	3,779	0,006
	= 16,42 - 0,7308 NL	2,560	0,544
	= - 8,316 + 0,5408 CF	2,648	0,512
	= - 12,43 + 0,6399 ADF	2,120	0,687
	= - 13,98 + 0,3834 NDF	2,439	0,586
	= - 2,517 + 4,136 ADL	1,765	0,783

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 6. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti sušiny trav využívající dvou prediktorů (% sušiny)

Parametr	Rovnice	RMSE	R ²
a_s	= 71,06 - 0,1223 popel - 1,237 ADF	2,315	0,871
	= 71,05 - 0,4542 tuk - 1,232 ADF	2,291	0,874
	= 75,85 - 0,2241 NL - 1,330 ADF	2,225	0,881
	= 69,26 + 0,1389 CF - 1,338 ADF	2,292	0,874
	= 72,07 - 0,8607 ADF - 0,2444 NDF	2,234	0,880
	= 71,25 - 1,355 ADF + 1,076 ADL	2,255	0,878
b_s	= 46,89 - 0,0676 popel + 0,1686 NDF	4,224	0,092
	= 44,85 + 0,2626 tuk + 0,1852 NDF	4,220	0,094
	= 27,47 + 0,6345 NL + 0,3639 NDF	3,730	0,292
	= 44,42 - 0,3722 CF + 0,3967 NDF	4,140	0,128
	= 45,58 - 0,1230 ADF + 0,2514 NDF	4,220	0,094
	= 40,19 + 0,4263 NDF - 3,451 ADL	3,678	0,312
c_s	= 0,1609 - 0,0013 popel - 0,0030 ADF	0,017	0,408
	= 0,1490 - 0,0015 tuk - 0,0029 ADF	0,017	0,406
	= 0,0978 + 0,0016 NL - 0,0020 ADF	0,016	0,450
	= 0,1432 + 0,0004 CF - 0,0031 ADF	0,017	0,405
	= 0,1283 - 0,0049 ADF + 0,0015 NDF	0,016	0,432
	= 0,1408 - 0,0026 ADF - 0,0018 ADL	0,017	0,404
ED_s	= 120,5 - 0,5562 popel - 1,797 ADF	4,798	0,756
	= 118,2 - 1,445 tuk - 1,753 ADF	4,707	0,765
	= 94,23 + 0,6700 NL - 1,359 ADF	4,432	0,792
	= 112,9 + 0,2062 CF - 1,882 ADF	4,815	0,754
	= 109,5 - 2,215 ADF + 0,3546 NDF	4,758	0,760
	= 108,6 - 1,332 ADF - 2,833 ADL	4,628	0,773

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 7. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti neutrálně detergentní vlákniny trav využívající dvou prediktorů (% sušiny)

