

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Porovnání vlivu krmení kukuřičné siláže zpracované  
technologíí shredlage a konvenční technologíí na  
produkční a fyziologické parametry dojnic**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Martina Brabcová**

**Obor studia: Výživa zvířat a dietetika**

**Vedoucí práce: Ing. Miroslav Joch, Ph.D.**

© 2022 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Porovnání vlivu krmení kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage a konvenční technologií na produkční a fyziologické parametry dojnic" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Jochovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala rodině a přátelům za podporu během celého studia a za postřehy a komentáře, které dopomohly k vylepšení této práce.

# Porovnání vlivu krmení kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage a konvenční technologií na produkční a fyziologické parametry dojnic

## Souhrn

V dnešní době se výživa dojnic stává velkou výzvou, jelikož je třeba zkombinovat dostatečný přísun živin s vhodnou strukturou krmné dávky. Proto jsou vyvíjeny nové technologie a typy úprav jednotlivých krmiv. Týká se to i kukuřičné siláže a typů jejího zpracování. Tato práce byla věnována technologii úpravy kukuřičné siláže, shredlage.

Cílem praktické části bylo určení vlivu krmení kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage, která v krmné dávce nahradila kukuřičnou siláž zpracovanou konvenční technologií, na produkci mléka, efektivitu využití krmné dávky a na délku přežvykování u dojnic. Pokus byl proveden jako křížový design se dvěma po sobě jdoucími experimentálními obdobími. Do experimentu bylo zařazeno 34 laktujících dojnic dvou plemen (holštýnský skot a český strakatý skot), které byly rozděleny do dvou skupin, kdy každé skupině byla přidělena náhodně jedna ze dvou diet. Diety měly stejné složení kompletní směsné krmné dávky (TMR) kromě toho, že jedna dieta obsahovala kukuřičnou siláž zpracovanou konvenční technologií a druhá obsahovala kukuřičnou siláž zpracovanou technologií shredlage. Kukuřičná siláž zpracovaná konvenční technologií byla sklížena s teoretickou délkou řezu 10 mm, zatímco kukuřičná siláž sklízená technologií shredlage měla teoretickou délku řezu 26 mm.

Kukuřičná siláž zpracovaná technologií shredlage pozitivně ovlivnila denní příjem sušiny ( $p < 0,05$ ). Produkce mléka se číselně zvýšila, tento rozdíl však nebyl statisticky významný. Efektivita využití krmné dávky se u shredlage diety snížila ( $p = 0,024$ ). Tuk ( $p = 0,139$ ), protein ( $p = 0,339$ ), laktóza ( $p = 0,664$ ) a močovinový dusík ( $p = 0,336$ ) ovlivněny shredlage dietou nebyly. Délka přežvykování nebyla dietou ovlivněna a průměrná tělesná hmotnost se u shredlage diety zvýšila ( $p < 0,05$ ). Parametry bachorové fermentace a pH nebyly dietou ovlivněny.

Zkrmování shredlage diety mělo sice pozitivní vliv na příjem sušiny, ale efektivita využití krmné dávky se nezvyšovala a dieta neměla příznivý vliv na produkci mléka a na bachorovou fermentaci.

**Klíčová slova:** dojnice, kukuřičná siláž, shredlage, fyzikálně efektivní vlákna, přežvykování

# Comparison of the effects of feeding corn shredlage and conventionally processed corn silage on production and physiology parameters of dairy cows

## Summary

Nowadays, feeding of dairy cows is becoming a great challenge as it is vital to combine the necessary amount of nutrients with appropriate structure of the feed ration. For this reason, new technologies and adjusted types of different fodders are being developed and tested. This includes corn silage and its processing. This paper is focused on shredlage, a processing technology of corn silage.

The aim of the practical experiment was to determine the effect of feeding corn silage processed by the shredlage technology, which replaced the conventionally processed corn silage in the feed ration. Specifically, the effect on milk production, feed efficiency and rumination time of the dairy cows. The experiment was conducted as change-over design with two consecutive experimental periods. The experiment included 34 lactating dairy cows of two breeds (Holstein and Czech Pied cows), which were divided into two groups, each assigned a diet at random. Both diets contained the same compound total mixed ration (TMR), except one contained conventionally processed corn silage and the other corn silage processed by shredlage technology. The conventionally processed corn silage was harvested with a theoretical length of the cut at 10 mm, while the corn silage harvested with shredlage technology had the theoretical length of the cut 26 mm.

The shredlage processed corn silage had a positive effect on a daily intake of dry mass ( $p < 0,05$ ). Milk production numerically increased but the difference was not statistical significant. The feed efficiency decreased for the shredlage diet ( $p = 0,024$ ). Fat ( $p = 0,139$ ), protein ( $p = 0,339$ ), lactose ( $p = 0,664$ ) and urea nitrogen ( $p = 0,366$ ) were not affected by the shredlage diet. The rumination time was also not affected and average body mass increased with the shredlage diet ( $p < 0,05$ ). Parameters of rumen fermentation and pH were not affected by the diet.

Although the use of the shredlage diet had a positive effect on intake of dry mass, feed efficiency did not increase and the diet did not have a positive effect on milk production and rumen fermentation.

**Keywords:** dairy cows, corn silage, shredlage, physically effective fiber, rumination

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Význam kukuřičné siláže ve výživě skotu .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Energetická hodnota kukuřičné siláže .....</b>	<b>3</b>
<b>3.3</b>	<b>Sacharidy v krmivech .....</b>	<b>4</b>
3.3.1	Význam škrobu .....	5
3.3.2	Význam vlákniny .....	5
3.3.2.1	eNDF .....	7
3.3.2.2	peNDF .....	7
3.3.2.3	Stanovení peNDF .....	8
<b>3.4</b>	<b>Lipidy v krmivech .....</b>	<b>9</b>
<b>3.5</b>	<b>Fyziologické parametry dojnic .....</b>	<b>10</b>
3.5.1	Vliv stravy na bachor a mléčnou produkci .....	10
3.5.2	Fungování předžaludků .....	10
3.5.3	Bachorová fermentace .....	11
3.5.4	Bachorová matrace .....	13
3.5.5	Přijímání potravy a ruminace .....	14
3.5.6	Sekrece slin .....	15
<b>3.6</b>	<b>Technologie zpracování kukuřičných siláží .....</b>	<b>16</b>
3.6.1	Zpracování kukuřičné siláže technologií shredlage .....	16
3.6.2	Délka řezu .....	17
<b>3.7</b>	<b>Produkční parametry dojnic .....</b>	<b>18</b>
3.7.1	Sekrece a produkce mléka .....	18
3.7.2	Mléčný tuk .....	19
3.7.3	Vlivy působící na mléčnou produkci a na kvalitu mléka .....	20
<b>4</b>	<b>Materiál a metodika .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Sklizeň a zpracování rostlin kukuřice .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2</b>	<b>Průběh experimentu, zvířata a krmení .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Vzorkování a analýzy .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Penn state separator .....</b>	<b>26</b>
<b>4.5</b>	<b>Výpočty a statistické analýzy .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Příjem krmiva a produkce mléka .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Bachorová fermentace .....</b>	<b>29</b>

<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Příjem krmiva a produkce mléka .....</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>Bachorová fermentace .....</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>35</b>





# 1 Úvod

Požadavky na vysokoprodukční dojnice se za posledních sto let hodně změnilly a produkce mléka nekolikanásobně stoupla. Tomu se musela přizpůsobit i krmná dávka, která dnes obvykle obsahuje vysoké množství energie ve formě škrobu a poměrně nízké množství vlákniny. To však může vést k různým zdravotním problémům (Varga et al. 1998). Nové technologie a typy úprav krmiv mohou přispět k vyváženosti krmné dávky z pohledu zastoupení živin i struktury.

Kukuřičná siláž se stává stále oblíbenějším krmivem pro mléčný skot, hlavně díky vysokým výnosům, velkou výhodou také je, že se může krmit celoročně (Allen et al. 2003). Někteří autoři uvádějí, že obsah píce v krmných dávkách vysokoprodukčních dojnic tvoří až 60 %, proto se producenti mléka snaží kukuřičnou siláž stále vylepšovat. Stále se vylepšuje její nutriční hodnota, pěstují se hybridy s vysokou stravitelností vlákniny a škrobu, dbá se na množství sušiny při sklizni a způsob zpracování zrn a také se věnuje pozornost managementu sklizně (Chase 2015). Vysokoprodukční dojnice vyžadují velké množství fyzikálně efektivní vlákniny a energie pro produkci mléka a udržení tělesné kondice (Zebeli et al. 2012) a právě kukuřičná siláž je jejím důležitým zdrojem (Ferraretto & Shaver 2012). Snadno ale může dojít k náplni batoru a tím omezení příjmu krmiva (Krämer-Schmid et al. 2016). A protože jsou technologie sklizně kukuřičné siláže stále vylepšovány, aby bylo krmivo co nejučinnější a nedocházelo ke zdravotním problémům zvířat, vyvinula se před pár lety nová technologie.