Parametr	Rovnice	RMSE	R ²
b_{NDF}	= 95,55 + 0,2786 popel - 5,831 ADL	4,169	0,586
	= 95,27 + 1,333 tuk - 6,141 ADL	4,044	0,610
	= 87,66 + 0,537 NL - 4,502 ADL	3,848	0,647
	= 102,5 - 0,2243 CF - 5,187 ADL	4,089	0,601
	= 101,7 - 0,1837 ADF - 5,165 ADL	4,148	0,590
	= 104,3 - 0,153 NDF - 5,074 ADL	4,097	0,600
c_{NDF}	= 0,0147 - 0,0003 popel + 0,0040 NL	0,019	0,397
	= 0,0211 - 0,0037 tuk + 0,0040 NL	0,018	0,412
	= 0,0127 + 0,0039 NL + 0,00002 CF	0,019	0,396
	= 0,0534 + 0,0031 NL - 0,0010 ADF	0,018	0,419
	= 0,0191 + 0,0038 NL - 0,00008 NDF	0,019	0,397
	= 0,0362 + 0,0032 NL - 0,0058 ADL	0,018	0,421
ED_{NDF}	= 39,06 - 0,1900 popel + 1,9323 NL	6,356	0,570
	= 40,92 - 1,348 tuk + 1,9199 NL	6,266	0,582
	= 47,87 + 1,698 NL - 0,2565 CF	6,273	0,581
	= 65,77 + 1,330 NL - 0,6730 ADF	5,839	0,637
	= 54,48 + 1,622 NL - 0,2357 NDF	6,191	0,592
	= 59,99 + 1,182 NL - 5,543 ADL	5,240	0,708
D_{NDF}	= 99,69 + 0,1849 popel - 5,828 ADL	2,752	0,759
	= 99,82 + 0,7394 tuk - 6,023 ADL	2,698	0,769
	= 92,04 + 0,4804 NL - 4,592 ADL	2,338	0,826
	= 105,0 - 0,1856 CF - 5,262 ADL	2,662	0,775
	= 106,1 - 0,2410 ADF - 4,819 ADL	2,663	0,775
	= 106,4 - 0,1249 NDF - 5,178 ADL	2,673	0,773
INDF	= - 0,2416 - 0,243 popel + 3,954 ADL	1,750	0,791
	= - 1,009 - 0,694 tuk + 4,189 ADL	1,689	0,805
	= 3,628 - 0,3144 NL + 3,236 ADL	1,497	0,847
	= - 6,584 + 0,2088 CF + 3,343 ADL	1,573	0,831
	= - 7,730 + 0,2692 ADF + 2,855 ADL	1,578	0,830
	= - 8,698 + 0,1542 NDF + 3,163 ADL	1,555	0,835

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 8. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti sušiny trav vypočtené pomocí zpětné postupné mnohonásobné regrese (% sušiny)

		Rovnice	RMSE	R ²
Parametr	a ₁	= 85,44 - 0,2827 popel - 0,8984 tuk - 0,1187 NL + 0,2813 CF - 1,188 ADF - 0,3991 NDF + 1,247 ADL	1,988	0,913
		= 82,30 - 0,9017 tuk - 0,1518 NL + 0,2425 CF - 1,162 ADF - 0,3640 NDF + 1,168 ADL	1,996	0,911
		= 78,42 - 0,8892 tuk + 0,2722 CF - 1,095 ADF - 0,3885 NDF + 1,325 ADL	2,026	0,907
		= 78,55 - 1,122 tuk - 1,032 ADF - 0,2778 NDF + 1,374 ADL	2,095	0,898
		= 75,78 - 0,8138 tuk - 0,7664 ADF - 0,3298 NDF	2,168	0,889
		= 72,07 - 0,8607 ADF - 0,2444 NDF	2,234	0,880
	b ₁	= 20,01 - 0,1962 popel + 1,481 tuk + 0,5752 NL - 0,1800 CF + 1,299 ADF + 0,0748 NDF - 5,346 ADL	2,853	0,622
		= 20,87 - 0,2286 popel + 1,459 tuk + 0,5856 NL - 0,1461 CF + 1,383 ADF - 5,396 ADL	2,830	0,621
		= 18,53 + 1,447 tuk + 0,5614 NL - 0,1657 CF + 1,439 ADF - 5,483 ADL	2,817	0,618
		= 17,27 + 1,643 tuk + 0,5763 NL + 1,300 ADF - 5,426 ADL	2,819	0,610
		= 24,65 + 0,5782 NL + 1,101 ADF - 4,347 ADL	3,039	0,538
		= 39,99 + 0,8924 ADF - 5, 008 ADL	3,437	0,399
	c ₁	= 0,1131 - 0,0021 popel - 0,0003 tuk + 0,0018 NL + 0,0001 CF - 0,0044 ADF + 0,0012 NDF + 0,0028 ADL	0,016	0,484
		= 0,1117 - 0,0021 popel + 0,0018 NL + 0,0002 CF - 0,0044 ADF + 0,0012 NDF + 0,0027 ADL	0,016	0,484
		= 0,1107 - 0,0020 popel + 0,0017 NL - 0,0044 ADF + 0,0013 NDF + 0,0026 ADL	0,016	0,484
		= 0,1090 - 0,0019 popel + 0,0017 NL - 0,0039 ADF + 0,0011 NDF	0,016	0,481
		= 0,0883 + 0,0015 NL - 0,0039 ADF + 0,0013 NDF	0,016	0,471
		= 0,0978 + 0,0016 NL - 0,0020 ADF	0,016	0,450
	ED ₁	= 105,7 - 0,9315 popel - 0,6988 tuk + 0,7084 NL + 0,1959 CF - 1,475 ADF - 0,0432 NDF - 1,240 ADL	4,313	0,820
		= 105,2 - 0,9128 popel - 0,6859 tuk + 0,7024 NL + 0,1762 CF - 1,524 ADF - 1,211 ADL	4,274	0,820
		= 105,9 - 0,8510 popel - 0,8916 tuk + 0,6806 NL - 1,366 ADF - 1,294 ADL	4,255	0,818
		= 108,8 - 0,9185 popel - 1,222 tuk + 0,7238 NL - 1,536 ADF	4,257	0,815
		= 104,1 - 0,9410 popel + 0,7518 NL - 1,481 ADF	4,330	0,805
		= 94,23 + 0,6700 NL - 1,359 ADF	4,432	0,792