Technologie shredlage je relativně nová metoda pro zpracování kukuřičné siláže. Siláž je řezána na větší délku oproti běžné kukuřičné siláži. Vanderwerff et al. (2015) uvádějí jako ideální délku řezanky 22–30 mm. Poté jsou částice ještě drceny mezi válci a tím dochází k velkému narušení stonku a zrn kukuřice. Předpokládá se, že kukuřice sklizená pomocí technologie shredlage je lépe silážovatelná než kukuřice sklizená konvenčními řezačkami (Heinrichs 2013). Tato metoda by měla zlepšit dostupnost energie pro dojnice díky zmenšení velikosti částic jádra a lepší fyzické účinnosti krmiva. Mačkání siláže mezi válci by mělo zvětšovat plochu pro mikrobiální osídlení a to by mělo vést k lepší fermentaci v batoru a k lepší stravitelnosti škrobu (Ferraretto et al. 2018). Díky zlepšené využitelnosti škrobu a lepší stravitelnosti kukuřičných zrn v siláži by mělo být možné snížit množství přidávaného jaderného krmiva do krmných dávek dojnic, aniž by klesla produkce mléka. Předpokládá se, že by mělo být také možné odebrat z krmné dávky seno či slámu, která dodává potřebnou vlákninu do krmných dávek, díky lepší stravitelnosti vlákniny v kukuřičné siláži (Chase 2015). Také by se měla zvyšovat fyzikálně efektivní vláknina v krmivu, která udržuje batorové pH a je spojena se žvýkací aktivitou a také s obsahem mléčného tuku (Ferraretto & Shaver 2012). A nejenom že by se krmením kukuřičné siláže, která je zpracovaná technologií shredlage, měla zlepšovat využitelnost krmiva, zlepšovat by se měla také produkce mléka a celkově by mělo docházet k lepší užitkovosti (Ferraretto et al. 2018; Conroy et al. 2020), která je producenty mléka žádaná. Tato práce se zaměřuje na to, zda se změny produkční a fyziologické parametry dojnic, které budou namísto konvenčně zpracované kukuřičné siláže krmeny kukuřičnou siláží zpracovanou technologií shredlage.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je porovnat účinky krmení kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage a konvenční technologií na produkční a fyziologické parametry dojnic.

### **Hypotéza:**

Zpracování kukuřičné siláže metodou shredlage může zlepšit narušení zrna a zvýšit zastoupení fyzikálně efektivní vlákniny v krmné dávce. To může mít příznivý vliv na produkční a fyziologické parametry dojnic.

Předpokládáme, že zkrmování kukuřičné siláže zpracované metodou shredlage:

- zvýší produkci mléka;
- zvýší zastoupení tuku v mléce;
- zvýší efektivitu využití krmné dávky;
- prodlouží dobu přežvykování dojnic.

## **3 Literární rešerše**

### **3.1 Význam kukuřičné siláže ve výživě skotu.**

Siláže jsou v současné době oblíbenou formou krmení objemnými krmivými na mléčných farmách a ve většině případů jsou zkrmována celoročně (Poštulka & Doležal 2010). Tvoří 20–40 % sušiny v krmivu (Bach et al. 2021). Kukuřice je ideální plodinou pro silážování díky své energetické hodnotě, obsahu vlákniny a vysoké výnosnosti (Kononoff et al. 2003). Kukuřičná siláž je vysokoenergetické, nízko-bílkovinné a velice kvalitní krmení, které se snadno vyrábí a skladuje a zvířata jej velmi dobře přijímají (Rebora et al. 2018). Plocha půdy potřebná k pěstování kukuřičné siláže je díky vysokým výnosům nízká a umožňuje to krmení většího počtu zvířat. Hlavní výhodou kukuřičné siláže je vyšší výnos sušiny (DM) než u většiny alternativních krmiv v chladné sezóně. Navíc kvalita kukuřice při sklizni neklesá se zralostí tak rychle jako u jiných píce, takže můžeme sklízet až dva týdny a sklizeň kukuřičné siláže a manipulace s ní je nízkonákladová, protože lze velmi dobře mechanizovat a sklízí se pouze jednou (Allen et al. 2003). Kukuřičná siláž je důležitým zdrojem fyzikálně efektivní vlákniny (peNDF) a energie v krmivech (Ferraretto & Shaver 2012) a pro svou vysokou nutriční hodnotu a pomalou odbouratelnost škrobu v batoru je ideální pro krmení vysokoužitkových dojnic. Krmné dávky složené ze siláže na kukuřičné bázi jsou důležitým zdrojem energie, který se vyznačuje střední rozložitelností v batoru (Tománková & Homolka 2009). Siláž může podporovat vysokou produkci mléka, i když je jediným zdrojem píce ve stravě (Beauchemin 1991). Celosvětově převládající pícinou ve výživě skotu se stala celozrnná kukuřičná siláž, která poskytuje současně velké množství energie a peNDF (Ferraretto et al. 2018).

### **3.2 Energetická hodnota kukuřičné siláže**

Odhad energetické hodnoty kukuřičné siláže je velice důležitý, protože energie je primární složkou v krmivech pro dojnice (Schwab et al. 2003). Nutriční hodnota kukuřičné siláže se mění v závislosti na typu hybridu, stupni zralosti a obsahu vlhkosti (Kononoff et al. 2003). Například stravitelnost škrobu se může u hybridů lišit a dostupnost škrobu v kukuřičné siláži klesá s rostoucí zralostí rostlin (Andrae et al. 2001). Také závisí na poměru buněčného obsahu a buněčných stěn a na schopnosti batorových mikroorganismů degradovat buněčné stěny rostlin a fermentovat dostupné sacharidy (Koukolová et al. 2010). Dojnice potřebují vysoký příjem energie na podporu produkce mléka a tělesné kondice kvůli vysoké nutriční náročnosti laktace (Zebeli et al., 2012). Koncentrace dusíkatých látek (CP), tuků, nevláknitých sacharidů (NFC), neutrálně detergentní vlákniny (NDF) a stravitelnost těchto složek živin ovlivňují energetickou hodnotu krmiv (Schwab et al. 2003). Požadavky na energii a na vlákninu dojnic ve střední a pozdní laktaci jsou splněny poměrně snadno (Allen 1997), ale požadavky na energii a na vlákninu pro mléčný skot v časně laktaci se splňují daleko hůř, protože potřeba energie pro udržení funkce tělesné tkáně a produkci mléka je až 3x vyšší než před otelením (Weber et al. 2013). Pozdní březost a časnou laktaci lze považovat za nejkritičtější období pro vysokoprodukční dojnice (Van Knegsel et al. 2007). Přechodné období představuje pro dojnice velký stres a může se zhoršit denní příjem sušiny (DMI), produkce mléka a zdraví stáda

(Grant & Albright 1995). Během přechodného období a v období rané laktace dochází k mobilizaci tělesných zásob různých tkání, zejména tukové tkáně, aby se pokryly energetické potřeby. Mobilizace tuku ke splnění energetických požadavků během rané laktace je nevyhnutelná kvůli nedostatečnému příjmu krmiva (Weber et al. 2013). Krávy mají po porodu sníženou chuť k jídlu a zvyšují se metabolické procesy, což vyžaduje velké množství substrátů pro syntézu mléčných složek (Jóźwik et al. 2012). V prvních týdnech laktace potřebují vyšší koncentraci bílkovin ve stravě, aby kompenzovaly nízký příjem krmiva během tohoto období (Wu & Satter 2000). Ke zvýšení příjmu energie se podává krmivo s vysokým množstvím škrobu a s malým množstvím NDF (Krause et al. 2002), které je vysoce fermentovatelné v batoru a podporuje maximální produkci mléka, ale tato dieta může vést k řadě metabolických poruch (Beauchemin & Yang 2005). Nedostatečný příjem živin má také za následek využití tělesných zásob, protože pro snížení energetického deficitu dochází k mobilizaci tělního tuku a k lipolytickým procesům. Hydrolýza tuků způsobuje zvýšený metabolismus mastných kyselin v játrech. Intenzivní lipolýza vede k metabolickým poruchám, jako je hyperketonémie, hypoglykémie a hyperbilirubinémie. Tyto metabolické poruchy negativně ovlivňují užitkovost, chemické složení a technologické parametry mléka a plodnost (Jóźwik et al. 2012). Metabolické a reprodukční poruchy u dojnic na začátku laktace byly přiřazeny k negativnímu energetickému stavu, který je důsledkem genetického potenciálu pro vysokou produkci mléka doprovázenou opožděným příjmem krmiva v období okolo porodu (Van Knegsel et al. 2007).

Energie v pici se získává především ze strukturálních sacharidů nacházejících se v buněčné stěně, která tvoří rostlinnou vlákninu (Krämer-Schmid et al. 2016). Dalším důležitým zdrojem energie je škrob (Ferraretto et al. 2018).

### 3.3 Sacharidy v krmivech

Sacharidy tvoří minimálně 70 % sušiny v krmných dávkách dojnic a dělíme je do frakcí, které mají odlišné nutriční vlastnosti (Mertens 1997). Veškeré sacharidy jsou rozděleny na NFC a na strukturální sacharidy (NDF). Mezi strukturální sacharidy patří hemicelulóza a acido detergentní vláknina (ADF), pod kterou spadá celulóza a lignin (Koukolová et al. 2010). Optimální množství ADF ve stravě pro dojnice je 21 % a přibližně 40 % NFC (Grant et al. 1990; Batajoo & Shaver 1994). NFC jsou často rozpustné ve vodě a skládají se z cukrů, škrobů a pektinů. Ačkoli jsou pektiny často spojeny s buněčnou stěnou, nejsou na její lignifikované části kovalentně vázány a jsou téměř úplně tráveny (90–100 %) v batoru (Nocek & Tamminga 1991). Rostlinné polysacharidy (škrob, celulóza, hemicelulóza a pektiny) jsou fermentovány extracelulárními enzymy batorových bakterií, hub a některých prvoků na monosacharidy a oligosacharidy. Tyto cukry jsou přeměněny intracelulárními bakteriálními enzymy na pyruvát. Pyruvát se redukuje na těkavé mastné kyseliny (TMK), hlavně acetát, propionát a butyrát, plus CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> (Lean et al. 2014). Hlavními sacharidy pro přežvýkavce jsou celulóza a škrob (Li et al. 2013).

### 3.3.1 Význam škrobu

Škrob je primární energetická složka krmiva a je základní živinou ve stravě vysokoprodukčního skotu (Tománková & Homolka 2009), je důležitý pro tvorbu mikrobiálních bílkovin v bacheru (Oba & Allen 2003) a je od něj odvozeno asi 50 % energetické hodnoty celozrnné kukuřičné siláže (Ferraretto & Shaver 2012). Škrob se skládá ze dvou hlavních molekul, amylozy a amylopektinu, které jsou pohromadě drženy vodíkovými vazbami (Nocek & Tamminga 1991). Využití škrobu je ovlivněno zralostí celozrnné kukuřičné siláže při sklizni, kdy se s postupující zralostí zvyšuje obsah DM, dále teoretickou délkou řezu (TLOC) a zpracováním jádra. Když zlepšíme využití škrobu v siláži, můžeme tedy zlepšit i laktační výkon a sníží se náklady na krmení (Ferraretto & Shaver 2012). V bacheru se z kukuřičného zrna odbourává nejvíce škrobu a to 50–95 % (Tománková & Homolka 2009). Kukuřičné zrno, které má dva genotypy (dent vs. flint), se skládá ze tří základních morfoloických částí: perikarp, klíček a endosperm. Klíčky a endosperm jsou obklopeny perikarpem, který je do značné míry odolný vůči mikrobiálnímu uchycení. Škrobová zrna z kukuřičného zrna jsou obklopena proteinovou maticí v endospermu, která ovlivňuje trávení mikroorganismy. Stravitelnost škrobu může ovlivnit několik faktorů. Především fáze zralosti při sklizni, dále obsah vlhkosti a typ endospermu (Ferraretto et al. 2013). Kukuřičná zrna typu flint mají větší procento tvrdého (sklivcového) endospermu, kde jsou škrobové granule obklopeny bílkovinami a jsou uloženy v maticí. Má tedy nižší degradovatelnost v bacheru a zbývající škrob se tráví ve střevě. Zatímco zrna typu dent mají větší procento moučnatého (květnatého) endospermu, kde jsou škrobové granule dostupnější pro trávení (Johnson et al. 1999). Pro trávení škrobu mikroby v bacheru je nutné proteinovou maticí narušit (Oba & Allen 2003). Škrob, který není degradován v bacheru a je tráven v tenkém střevě, poskytuje více energie než škrob degradovaný v bacheru, a může proto být efektivněji využit pro produkci mléka (Krämer-Schmid et al. 2016). Stravitelnost škrobu může být ovlivněna enzymatickou aktivitou bacherové tekutiny a rychlostí průchodu škrobu z bacheru, což může být ovlivněno konzervační metodou a koncentrací škrobu ve stravě (Oba & Allen 2003). Rychlost průchodu gastrointestinálním traktem (GIT) zvyšuje DMI, čímž se zkracuje doba pro hydrolyzu škrobu, což omezuje stravitelnost škrobu. Dále například silážování kukuřice s vysokou vlhkostí vede k rozpadu hydrofobní škrobové proteinové matrice, čímž dochází ke zvýšení stravitelnosti škrobu (Ferraretto et al. 2013).

### 3.3.2 Význam vlákniny

Vláknina je hlavním zdrojem energie v krmivech pro přežvýkavce, a je proto další důležitou složkou ve stravě dojníc (Krämer et al. 2013). K jejímu popisu jsou používány termíny acido detergentní vláknina (ADF) a neutrálně detergentní vláknina (NDF). U vysokoprodukčních dojníc a u dojníc na počátku laktace by obsah ADF v dietě měl být v rozmezí mezi 18 až 20 % v sušině a u NDF mezi 28 až 30 % v sušině (Kudrna et al. 2008).

Vlákninu lze nutričně definovat jako pomalu stravitelnou nebo nestravitelnou frakci krmiv, která zabírá prostor v gastrointestinálním traktu zvířat (Mertens 1997). Dojnice ji vyžadují pro udržení správné funkce bacheru a pro maximalizaci dojivosti (Oba & Allen 1999). Částice krmiva s vysokým zastoupením vlákniny vytváří bacherovou maticí, která stimuluje

funkci batoru a nejlhodněji se měří jako NDF. Hlavní složky NDF jsou celulóza, hemicelulóza a lignin (Van Soest et al. 1991). Je důležité správně odhadnout minimální množství vlákniny, které skot ve stravě potřebuje, protože aby byly splněny požadavky vysokoprodukčních dojnic na energii, tak se strava skládá především z velkého množství koncentrátů a vysoce kvalitních krmiv obsahujících relativně malé množství vlákniny. Pro udržení normální funkce batoru a procenta mléčného tuku však musí velká část vlákniny pocházet z píce (Varga et al. 1998). Dle NRC (National Research Council) je doporučeno, aby alespoň 25 % sušiny tvořilo NDF (viz Tabulka 1) a 75 % tohoto NDF by mělo pocházet z píce (NRC, 2001). Trávení vlákniny je energeticky náročné a může probíhat pouze mikrobiální fermentací (Stensig & Robinson 1997). Pro stanovení potřebného množství vlákniny u dojnic je významnou proměnnou pH v batoru (Allen 1997). Pokud je krávám podáván nedostatek vlákniny, vede to ke snížení užitekosti zvířat. Dojnice mají sníženou žvýkací aktivitu, což vede k menší sekreci slin (tj. pufru), což vede ke snížení pH v batoru a to vede ke změně batorové fermentace a nízké poměry acetátu k propionátu, které vedou k modifikovanému metabolismu zvířat a snížené syntéze mléčného tuku (Mertens 1997). Strava by měla být vyvážená, aby se udrželo přiměřené pH v batoru. Když se pH v batoru snižuje, snižuje se i chuť k jídlu, motilita batoru, mikrobiální výnos a trávení vlákniny. Nízké pH v batoru má přímé negativní účinky na příjem energie a vstřebávání bílkovin, což jsou primární faktory omezující produkci vysokoprodukčních dojnic. Když je pH v batoru podstatně sníženo, může dojít k vážným zdravotním problémům, jako je laminitida, ulcerace batoru, jaterní absces a dokonce i smrt (Allen 1997). Dojnice mohou také vykazovat při příjmu malého množství vlákniny jednu nebo více z následujících účinků: snížená celková stravitelnost DM, snížené procento mléčného tuku, dislokovaný abomasum a zvýšený výskyt batorové parakeratózy, laminitidy, acidózy a syndrom tučné krávy (Lammers et al. 1996). Tyto poruchy ale mohou vykazovat i krávy konzumující dostatek NDF bez dostatečného podílu dlouhých částic (Beauchemin & Yang 2005). Stravitelnost vlákniny v batoru je výsledkem konkurenčních procesů trávení a pasáže, a přestože zvýšená doba zadržení částic krmiva v batoru zvyšuje stravitelnost, zároveň snižuje příjem krmiva (Krämer et al. 2013). Nadbytek vlákniny totiž přispívá k fyzické náplni batoru a tím omezuje příjem krmiva (Krämer-Schmid et al. 2016). Celkový efekt plnění je určen obsahem NDF v píci, velikostí částic píce, křehkostí NDF píce určenou typem píce a stravitelností NDF v rámci rodu pícnin (Allen & Bradford 2009). Stěny rostlinných buněk jsou nejméně stravitelné organické složky krmiv. Chemické vazby mezi hemicelulózou a ligninem prostřednictvím ferulátových esterových a ferulátových etherových vazeb jak fyzicky, tak chemicky omezují mikrobiální přístup ke složkám buněčné stěny a zpomalují nebo inhibují trávení buněčné stěny (Owens & Basalan 2016). Čím je píce více vyzrálá, tím se stává více lignifikovanou. Lignin je součástí buněčných stěn rostlin, pomáhá zpevnit rostlinu a zabraňuje poléhání. Je také v podstatě nestravitelný batorovými mikroorganismy a omezuje fermentaci celulózy a hemicelulózy (Allen & Bradford 2009) a je prakticky veškerý z potravy vylučován stolicí. Lignin tedy může být použit jako nestravitelný marker v krmivech pro výpočet stravitelnosti ostatních složek krmiva na základě rozdílu (Owens & Basalan 2016). V rámci typu píce souvisí míra, do jaké je NDF zdřevnatělá s plnicími účinky NDF. Vlákna, která je méně zdřevnatělá, se z batoru rychleji vyčistí a poskytne více prostoru pro další jídlo (Allen & Bradford 2009).