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Tab. 9. Predikční rovnice parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti NDF trav vypočtené pomocí zpětné postupné mnohonásobné regrese (% sušiny)

Rovnice		RMSE	R ²	
Parametr	b _{NDF}	= 87,92 - 0,2908 popel + 1,041 tuk + 0,5922 NL + 0,0525 CF + 0,6171 ADF - 0,3453 NDF - 5,560 ADL	3,824	0,682
		= 87,81 - 0,2659 popel + 0,9994 tuk + 0,5837 NL + 0,6282 ADF - 0,3218 NDF - 5,604 ADL	3,790	0,682
		= 84,73 + 1,027 tuk + 0,5567 NL + 0,6458 ADF - 0,3040 NDF - 5,680 ADL	3,768	0,679
		= 81,62 + 1,275 tuk + 0,5398 NL + 0,1662 ADF - 5,383 ADL	3,804	0,667
		= 86,34 + 1,019 tuk + 0,4915 NL - 4,711 ADL	3,794	0,663
		= 87,66 + 0,5371 NL - 4,502 ADL	3,848	0,647
	c _{NDF}	= 0,0577 - 0,0011 popel - 0,0023 tuk + 0,0030 NL + 0,0006 CF - 0,0053 ADF + 0,0022 NDF + 0,0022 ADL	0,018	0,512
		= 0,0538 - 0,0010 popel - 0,0018 tuk + 0,0030 NL + 0,0006 CF - 0,0049 ADF + 0,0021 NDF	0,017	0,510
		= 0,0426 - 0,0019 tuk + 0,0028 NL + 0,0005 CF - 0,0049 ADF + 0,0023 NDF	0,017	0,508
		= 0,0441 - 0,0023 tuk + 0,0028 NL + 0,0048 ADF + 0,0025 NDF	0,017	0,506
		= 0,0330 + 0,0028 NL - 0,0050 ADF + 0,0027 NDF	0,017	0,501
		= 0,0534 + 0,0031 NL - 0,0010 ADF	0,018	0,419
	ED _{NDF}	= 70,03 - 0,8271 popel - 0,4160 tuk + 1,233 NL + 0,2307 CF - 1,111 ADF + 0,3647 NDF - 3,874 ADL	5,187	0,739
		= 68,02 - 0,8289 popel + 1,236 NL + 0,2659 CF - 1,117 ADF + 0,3777 NDF - 4,087 ADL	5,146	0,738
		= 66,31 - 0,6349 popel + 1,191 NL - 1,060 ADF + 0,5125 NDF - 4,225 ADL	5,132	0,734
		= 58,63 + 1,121 NL - 1,014 ADF + 0,5537 NDF - 4,385 ADL	5,150	0,728
		= 56,31 + 1,222 NL + 0,0725 NDF - 5,887 ADL	5,272	0,709
		= 59,99 + 1,182 NL - 5,543 ADL	5,240	0,708
	DNDF	= 97,08 - 0,3927 popel + 0,3715 tuk + 0,5007 NL + 0,0566 CF + 0,0036 ADF - 0,0935 NDF - 4,498 ADL	2,372	0,837
		= 97,10 - 0,3931 popel + 0,3717 tuk + 0,5004 NL + 0,0569 CF - 0,0920 NDF - 4,493 ADL	2,349	0,837
		= 97,02 - 0,3672 popel + 0,3263 tuk + 0,4902 NL - 0,0609 NDF - 4,479 ADL	2,330	0,836
		= 98,77 - 0,3796 popel + 0,4932 NL - 0,0856 NDF - 4,299 ADL	2,321	0,835
		= 93,53 - 0,2381 popel + 0,5179 NL - 4,663 ADL	2,339	0,829
		= 92,04 + 0,4804 NL - 4,592 ADL	2,338	0,826
INDF	= - 3,747 + 0,2316 popel - 0,1636 tuk - 0,2807 NL - 0,0044 CF - 0,0358 ADF + 0,1417 NDF + 2,811 ADL	1,397	0,878	
	= - 3,738 + 0,2295 popel - 0,1601 tuk - 0,2800 NL - 0,0367 ADF + 0,1397 NDF + 2,812 ADL	1,384	0,878	
	= - 3,857 + 0,2326 popel - 0,1597 tuk - 0,2766 NL + 0,1226 NDF + 2,757 ADL	1,372	0,878	
	= - 4,716 + 0,2387 popel - 0,2781 NL + 0,1347 NDF + 2,669 ADL	1,364	0,877	
	= - 2,115 - 0,2524 NL + 0,1130 NDF + 2,700 ADL	1,380	0,872	
	= 3,628 + 3,236 ADL - 0,3144 NL	1,497	0,847	