Množství i účinnost vlákniny může ovlivnit bacherovou fermentaci a metabolismus zvířat, což má za následek nízkou produkci mléčného tuku. Proto byl zaveden pojem efektivní vláknina.

### 3.3.2.1 eNDF

Efektivní vláknina (eNDF) je definována jako schopnost krmiva nahradit píci nebo objemové krmivo v krmné dávce tak, aby procento tuku v mléce produkované dojnici, při zkrmování náhradního krmiva, bylo účinně zachováno. Účelem eNDF je zohlednit faktory, které ovlivňují peNDF, faktory ovlivňující produkci bacherové kyseliny a metabolické posuny, které ovlivňují produkci mléčného tuku. eNDF tedy souvisí s vnitřní pufrovací a neutralizační kapacitou pH, koncentrací a složením tuku, produkcí kyselin během fermentace, změnami pH odrážejícími rovnováhu pufrační kapacity a produkce kyseliny, posuny v množství a poměrech produkovaných TMK a metabolickými změnami, které ovlivňují sekreci mléčného tuku a také odráží účinky, které může mít náhrada vlákniny za snadno fermentovatelné sacharidy a tuky ve stravě na produkci mléčného tuku (Mertens 1997).

Protože eNDF zahrnuje mnoho faktorů mimo NDF, byl zaveden omezenější termín a koncept peNDF, který se vztahuje pouze k fyzikálním vlastnostem vlákna (Mertens 1997).

### 3.3.2.2 peNDF

Fyzikálně efektivní vláknina je definována jako frakce NDF, která stimuluje přežvykování a přispívá ke správné konzistenci bacherové tráveniny (Oh et al. 2016) a je nezbytná pro zdraví a výkon zvířat (Shaw et al. 2016). Koncepce peNDF byla zavedena, aby propojila fyzikální vlastnosti krmiv (především velikost částic) s jejich účinky na žvýkací aktivitu a nakonec pH v bacheru. Termín peNDF kombinuje faktor fyzikální účinnosti (pef) krmiva s jeho obsahem NDF a lze jej použít ve složení stravy k zajištění přiměřené velikosti částic (Yang & Beauchemin 2005). Fyzikálně efektivní vláknina je zapotřebí k udržení správného pH bacheru a je pozitivně spojena s žvýkací aktivitou a obsahem mléčného tuku (Ferraretto & Shaver 2012). Podle délky částic a obsahu NDF, které podporují žvýkání a tok slinných pufrů do bacheru, můžeme určit peNDF (Yang & Beauchemin 2007). Zvýšením TLOC pícnin lze ve stravě zvýšit peNDF, čímž dosáhneme zvýšené aktivity žvýkání, pufrování slin a tvorby rohože bacheru (Vanderwerff et al. 2015). Zvýšený příjem peNDF přispívá k zlepšení trávení vlákniny, zlepšením funkce bacheru a k lepší mikrobiální syntéze v bacheru (Yang & Beauchemin 2005). Ale i když zvýšíme příjem peNDF a tím se zvýší přežvykování, přírůstková pufrovací kapacita vyplývající ze zvýšeného slinění nesníží výskyt bacherové acidózy u dojníc krmených dietou s nízkým obsahem vlákniny. Kromě peNDF je tedy při regulaci pH v bacheru rozhodující fermentace krmiva (Beauchemin & Yang 2005).

*Tabulka 1. Nutriční požadavky laktujících dojníc (NRC 2001)*

<b>Produkce mléka (kg)</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>45</b>
<b>Denní příjem sušiny (kg)</b>	20,3	23,6	26,9
<b>NEL (Mcal/den)</b>	27,9	34,8	41,8
<b>Hrubý protein (% sušiny)</b>	14,1	15,2	16,0
<b>NDF (min. % sušiny)</b>	25–33	25–33	25–33
<b>ADF (min. % sušiny)</b>	17–21	17–21	17–21
<b>NFC (max. % sušiny)</b>	36–44	36–44	36–44
<b>Vstřebatelný vápník (g/den)</b>	52,1	65	76,5
<b>Vstřebatelný fosfor (g/den)</b>	44,2	56,5	68,8

### 3.3.2.3 Stanovení peNDF

Obsah peNDF ve stravě lze určit vynásobením obsahu NDF ve stravě faktorem fyzické účinnosti (pef) (Beauchemin & Yang 2005).

Penn State Particle Separator (PSPS) je rychlou a nákladově efektivní metodou pro odhad velikosti píce a částic kompletní směsné krmné dávky (TMR) a byl zkonstruován pro stanovení velikosti částic krmiva na farmě (Yang & Beauchemin 2006). Prosévací metody se obvykle používají k hodnocení peNDF, odhadu schopnosti píce stimulovat přežvykování a přísun slin a jsou zodpovědné za objemnost, která může omezit příjem krmiva (Owens & Basalan 2016).

PSPS je znázorněn na Obrázku 1 a skládá se ze tří sít a spodní pevné části (dna). Dvě síta s kulatými otvory o průměrech 19,0 a 8,0 mm a tloušťkou 12,2 a 6,4 mm a nedávno přidané třetí kovové síto se čtvercovými oky s velikostí otvoru 1,18 mm. Přidání síta o velikosti 1,18 mm nyní umožňuje odhadnout tu část potravy, která rychle opouští bachor a je považována za užitečnou při odhadu peNDF (Kononoff & Heinrichs 2003). Frekvence horizontálního prosévání je 1,1 Hz nebo přibližně 1,1 protřepání za sekundu (Esmaili et al. 2016). Pomocí PSPS se distribuce částic určí ze 4 frakcí: podíl dlouhých částic zadržovaných na sítu 19,0 mm; podíl středních částic, které projdou sítem 19,0 mm, ale jsou zadrženy na sítu 8,0 mm; podíl krátkých částic, které projdou přes 8,0 mm síto, ale jsou zadrženy na sítu 1,18 mm a poslední frakcí jsou jemné částice, které projdou přes 1,18mm síto (Beauchemin & Yang 2005; Esmaili et al. 2016). 19mm síto bylo navrženo k zachycení částic krmiva, které jsou nadnášeny v bacheru a poskytují materiál, který vyžaduje podstatné dodatečné přežvykování krávou. Na 8mm sítu se zachycují především částice krmiva, které se rychleji rozkládají, potřebují méně přežvykování a rychleji hydratují v bacheru a dochází k rychlejšímu mikrobiálnímu rozkladu. Nejmenší 1,18mm síto poskytuje informace o hladině velmi jemných částic v krmivu. Tato frakce se snadno hydratuje, a buď klesá v bacheru, nebo z bacheru odchází spolu s tekutou frakcí (Heinrichs 2013). Po separaci je DM každé separované frakce stanoven sušením v sušárně při 55 °C po dobu 48 hodin (Esmaili et al. 2016).



PeNDF se vypočítá jako součet podílu částic zadržných na sítích 19; 8 a 1,18 mm. PeNDF lze definovat jako podíl DM zadržný sítím 1,18 mm vynásobený dietním NDF ( $peNDF > 1,18$ ) za použití techniky suchého prosévání (Oh et al. 2016). Často se ale místo tří sítí používají síta pouze dvě (19 a 8 mm), protože PSPS se dvěma sítí rozlišuje krmiva na základě délky částic a je v korelaci se žvýkáním a pH v batoru (Beauchemin et al. 2006).

Pro vysokoprodukční dojnice je kritická prahová hodnota pro částice unikající z batoru větší než 1,18 mm, proto se pro přesnější odhad peNDF vysokoprodukčních dojnic používá síto ve velikosti 4 mm. Částice krmiva zachycené na tomto sítu jsou především malé kousky píce, které mají často, ale ne nutně, vysoký obsah vlákniny. Tyto částice budou pravděpodobně zachyceny v batorové matraci, ale lze je snadno rozložit rychlým mikrobiálním působením nebo s minimálním přežvykováním. Hydratují se poměrně rychle a nezůstávají zachyceny v batorové matraci dlouhou dobu (Heinrichs 2013).

Pokud je kukuřičná siláž jedinou pícninou v krmné dávce, mělo by se alespoň 8 % částic nacházet na horním sítu separátoru, ve srovnání s minimálně 3 %, kdyby nebyla kukuřičná siláž jedinou pícninou. Na středním sítu by se pak mělo zachytit 45–65 % částic a na spodním sítu 20–30 % částic. Na dně separátoru by nemělo být více jak 10 % částic (Heinrichs 2013).



**Obrázek 1.** Penn State Partical Separator se sítí 19, 8 a 4 mm, včetně materiálu po protřepání (Lely 2022)

### 3.4 Lipidy v krmivech

Strava konzumovaná laktujícími dojnicemi má nízký obsah tuku a obvykle obsahuje pouze asi 4–5 % lipidů. Převládajícími polynenasycenými mastnými kyselinami (PUFA), které jsou krmeny dojnicím, jsou kyselina linolenová, která se získává hlavně z pícnin

a kyselina linolová, která je hlavní složkou olejnatých semen a koncentrátů (Lock & Bauman 2004). Lipidy se obvykle zkrmuji za účelem zvýšení energetické hustoty stravy (NRC 2001).

Lipidy jsou definované jako organické sloučeniny, které nejsou rozpustné ve vodě, ale jsou rozpustné v organických rozpouštědlech. Dělí se na neglycerové lipidy a na glycerové lipidy. Neglycerové lipidy zahrnují vosky a kutin, které se vyskytují na povrchu rostlin, poskytují nestravitelnou, nepropustnou bariéru a působí proti ztrátám vody a poskytují ochranu proti rostlinným patogenům a toxinům. A glycerové lipidy obsahují mastné kyseliny vázané na glycerolový hlavní řetězec. Obsah a složení mastných kyselin určuje hodnotu lipidů jako složek krmiva. Mezi nejdůležitější lipidy na bázi glycerolu, které se nacházejí v krmivu pro zvířata, patří triglyceridy, fosfolipidy a galaktolipidy (Jenkins & Harvatine 2014). V prvotním kroku metabolismu lipidů dochází k hydrolýze jejich esterových vazeb a je to primárně prováděno hydrolázami produkovanými bachorovými bakteriemi. Biohydrogenace nenasycených mastných kyselin je druhou hlavní transformací, kterou lipidy v potravě procházejí v bachoru, a její průběh vyžaduje volné mastné kyseliny. Biohydrogenace se týká pouze několika druhů bachorových bakterií, které tyto reakce provádějí jako ochranný mechanismus proti toxickým účinkům PUFA. Biohydrogenace je rozsáhlá a u většiny diet se kyselina linolová a kyselina linolenová hydrogenují ze 70–95 % na 85–100 % (Lock & Bauman 2004).

## **3.5 Fyziologické parametry dojnic**

### **3.5.1 Vliv stravy na bachor a mléčnou produkci**

V dnešní době je největší výzvou pro současné systémy krmení vysokoprodukčních dojnic, jak zkombinovat krmení stravou s dostatečnou energií, která je nezbytná pro produkci mléka, s dostatečným množstvím NDF, která je nutná k prevenci poruch bachoru. Najít optimální rovnováhu mezi NDF a snadno rozložitelnými sacharidy ve stravě je obtížné, ale je to zásadní nejen pro udržení správné funkce bachoru, ale také pro udržení stabilního metabolického zdravotního stavu a zvýšení produktivity mléčného skotu (Zebeli et al. 2012). Bachor je velmi složitý biologický systém, který reaguje na všechny náhlé změny ve složení krmné dávky, ale také na kvalitu použitých krmiv (Doležal et al. 2010).

### **3.5.2 Fungování předžaludků**

Předžaludky (bachor, čepec a kniha), které se vyvinuly u přežvýkavců v průběhu evoluce, jim umožňují poměrně efektivní trávení vlákniny. Čepec má průměrnou objemovou kapacitu přibližně 9 l a bachor od 150 do 200 l (Membrive 2016). Obsah čepece se téměř nepřetržitě mísí s obsahem bachoru. Oba předžaludky sdílejí hustou populaci mikroorganismů. Čepec je křižovatka, kde se třídí částice vstupující nebo opouštějící bachor. Do třetího předžaludku, knihy, se mohou přesunout pouze částice menší než 1–2 mm (Wattiaux & Howard 2000). Bachor je velká fermentační komora obsahující komplexní mikrobiální ekosystém, který funguje v dynamickém, symbiotickém vztahu s hostitelem a přeměňuje krmivo na energii a bílkoviny (Lean et al. 2014). Částice krmiv zůstávají v bachoru 20–48 hodin, protože bakteriální fermentace vlákniny je pomalý proces (Wattiaux & Howard 2000).

Bachor je anatomicky umístěn před slezem a tenkým střevem. Při pohybu přes ně jsou mikroorganismy tráveny jako jakákoli proteinová sloučenina potravy a stávají se pro zvíře mimořádným zdrojem bílkovin (Membrive 2016). Díky své vysoké mikrobiální diverzitě a hustotě a také velkému povrchu epitelu hraje bachor klíčovou roli nejen při trávení, ale také v modulačních funkcích imunitních reakcí hostitele a celkovém zdraví (Zebeli et al. 2015).

### 3.5.3 Bachorová fermentace

Cílem krmení vysokoprodukčních dojnic je optimalizace bachorové fermentace tak, aby byl maximalizován mikrobiální růst. Strava by měla být vyvážená, aby poskytovala dostatek dusíku a energie k optimalizaci růstu mikrobů (Kalscheur et al. 2006).

Bachorová fermentace je komplexním systémem vzájemných vztahů bachorové mikroflóry, kvality krmiv, frekvence krmení a také vlastního organismu zvířete (Doležal et al. 2010). Je to proces, pomocí kterého přežvýkavci přeměňují přijaté krmivo na energii a další živiny využitelné organismem. Přibližně 65 % trávení nastává v bachoru, kde mikroorganismy štěpí celulózu, hemicelulózu a vlákninu na mastné kyseliny (FA) s krátkým řetězcem, které jsou využívány hostitelským organismem jako zdroje energie pro záchovu a produkci (Beecher et al. 2014). Mikrobiální populace v bachoru pracují optimálně v rozmezí pH 6,2 až 7,2. Tento rozsah pH je však u vysokoprodukčních dojnic pozorován jen zřídka, protože jejich strava obsahuje vysoký obsah koncentráту a nízký obsah vlákniny, aby se podpořila maximální produkce mléka (Yang & Beauchemin 2007). Bachorové mikroorganismy jsou převážně anaerobními organismy, ale v bachoru je výskyt malého procenta fakultativně aerobních mikroorganismů, jejichž funkcí je odstranit malé množství kyslíku, který se do bachoru dostává společně s krmivem, vodou nebo difúzí přes bachorovou stěnu. Toto je základní mechanismus pro zachování anaerobního prostředí bachoru (Doležal et al. 2010; Membrive 2016). Bachorové mikroorganismy jsou schopny růst pouze na sacharidech nebo sekundárních produktech trávení sacharidů a jsou závislé na uhlíkové kostře a dostupnosti energie (ATP) pro syntézu proteinů (Nocek & Tamminga 1991). Mikroorganismy v bachoru syntetizují komplexy vitamínů B a K v dostatečném množství a ve většině případů proto přežvýkavci nevyžadují suplementaci těchto vitamínů (Membrive 2016). Mikrobiální bílkovina z bachorových mikroorganismů často představuje hlavní zdroj bílkovin pro přežvýkavce (Belanche et al. 2012). Mikrobiální proteosyntézou vzniká v bachoru 3–7 kg mikrobiální biomasy, která tvoří asi 5–10 % obsahu a která dále slouží jako zdroj proteinů ve výživě zvířete (Doležal et al. 2010). Je známo, že při formování mikrobiálních společenstev bachoru hraje hlavní roli strava. Zvířata na dietě založené na píce budou mít obvykle více fibrolytických bakterií a méně amylolytických bakterií trávicích škrob než zvířata na dietě založené na škrobu (Beecher et al. 2014).

Bachorové mikroorganismy, zejména celulólytické bakterie, prvoci a houby, přeměňují celulózu a škrob na TMK (včetně kyseliny octové, propionové a máselné), oxid uhličitý a metan, jsou velice důležité pro fermentaci krmiva a slouží jako hlavní zdroj uhlíku a energie pro přežvýkavce (Li et al. 2013; Beecher et al. 2014). Některé produkty se vstřebávají (TMK, CO<sub>2</sub>), jiné se uvolňují nebo řihají (CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>), jiné se dostávají do tenkého střeva (mikrobiální hmota a zbývající sacharidy, bílkoviny, lipidy, popel) k trávení a zbytek je vylučován stolicí (Owens & Basalan 2016).