Seznam použitých zkratk je uveden na straně 28.

Závěr

1. Predikce pomocí chemického složení se ukázala jako jednoduchá a velice účinná metoda k predikci parametrů degradovatelnosti sušiny a NDF, DNDF a INDF.
2. Většinu parametrů lze spolehlivě predikovat pomocí rovnic s využitím jednoho či dvou prediktorů.
3. Se zvyšujícím se počtem proměnných se zvyšoval koeficient determinace (R^2) u všech predikovaných parametrů degradovatelnosti sušiny a NDF, DNDF a INDF.
4. Pro jednotlivé parametry byly vypočteny tyto optimální predikční rovnice:

Degradovatelnost sušiny

$$a_s = 69,48 - 1,216 \text{ ADF} \quad (R^2 = 0,871)$$

$$b_s = 24,65 + 0,5782 \text{ NL} + 1,101 \text{ ADF} - 4,347 \text{ ADL} \quad (R^2 = 0,538)$$

$$c_s = 0,1090 - 0,0019 \text{ popel} + 0,0017 \text{ NL} - 0,0039 \text{ ADF} + 0,0011 \text{ NDF} \quad (R^2 = 0,481)$$

$$ED_s = 113,3 - 1,700 \text{ ADF} \quad (R^2 = 0,751)$$

Degradovatelnost a stravitelnost NDF

$$b_{\text{NDF}} = 87,66 + 0,5371 \text{ NL} - 4,502 \text{ ADL} \quad (R^2 = 0,647)$$

$$c_{\text{NDF}} = 0,0330 + 0,0028 \text{ NL} - 0,0050 \text{ ADF} + 0,0027 \text{ NDF} \quad (R^2 = 0,501)$$

$$ED_{\text{NDF}} = 59,99 + 1,182 \text{ NL} - 5,543 \text{ ADL} \quad (R^2 = 0,708)$$

$$\text{DNDF} = 101,4 - 5,967 \text{ ADL} \quad (R^2 = 0,757)$$

$$\text{INDF} = - 2,517 + 4,136 \text{ ADL} \quad (R^2 = 0,783)$$

5. Plně využitelné jsou samozřejmě také všechny ostatní uvedené rovnice, u kterých byl zjištěn koeficient determinace vyšší než 0,5.