Nejdůležitějším zdrojem energie pro bachorové mikroorganismy a největší složkou (65–75 %) potravy dojnic jsou sacharidy. Využití sacharidů bachorovými mikroorganismy je rozhodující pro maximalizaci výnosu mikrobiálních proteinů při zachování funkce bachoru (Varga et al. 1998). Kyseliny, které se získávají mikrobiální fermentací, se získávají z krmiv jako konečné produkty fermentace OM v bachoru (především kyselina octová) nebo se konzumují v siláži (především kyselina mléčná) (Allen 1997). TMK jsou hlavními prekurzory syntézy lipidů a glukózy u přežvýkavců (Li et al. 2013) a tvoří 60–70 % metabolizovatelné dodávky energie u přežvýkavců a jako takové mají velký význam při produkci mléka dojnými (Seymour et al. 2005). Mikrobiální činností je v bachoru dojnic tvořeno 3–5 litrů kyseliny octové, 1,5–3 l kyseliny propionové a 1–1,5 l kyseliny máselné. Z fyziologického hlediska je důležitá nejen celková produkce TMK, ale také jejich vzájemný poměr (Doležal et al. 2010). Kyselina octová, která tvoří 70–75 % TMK, je absorbována stěnou bachoru a neutralizována přeměnou na acetát v krvi a využívá se především pro syntézu mléčného tuku u dojnic (Li et al. 2013). Dále je kyselina octová substrátem pro oxidaci a je jako prekurzor lipidů spolu s kyselinou máselnou (Seymour et al. 2005). Kyselina propionová je jedinou glykogenní TMK, která představuje 65–80 % čisté dodávky glukózy u laktujících dojnic (Seymour et al. 2005). U přežvýkavců, na rozdíl od monogastričních zvířat, není glukóza produkovaná v bachoru dostupná jako zdroj energie pro zvíře, ale je rychle využita mikroorganismy. Glukóza produkovaná bakteriemi tedy zůstává v bachorovém prostředí, aby ji využily jako substrát. Aby bylo zajištěno částečné udržení relativně konstantních koncentrací glukózy v krevním řečišti, pomocí glukoneogeneze se propionát přemění na glukózu (Membrive 2016). Propionát je produkován bachorovými mikroby především fermentací snadno fermentovatelných sacharidů, zejména bachorového degradovatelného škrobu. Tento typ škrobu je snadno odbouratelný v bachoru a dodává velké množství propionátu pro glukoneogenezi (Zebeli et al. 2015). Propionát je snadno absorbován stěnou bachoru, dostává se do portální žíly a v játrech se přeměňuje na glukózu. U přežvýkavců je druhý zdroj glukózy dostupný prostřednictvím sacharidů, které procházejí bachorem, aniž by byly stráveny, a dostávají se do dvanáctníku, kde jsou tráveny. Účast enzymů produkovaných slinivkou a duodenální sliznicí umožňuje trávení sacharidů, což vede k významnému množství glukózy. Kyselina máselná je většinou využívána jako zdroj ATP uvnitř bachoru, kde buňky bachorového epitelu využívají přibližně 95 %. Zbývá kyselina máselná, což je asi 5 %, je absorbována stěnou bachoru, dostává se do systémové cirkulace a v játrech se přeměňuje na acetyl-coA, ketolátky a mastné kyseliny s dlouhým řetězcem, které jsou dostupné v plazmě jako lipoproteiny. Ketolátky se v organismu využívají také jako zdroj ATP (Membrive 2016).

Fermentační kyseliny v bachoru se odstraňují především absorpcí přes stěnu bachoru nebo neutralizací slinnými a jinými pufrů. Nízké pH v bachoru je výsledkem akumulace TMK v důsledku krmných diet obsahujících vysoký podíl fermentovatelného koncentráту a přičemž s nízkým peNDF (Yang & Beauchemin 2006).

Fermentace škrobu v bachoru podporuje produkci propionátu na úkor acetátu a snižuje pH v bachoru, což snižuje dostupnost vodíku a inhibuje aktivitu bachorových metanogenů. U přežvýkavců krmných potravou s vysokým obsahem škrobu jsou počty prvků v bachoru často sníženy, což také snižuje přenos vodíku z prvků na metanogeny. Ve srovnání s vojtěškovou siláží obsahuje kukuřičná siláž vyšší množství škrobu, což z ní činí zajímavý prostředek ke snížení enterické produkce metanu (CH<sub>4</sub>) (Lettat et al. 2013).

Velké množství  $\text{CH}_4$  je produkováno během fermentačního procesu trávení skupinou metanogenních archeí, která se vyskytuje v bachoru. Produkce metanu umožňuje uvolňování nadměrných vodíkových iontů uvnitř bachoru do vnějšího prostředí, což je základní podmínka pro udržení bachorového pH. Dospělý skot denně vyprodukuje přibližně 500–1000 litrů plynů. Obecně se bachorové plyny skládají z 0,2 % vodíku, 0,5 % kyslíku, 7 % dusíku, 26,8 % metanu a 65,5 % oxidu uhličitého (Membrive 2016). Metanogeneze je pro přežvýkavce plýtváním energie, která představuje 2–12 % hrubého energetického příjmu (Lettat et al. 2013).

Většina vyrobeného oxidu uhličitého, téměř všechn metan a většina sirovodíku je z bachoru odstraněna erukací ve formě plynu. Ostatní absorbované sloučeniny (amoniak a ionizované minerály) opouštějí bachor krví nebo lymfatickým řečištěm. Mikrobiální produkty a nestrávené složky krmiva, které jsou malé velikosti a dostatečné hustoty, jsou vyplavovány tekutou tráveninou z bachoru do omasa přes čepco-knihový otvor (Owens & Basalan 2016).

Na fermentaci v bachoru se podílí mikrobiální společenství, které lze rozdělit do 4 taxonů: bakterie, prvoci, anaerobní houby a metanogeny. Bakterie v bachoru představují možná nejdůležitější a nejrozmanitější mikrobiální skupinu a klasifikují se podle své hlavní metabolické aktivity: fibrolytické, amylolytické, proteolytické, lipolytické, producenti laktátu a konzumenti laktátu. Na rozdíl od bakterií je aktivita dalších tří taxonů více specifická. Prvoci v bachoru jsou schopni odbourávat vlákninu, ale jejich role v bakteriální predaci má škodlivý vliv na využití dusíku. Anaerobní houby mají také širokou škálu silných enzymů degradujících polysacharidy a jsou aktivními degradátory vlákniny, zejména při konzumaci nekvalitní stravy. Metanogeny patří do domény archaea a produkují metan ze dvou substrátů,  $\text{CO}_2$  jako zdroje uhlíku a  $\text{H}_2$  jako zdroje elektronů (Belanche et al. 2012).

Narušené podmínky v bachoru často vedou k neúplné degradaci, čímž se trávicí procesy přesouvají distálně do bachoru, čímž pravděpodobně dochází k horšímu vstřebávání a trávení živin a ke zvýšené rychlosti pasáže tráveniny a také k průjmovým stavům, což způsobuje nedostatečný přísun živin a sníženou účinnost krmiva (Zebeli et al. 2015).

#### **3.5.4 Bachorová matrace**

Pro správnou funkci bachoru se v bachoru tvoří tzv. bachorová matrace (Zebeli et al. 2012). V bachoru jsou krmiva vrstvena podle velikosti částic. Malé částice, které již byly v ústech dostatečně rozmělněny, jsou umístěny ve ventrální části bachoru, což podporuje průchod těchto částic do knihy přes čepco-knihový otvor. Středně velké částice zůstávají nad menšími částicemi a nakonec větší částice plují na povrchu bachorového obsahu, v dorzální části bachoru. Toto vrstvení podle velikosti částic umožňuje, aby větší částice, které nejsou dostatečně fyzikálně degradovány a nacházejí se na hřbetní části obsahu bachoru, byly znovu odeslány do dutiny ústní, znovu přežvýkány a fyzicky zmenšeny, protože pouze částice menší 1,18 mm projdou do zadního trávicího traktu přes čepco-knihový otvor (Membrive 2016).

Dvě hlavní funkce bachorové matrace jsou optimalizace bachorového mikroprostředí a podpora zadržování částic. Optimalizací bachorového mikroprostředí je myšleno pH bachoru, fyzická stimulace přežvýkování, slinění a motilita bachoru. Nízké pH je ve správně silážovaných krmivech nezbytné pro inhibici růstu nežádoucích mikroorganismů, jako jsou kvasinky a plísně. Ty přispívají ke ztrátám DM a energie (Ferraretto et al. 2018).

A podpora zadržování částic umožňuje účinnější trávení vlákniny v předním žaludku. Filtraci a mechanickým zapletením funguje bachorová matrace tak, že zadržuje potenciálně unikající částice, čímž zvyšuje dobu potřebnou pro trávení. Tvorba, údržba a konzistence bachorové matrace silně závisí na velikosti částic (PS) a specifické hmotnosti částic, a tedy na obsahu peNDF. Konzistence bachorové matrace je důležitá pro regulaci rychlosti průchodu bachorem. Čím lepší je konzistence bachorové matrace, tím spíše nedojde k úniku částíček krmiva do knihy. Zvyšování úniku potenciálně rozložitelných částic krmiva z bachoru negativně ovlivňuje degradaci vláken a využití krmiva (Zebeli et al. 2012). Bachorová matrace, která je tvořena z dlouhých krmných vláken, stimuluje retikuloruminální kontrakce, bez kterých se bachor může stát stagnující nádrží. Tím klesá odstraňování těkavých mastných kyselin (TMK) prostřednictvím absorpce a průchodu tekutiny z bachoru a zvyšuje se riziko acidózy (Beauchemin et al. 2006).

### 3.5.5 Přijímání potravy a ruminace

Dojnice přijímají delší části potravy pomocí svého dlouhého a pohyblivého jazyka a koncentráty a další krmiva s malou velikostí částic pomocí rtů, které jsou relativně nepohyblivé (Beauchemin 1991). Dutina ústní skotu má velké množství kuželovitých papil tvořených rohovitými a zrohovatělými výběžky směřujícími kraniálně-kaudálně směrem k zadní části úst. Funkcí těchto struktur je zabránit ztrátě objemného krmiva, když zvíře žvýká s otevřenými pysky, což umožňuje větší posun čelisti během žvýkání. Jazyk má silnou a zrohovatělou hřbetní stranu, která má na sobě velké množství papil. Papily podporují pohyb a drcení krmiva v ústech a krmivo směřují do jícnu (Membrive 2016). Skot má 32 zubů, z toho 24 stoliček a pak 6 řezáků a dva špičáky na spodní čelisti (Hall & Silver 2005). Protože přežvýkavci nemají horní řezáky, používají zbytnělou skusnou plochu, která poskytuje povrch, na který mohou spodní řezáky vyvíjet tlak (Beauchemin 1991). Mezi řezáky a stoličkami je navíc velká mezera, což umožňuje přijímat a žvýkat velké množství vláknitého krmiva. Vnitřní strana tváří a patra jsou drsné, což pomáhá zadržovat potravu, zatímco skot žvýká pohybem ze strany na stranu (Hall & Silver 2005). Žvýkání probíhá tak, že nejprve spodní čelist klesne a je nesena na stranu a poté se posune nahoru a dovnitř, aby se zapojily zuby (Beauchemin 1991). Kruhové pohyby čelistí během přežvykování umožňují stoličkám drtit a rozmělnovat částice (Owens & Basalan 2016). Během rozmělnování částic krmiva jsou uvolňovány buněčné rozpustné látky a umožňují bachorovým mikrobům proniknout do krmiva a zahájit trávení. Ruminace je cyklický proces, který má tři fáze: regurgitace, přežvykování a opětovné polykání. K regurgitaci zažitiny do dutiny ústní dochází díky podtlaku v jícnu. Během přežvykování se vylučuje velký objem slin, tvoří se bolus a pak dochází k opětovnému polykání. Přežvykování je inhibováno nízkým pH, vysokým osmotickým tlakem nebo vysokou koncentrací těkavých mastných kyselin v bachorové tekutině. Přežvykování je velice důležité pro trávení krmiva a pro jeho průchod GIT dojníc. Správný průchod GIT traktem umožňuje dojnícím přijmout sušinu v množství 3 % tělesné hmotnosti/den. Žvýkáním se zmenšuje velikost částic krmiva, což je předpokladem pro průchod krmiva z předžaludku, ale rozsah rozkladu částic při žvýkání závisí na krmivu (Beauchemin 1991). Buněčné stěny jsou velice odolné vůči chemickému působení

a díky rozměňování potravy během žvýkání dochází k adhezi symbiotických mikroorganismů k rostlinné buňce a zlepšuje se trávení (Perez-Barberia & Gordon 1998).

Žvýkání je u býložravců hlavním mechanismem zpracování potravy (Perez-Barberia & Gordon 1998). Krmivo dojnice přežvykují, aby se zmenšila velikost částic a zvětšil se povrch dostupný pro mikrobiální nebo enzymatické uchycení nebo napadení. Doba, po kterou je krmivo žvýkáno před spolknutím, je přímo úměrná množství času, který zvíře potřebuje k produkci dostatečného množství slin, aby bylo možné spolknout zvlhčené krmivo. Dospělí jedinci tedy rychleji konzumují potravu a polykají méně přežvykanou potravu, protože mají větší, vyvinutější a aktivnější slinné žlázy produkující větší množství slin než mladí přežvykavci. Proto je třeba krmivo pro dospělé jedince více zpracovat (Owens & Basalan 2016). Dle Beauchemina et al. (2006) a Membrive (2016) stráví průměrná dojnice 2–6 hodin/den jídlem, 3–9 hodin/den přežvykáváním a maximálně asi 14 hodin/den žvýkáním v závislosti na dietě a provede přibližně 20 000–30 000 žvýkacích pohybů. Optimalizace žvýkacího chování a funkce bачору dojnice může zvýšit užitkovost a obsah tuku v mléce (Beauchemin 1991).

### 3.5.6 Sekrece slin

Odhaduje se, že sliny dodávají asi 70–90 % tekutiny a pufrací kapacity vstupující do bачору a jsou hlavním určujícím faktorem rychlosti odtoku tekutiny z bачору (Maekawa et al. 2002). Žvýkání stimuluje sekreci slin (Allen 1997). Zvyšující peNDF zvyšuje aktivitu žvýkání a délku žraní a přežvykávání. Čím jsou delší částice, tím větší je žvýkací aktivita a zvýšená sekrece slin a v důsledku toho se zvyšuje pufrací kapacita v bачору (Beauchemin & Yang 2005). Sliny poskytují živiny pro bачorovou mikroflóru a usnadňují průchod tráveniny GIT traktem (Beauchemin 1991). Chemické složení slin obsahuje 126 mEq/l sodíku, 126 mEq/l hydrogenuhličitanu, 26 mEq/l fosfátu, 7 mEq/l chloridu a 6 mEq/l draslíku (Membrive 2016). Sliny obsahují hydrogenuhličitanové a hydrogenfosforečnanové ionty, které odstraňují vodíkové ionty z roztoku kombinací alkalizace a pufrování (Allen 1997). Bikarbonátové a fosfátové pufrы ve slinách neutralizují kyseliny produkované fermentací organické hmoty (OM) v bачору. Rovnováha mezi produkcí fermentační kyseliny a sekrecí pufru je hlavním determinantem pH bачору (Allen 1997). Slinné pufrы tvoří asi 30–40 % neutralizace fermentačních kyselin v bачору. Sekrece slin se zvyšuje v průběhu žvýkání při příjmu jídla. Takže se předpokládá, že prodloužení doby žvýkání prostřednictvím manipulace s velikostí částic potravy zlepšuje stav bачorového pH a tím potenciálně snižuje riziko bачorové acidózy. K bачorové acidóze dochází, když pH v bачору klesne pod optimální hodnotu pro trávení vlákniny bачorovými bakteriemi (Yang & Beauchemin 2006). Bачorové pH se také často snižuje po jídle nebo se naopak zvyšuje při přežvykávání. Pokles po jídle je způsoben produkcí fermentačních kyselin z konzumované organické hmoty (OM), zatímco nárůst během přežvykávání je obvykle připisován sekreci pufrů ve slinách (Allen et al. 2006).

Dospělý skot vyprodukuje přibližně 170–180 l slin/den (Membrive 2016). Sliny jsou produkované ve slinných žlázách, které jsou párovým orgánem. Rozlišujeme malé a velké slinné žlázy. Mezi velké patří příušní, podčelistní a podjazykové slinné žlázy. Příušní žlázy, které se táhnou od ucha až ke konci dolní čelisti, produkují 50–60 % celkových slin.

Tyto žlázy vylučují serózní sliny, které jsou řídké a vodnaté a mají pH mezi 6 a 7 díky vysokému obsahu hydrogenuhličitanu a fosfátu. Výdej příušních slin se dramaticky zvyšuje na začátku jídla,

ale brzy poté klesá a poté se opět zvyšuje během přežvykování. Celkové množství slin produkovaných během jídla a přežvykování je dvakrát až čtyřikrát větší než během odpočinku. Množství vylučovaných slin také závisí na fyzikální povaze a vlhkosti zkonzumovaného krmiva. Například mezi koncentráty a senem je pětinasobný rozdíl v množství přidaných slin na gram potravy a mezi senáží a senem trojnásobný rozdíl (Beauchemin 1991).

### **3.6 Technologie zpracování kukuřičných siláží**

Novější systémy pro sklizeň kukuřičné siláže dokáží vytvořit siláž s velkým procentem dlouhých částic píce bez velkých kusů celých klasů nebo stébel (Heinrichs 2013). Pro zpracování kukuřičné siláže se stále častěji používají sklízecí řezačky vybavené palubními válci. Válce narušují jádro, klas a zbytky kukuřičných rostlin sklizených pro siláž, což zvyšuje trávení *in vivo* (Andrae et al. 2001). Poškození rostliny nastává drcením a stříháním a zlepšují se tím vlastnosti silážování a snižují se ztráty sušiny během silážování (Johnson et al. 1999). Oproti nezpracované kukuřičné siláži má zpracovaná kukuřičná siláž nižší fyzikální bariéru pro mikrobiální připojení a degradaci živin (Krämer-Schmid et al. 2016). Snížením velikosti částic jádra se zlepšuje trávení škrobu a vlákniny zvýšením povrchové plochy pro mikrobiální připojení a enzymatické štěpení (Ferraretto et al. 2018). Johnson et al. (1999) dále uvádějí, že mechanické zpracování kukuřičné siláže může vést ke zvýšené produkci mléka.

Při zpracovávání kukuřičné siláže je také důležitý management sklizně, který může ovlivnit nutriční hodnotu sklizně. Konkrétně jde o čas sklizně a výšku sečení. Při příliš brzké sklizni může dojít k nadměrné ztrátě živin kvůli odtoku ze sila nebo může být nízká koncentrace energie kvůli špatnému vývoji škrobu v zrně. Naopak při pozdní sklizni může mít kukuřičná siláž nízkou nutriční hodnotu kvůli špatnému trávení škrobu a vlákniny. A některé studie naznačují, že zvýšením výšky sečení a ponecháním většího podílu hůře stravitelné části rostliny na poli, můžeme zlepšit nutriční hodnotu kukuřičné siláže (Neylon & Kung 2003).