III. Srovnání „novosti postupů“

Znalost kvalitativních parametrů krmiv (pro přežvýkavce hlavně objemných krmiv) je základním předpokladem vytvoření optimální krmné dávky, která může zajistit vysokou, ale hlavně finančně rentabilní výrobu živočišných komodit.

Tato metodika je zaměřena na poskytnutí nových experimentálně podložených výsledků a rad pro stanovení kvality travních porostů a to z pohledu parametrů trávení sušiny a buněčné stěny. Buněčná stěna je laboratorně charakterizována pomocí stanovení neutrálně detergentní vlákniny (NDF). Vezmeme-li v potaz, že buněčný obsah je přežvýkavci plně stravitelný (využitelný), je jasné, že celková výživná hodnota trav je ovlivňována stravitelností buněčné stěny (tedy NDF). Z tohoto důvodu považujeme stanovení stravitelnosti NDF za nejvhodnější kritérium kvality travní hmoty určené pro krmení či produkci krmiv přežvýkavcům. Pro samotné stanovení degradovatelnosti či stravitelnosti jednotlivých složek krmiv jsou využívány časově náročné ale hlavně finančně nákladné *in vivo*, *in situ* a *in vitro* metody, které jsou prováděny jen v menší míře a to zejména ve výzkumných institucích.

Tato metodika je určena k doplnění informací o kvalitě travních porostů a k určení parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti trav na základě základních chemických rozborů, které běžně provádí zemědělské laboratoře.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena především pro většinu moderních zemědělských podniků a farem zabývajících se chovem přežvýkavců, zejména skotu, a produkcí objemnou píci na trvalých travních porostech či orné půdě a dále pro chovatelské svazy, krajská informační střediska, zemědělské poradce a také pro osevňovací stanice a zemědělské laboratoře.

V. Seznam použité související literatury

- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis, AOAC International. 18th Edition. Gaithersburg, USA, ISBN 0-935584-75-7.
- Aderibigbe A.O., Church D.C. 1983. Feather and hair meals for ruminants. III. Relationship between enzymatic or *in vitro* rumen digestibility and *in vivo* digestibility of diets containing feather and hair meals. J. Anim. Sci., 57, 483-494.
- Adesogan A.T., Krueger N.K., Kim S.C. 2005. A novel, wireless, automated system for measuring fermentation gas production kinetics of feeds and its

- application to feed characterization. Anim. Feed Sci. Technol. 123-124, 211-223.
- Agbagla-Dohnani A., Nozière P., Clément G., Doreau M. 2001. *In sacco* degradability, chemical and morphological composition of 15 varieties of European rice straw. Anim. Feed Sci. Technol. 94, 15-27.
- Andrighetto I., Bailoni L., Cozzi G., Tolosa H.F., Hartman B., Hinds M., Sapienzs D. 1993. Observations on *in situ* degradation of forage cell components in alfalfa and italian ryegrass. J. Dairy Sci. 76, 2624-2631.
- Beuvink J.M.W., Kogut J. 1993. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. J. Anim. Sci. 71, 1041-1046.
- Blümmel M., M Gomezulu R., Chen X.B., Makkar H.P.S., Becker K., Ørskov E.R. 1999. The modification of an *in vitro* gas production test to detect roughage related differences in *in vivo* microbial protein synthesis as estimated by the excretion of purine derivatives. J. Agri. Sci. 133, 335-340.
- Broderick G.A., Wallace R.J., Ørskov E.R., Hansen L. 1988. Comparison of estimates of ruminal protein degradation by *in vitro* and *in situ* methods. J. Anim. Sci. 66, 1739-1745.
- Coblentz W.K., Fritz J.O., Fick W.H., Cochran R.C., Shirley J.E. 1998. *In situ* dry matter, nitrogen, and fiber degradation of alfalfa, red clover, and eastern gamagrass at four maturities. J. Dairy Sci. 81, 150-161.
- Coblentz W.K., Abdelgadir I.E.O., Cochran R.C., Fritz J.O., Fick W.H., Olson K.C., Turner J.E. 1999. Degradability of forage proteins by *in situ* and *in vitro* enzymatic methods. J. Dairy Sci. 82, 343-354.
- Craig W.M., Hong B.J., Broderick G.A., Bula R.J. 1984. *In vitro* inoculum enriched with particle-associated microorganisms for determining rates of fiber digestion and protein degradation. J. Dairy Sci. 67, 2902-2909.
- Doane P.H., Schofield P., Pell A.N. 1997. Neutral Detergent Fiber Disappearance and Gas and Volatile Fatty Acid Production During the *In Vitro* Fermentation of Six Forages. J. Anim. Sci., 75, 3342-3352.
- Elizalde J.C., Merchen N.R., Faulkner D.B. 1999. *In situ* dry matter and crude protein degradation of fresh forages during the spring growth. J. Dairy Sci. 82, 1978-1990.
- England M.L., Broderick G.A., Shaver R.D., Combs D.K. 1997. Comparison of *in situ* and *in vitro* techniques for measuring ruminal degradation of animal by-product proteins. J. Dairy Sci. 80, 2925-2931.
- Fonseca A.J.M., Dias-da-Silva A.A., Ørskov E.R. 1998. *In sacco* degradation characteristics as predictors of digestibility and voluntary intake of roughages by mature ewes. Anim. Feed Sci. Tech. 72, 205-219.
- Forejtová J., Lád F., Třináctý J., Richter M., Gruber L., Doležal P., Homolka P., Pavelek L. 2005. Comparison of organic matter digestibility determined by *in vivo* and *in vitro* methods. Czech J. Anim. Sci. 50, 47-53.
- Gosselink J.M.J., Dulphy J.P., Tamminga S., Cone J.W. 2004. Comparison of the *in situ* technique and the gas production technique in mimicking rumen dry matter degradation. J. Anim. Feed Sci. 13, Suppl. 1, 79-82.

- Holden L.A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *J. Dairy Sci.* 82, 1791-1794.
- Huhtanen P., Vanhatalo A., Varvikko T. 1998. Enzyme activities of rumen particles and feed samples incubated *in situ* with differing types of cloth. *Br. J. Nutr.* 79, 161-168.
- Huhtanen P., Nousiainen J., Rinne M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agric. Food Sci.* 15, 293-323.
- Cherney D.J.R., Cherney J.H., Lucey R.F. 1993. *In vitro* digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. *J. Dairy Sci.* 76, 790-797.
- Iantcheva N., Steingass H., Todorov N., Pavlov D. 1999. A comparison of *in vitro* rumen fluid and enzymatic methods to predict digestibility and energy value of grass and alfalfa hay. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81, 333-344.
- Jensen K.B., Waldron B.L., Asay K.H., Johnson D.A., Monaco T.A. 2003. Forage nutritional characteristics of orchardgrass and perennial ryegrass at five irrigation levels. *Agron. J.*, 95, 668-675.
- Kamalak A., Canbolat O., Gurbuz Y., Ozay O. 2005. Comparison of *in vitro* gas production technique with *in situ* nylon bag technique to estimate dry matter degradation. *Czech J. Anim. Sci.*, 50, 60-67.
- Koukolová V., Weisbjerg M.R., Hvelplund T., Lund P., Čermák B. 2004. Prediction of NDF degradation characteristics of grass and grass/clover forages based on laboratory methods. *J. Anim. Feed Sci.* 13, 691-708.
- López S., Carro M.D., González J.S., Ovejero F.J. 1998. Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 73, 99-113.
- Luchini N.D., Broderick G.A., Combs D.K. 1996. Preservation of ruminal microorganisms for *in vitro* determination of ruminal protein degradation. *J. Anim. Sci.* 74, 1134-1143.
- Mabjeesh S.J., Cohen M., Arieli A. 2000. *In vitro* methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: Comparison of methods and inoculum source. *J. Dairy Sci.* 83, 2289-2294.
- Micek P., Kowalski Z.M., Borowiec F., Shelford, J.A. 2001. Digestibility of whole grain crop silages determined by different methods. *J. Anim. Feed Sci.* 10, 695-706.
- Michalet-Doreau B., Ould-Bah M. Y. 1992. *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen, a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40, 57-86.
- Nagadi S., Herrero M., Jessop N.S. 2000a. The influence of diet of the donor animal on the initial bacterial concentration of ruminal fluid and *in vitro* gas production degradability parameters. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87, 231-239.
- Nagadi S., Herrero M., Jessop N.S. 2000b. The effect of fermentable nitrogen availability on *in vitro* gas production and degradability of NDF. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87, 241-251.

- Nocek J.E. 1988. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *J. Dairy Sci.*, 71, 2051-2069.
- Nousiainen J., Ahvenjärvi S., Rinne M., Hellämäki M., Huhtanen P. 2004. Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115, 295-311.
- Nousiainen J., Rinne M., Hellämäki M., Huhtanen P. 2003a. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103, 97-111.
- Nousiainen J., Rinne M., Hellämäki M., Huhtanen P. 2003b. Prediction of the digestibility of the primary growth and regrowth grass silages from chemical composition, pepsin-cellulase solubility and indigestible cell wall content. *Anim. Feed Sci. Technol.* 110, 61-74.
- Ørskov E.R., McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *J. Agr. Sci.* 92, 499-503.
- Petit H.V., Savoie P., Tremblay D., Dos Santos G.T., Butler G. 1994. Intake, digestibility, and ruminal degradability of shredded hay. *J. Dairy Sci.* 77, 3043-3050.
- Rinne M., Jaakkola S., Kaustell K., Heikkilä T., Huhtanen P. 1999. Silages harvested at different stages of grass growth v. concentrate foods as energy and protein sources in milk production. *Anim. Sci.* 69, 251-263.
- Rinne M., Huhtanen P., Jaakkola S. 1997. Grass maturity effects on cattle fed silage-based diets. 2. Cell wall digestibility, digestion and passage kinetics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67, 19-35.
- Roe M.B., Chase L.E., Sniffen J. 1991. Comparison of in vitro techniques to the in situ technique for estimation of ruminal degradation of protein. *J. Dairy Sci.* 74, 1632-1640.
- Rymer C., Givens D.I. 2002. Relationships between patterns of rumen fermentation measured in sheep and *in situ* degradability and the *in vitro* gas production profile of the diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 101, 31-44.
- Rymer C., Huntington J.A., Williams B.A., Givens D.I. 2005. In vitro cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124, 9-30.
- Statistica. 2001. Data analysis software system, version 6, StatSoft, Inc., OK.
- Stern M.D., Satter L.D. 1984. Evaluation of nitrogen solubility and dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58, 714-724.
- Stern M.D., Bach A., Calsamiglia S. 1997. Alternative Techniques for Measuring Nutrient Digestion in Ruminants. *J. Anim. Sci.* 75, 2256-2276.
- Tilley J.M.A., Terry R.A. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forages. *J. Brit. Grassl. Soc.* 18, 104-111.

- Traxler M.J., Fox D.G., Van Soest P.J., Pell A.N., Lascano C.E., Lanna D.P.D., Moore J.E., Lana R.P., Vélez M., Flores A. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J. Anim. Sci.* 76, 1469-1480.
- Valentin S.F., Williams P.E.V., Forbes J.M., Sauvand D. 1999. Comparison of the in vitro gas production technique and the nylon bag degradation technique to measure short- and long-term processes of degradation of maize silage in dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 78, 81-99.
- Van Soest P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University. ISBN 0-8014-2772-X. 476 p.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Vanzant E.S., Cochran R.C., Titgemeyer E.C. 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76, 2717-2729.
- Williams B.A. 2000. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. In: Givens, D. I., Owen, E., Axford, R. F. E. and Omed, H. M. Forage evaluation in ruminant nutrition, Oxon, UK, p. 189-213.
- Wilman D., Adesogan A. 2000. A comparison of filter bag methods with conventional tube methods of determining the in vitro digestibility of forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 84, 33-47.
- Yu P., Christensen D.A., McKinnon J.J. 2004. In situ rumen degradation kinetics of timothy and alfalfa as affected by cultivar and stage of maturity. *Can. J. Anim. Sci.* 84, 255-263.
- Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

VI. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Jančík F., Homolka P., Čermák B., Lád F. 2008. Determination of indigestible neutral detergent fibre contents of grasses and its prediction from chemical composition. *Czech J. Anim. Sci.* 53, 128-135.
- Jančík F., Homolka P., Čermák B. 2008. Prediction of indigestible neutral detergent fiber of grasses. In Book of Abstracts of the 59th Annual Meeting of the EAAP. Wageningen: Academic Publishers, s. 223.
- Jančík F. 2007. Bachorová degradace buněčné stěny vybraných druhů trav sklizených v různých stádiích zralosti a konzervovaných sušením a silážováním. Disertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 125 s.

- Jančík F., Homolka P., Čermák B. 2007. Prediction of organic matter rumen degradability of grasses and grass silages from the chemical composition. Konference mladých vědeckých pracovníků z oblasti výživy a dietetiky zvířat. VII. Kábrtovy dietetické dny. VFU Brno, 252-257.
- Jančík F., Čermák B., Lád F. 2006. Prediction of degradability parameters of grasses. Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice, 23, 75-83.
- Jančík F., Čermák B., Lád F. 2005. Bachorová degradace strukturálních sacharidů u různých druhů trav. Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference studentů DSP, České Budějovice, 75-80.

Seznam použitých zkratek

a_s	- rozpustná frakce sušiny
ADF	- acido detergentní vláknina
ADL	- acido detergentní lignin
b_{NDF}	- nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce NDF
b_s	- nerozpustná, ale potencionálně degradovatelná frakce sušiny
c_{NDF}	- rychlost degradace frakce b_{NDF}
c_s	- rychlost degradace frakce b_s
DNDF	- potencionálně stravitelná neutrálně detergentní vláknina
ED_{NDF}	- efektivní bachorová degradovatelnost NDF
ED_s	- efektivní bachorová degradovatelnost sušiny
INDF	- nestravitelný podíl neutrálně detergentní vlákniny
k	- rychlost pasáže částic z bachoru
NDF	- neutrálně detergentní vláknina
NL	- dusíkaté látky
RMSE	- střední kvadratická odchylka

- Vydal:** Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.
Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetěves
- Název:** Stanovení parametrů degradovatelnosti a stravitelnosti sušiny
a vlákniny trav na základě chemického složení
- Autoři:** Ing. Filip Jančík, Ph.D.
Ing. Petr Homolka, Ph.D.
Ing. Veronika Koukolová, Ph.D.
Oddělení výživy a krmení hospodářských zvířat
- Oponenti:** Prof. MVDr. Ing. Petr Doležal, CSc.
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Ústav výživy zvířat a pícninářství
Ing. Juraj Saksún
Ministerstvo zemědělství České republiky
Odbor živočišných komodit

ISBN 978-80-7403-029-1

Vydáno bez jazykové úpravy.

Metodika vznikla jako součást řešení výzkumných záměrů MZE0002701403
a MZE0002701404.