#### **3.6.1 Zpracování kukuřičné siláže technologií shredlage**

Technologie shredlage (SHRD) je charakterizována tím, že takto zpracovaná siláž má delší částice než při zpracování pomocí technologie konvenční (CONV) (Ferraretto et al. 2018). Když jsou konvenční řezačky nastaveny na sklizeň kukuřičné siláže s velkou velikostí částic, píce je náchylná ke špatnému zhutňování sila a tvorbě plísni. Materiál má obvykle velké kusy klasů, suché stonky a listy, které umožňují dojnicím vybírat z krmné dávky chutnější části, či naopak nechávat méně chutné části (Heinrichs 2013). U technologie SHRD v porovnání s CONV se předpokládá, že delší TLOC a větší poškození vláknité části kukuřičné rostliny zvýší fyzickou účinnost, stravitelnost a tím i dostupnost energie (Ferraretto et al. 2018). SHRD se sklízí komerčně dostupným samojízdým sklízecím řezačem vybaveným řezacími bubny a válci pro zpracování plodin a řezačem nastaveným na delší TLOC (Vanderwerff et al. 2015).



U kukuřičné siláže s obsahem vlhkosti 65–70 % se doporučuje nastavit TLOC na 26–30 mm (Chase 2015). Dva protiběžné válce umístěné mezi žací hlavou a dmychadlem s osou otáčení rovnoběžnou s žací hlavou jsou v zásadě válečky se zoubkovaným válečkovým mlýnem, které pracují s malým odstupem a rozdílnou rychlostí (Johnson et al. 1999). Mezi válci je 2–3 mm mezer a rozdíl rychlosti válců je přibližně 20 % (Ferraretto et al. 2018). Válce mají zkřížené drážky a mohou způsobit větší poškození hrubých částíček. Celá jádra jsou do značné míry nestravitelná (Ferraretto & Shaver 2012), proto se narušuje jádro, klas a zbytky kukuřičných rostlin sklizených pro siláž, což zvyšuje trávení *in vivo* (Andrae et al. 2001). Rozbitím jader se zvyšuje stravitelnost a škrob je dostupnější, což zlepšuje produkci mléka a krmení dojníc je účinnější (Ferraretto et al. 2018). Conroy et al. (2020) uvádějí, že skot krmený krmivem obsahující SHRD měl vyšší konečnou tělesnou hmotnost, hmotnost jatečně upraveného těla, průměrný denní přírůstek a menší příjem sušiny, což vedlo k lepším konverzím než skot krmený konvenčně nasekanou kukuřičnou siláží. Tyto výsledky naznačují, že při krmení krmiva zpracovaného technologií SHRD na rozdíl od CONV dochází ke zvýšení užitkovosti (Conroy et al. 2020).

### 3.6.2 Délka řezu

Pro správnou funkci batoru je důležitá správná délka částic píce (Zebeli et al. 2012). U většiny siláží by TLOC měla být mezi 10 až 20 mm. Když je v krmné dávce velký podíl kukuřičné siláže mělo by alespoň 10 % částic přesahovat délku 19 mm, 40–50 % by mělo být mezi 8 a 19 mm, a jen 40–50 % částic může být pod 8 mm (Kudrna et al. 2008).

Jemné sekání a mletí krmiva ve stravě moduluje počty celulolytické mikrobioty a jejich aktivitu v batoru (Zebeli et al. 2012). Malá velikost částic snižuje čas strávený žvýkáním a tím se snižuje sekrece pufry slin, což má za následek snížení batorového pH a snížení procenta mléčného tuku (Kononoff et al. 2003). Zvyšuje se DMI, snižuje se stravitelnost a snižuje se retenční čas pevných látek v batoru. Krmiva s malou velikostí částic vstupují do batoru v menší velikosti po počátečním žvýkání a polykání, a proto rychle opouštějí bator. Je méně času pro mikrobiální trávení, čímž se snižuje stravitelnost, zejména trávení vlákniny (Lammers et al. 1996). Krmení dojníc krátkými částicemi krmiva trvale souvisí s vysokým rizikem acidózy. Na druhé straně však některé výzkumy ukazují, že mírné snížení TLOC krmiva na přibližně 10–15 mm podporuje degradaci vlákniny v batoru, nejspíše kvůli zvýšení dostupné povrchové plochy pro připojení batorových fibrolytických bakterií a prvoků, aniž by negativně ovlivnily celulolytickou aktivitu a další fermentační procesy v batoru (Zebeli et al. 2012). Jemné sekání krmiva také snížilo třídění stravy dojnícemi (Kononoff et al. 2003). Mírný pokles PS krmiva zlepšuje uniformitu TMR, což vede k menšímu třídění před konzumací krmiva. Omezené třídění před konzumací souvisí s dalšími příznivými účinky, jako je například zlepšení cirkadiálního stravovacího chování krav, snížení denní variace příjmu živin, a to nejdůležitější, přispění ke snížení rizika poruch batoru navzdory krmení krav relativně vysokým množstvím obilovin. Příznivé účinky mírně sníženého PS na chování při třídění jsou zvláště patrné u diet na bázi kukuřičné siláže, protože jemné sekání kukuřičných klasů brání jejich selektivní konzumaci dojnícemi (Zebeli et al. 2012). Je třeba také zmínit,

že jemné sekání během sklizně zlepšuje hustotu balení a fermentaci a pravděpodobně pomáhá udržovat nutriční hodnotu (Kononoff et al. 2003).

Zatímco diety obsahující větší část hrubých částic pozitivně souvisí s žvýkáním a žvýkáací aktivitou, pufrováním bachoru, stravitelností vlákniny a obsahem mléčného tuku. Vyšší TLOC se také považuje za důležitý pro konzistenci bachorové matrace, bachorovou aktivitu a trávení v bachoru. Může to ale také zvýšit třídění stravy dojnícemi (Ferraretto & Shaver 2012). Určit ideální délku částic pro dojnice je obtížné, protože délka částic má dva částečně antagonistické účinky. Na jedné straně krmivem s vyšším TLOC zvyšujeme obsah peNDF ve stravě s pozitivními účinky na přežvykování a tlumení bachoru, čímž snižujeme riziko subakutní bachorové acidózy. Na druhé straně zvýšení délky částic snižuje rychlost průchodu a může snížit degradaci vlákniny v bachoru kvůli nižší dostupnosti povrchu pro mikrobiální napadení, a tím snížení příjmu krmiva a absorpce živin (Zebeli et al. 2012).

Velikost částic má více účinků na chování při příjmu krmiva, žvýkání, přežvykování, rychlost průchodu, fermentaci v bachoru a rovnováhu kyseliny v bachoru, což vede ke složitým a nelineárním vztahům mezi PS a charakteristikami funkce bachoru (Zebeli et al. 2012).

## 3.7 Produkční parametry dojnic

### 3.7.1 Sekrece a produkce mléka

Výživa je klíčovým faktorem ovlivňujícím užitek a složení mléka, protože buňky mléčné žlázy produkující mléko vyžadují stálý a optimální přísun prekurzorů pro syntézu složek mléka (Nickerson 1995). Mléko se tvoří v sekrečních buňkách mléčné žlázy z látek, které jsou sekrečními buňkami odebírány z krve. Na produkci 1 kg mléka musí mléčnou žlázou protéct až 500 litrů krve. Z krve využívají sekreční buňky přibližně 80 % glukózy, aminokyselin a mastných kyselin. Výživa, technika krmení, fermentační procesy v předžaludku, úroveň resorpce živin a další ovlivňují koncentraci živin v krvi. Nejdůležitější pro konverzi živin a pro tvorbu prekurzorů mléka je bachorová fermentace, pro kterou je nutné vytvořit optimální podmínky (Kudrna & Homolka 2007).

Na úrovni makronutrientů se mléko skládá z vody (85–87 %), tuků (3,8–5,5 %), bílkovin (2,9–3,5 %) a sacharidů (5 %) a na úrovni mikronutrientů obsahuje mléko mnoho bioaktivních sloučenin včetně vitamínů, minerálů, biogenních aminů, organických kyselin, nukleotidů, oligosacharidů a imunoglobulinů. Přesné složení mléka závisí na metabolické aktivitě v tkáních mléčné žlázy, na celkovém zdravotním stavu vemene, typu podávaného krmiva, aktivitě a množství určitých mikrobů v bachorové tekutině, stejně jako na mikrobiální aktivitě a enzymatických reakcích probíhajících v mléce. Složení mléka se také liší podle plemene, stádia laktace, úrovně parity a dalších (Foroutan et al. 2019).

Kolem porodu dochází k vysoké metabolické prioritě mléčné žlázy produkovat mléko a také k již zmíněnému omezenému příjmu krmiva. To má za následek vysoký sklon k mobilizaci zásob tělesného tuku. Kvůli tomu se v periferních orgánech mění zdroj energie. Například místo sacharidů dojde k využití tuků, aby se ušetřila glukóza pro produkci mléka a aby se zajistilo rozdělení živin pocházejících z tkání a stravy směrem k mléčné žláze. Svalová tkáň zase využívá neesterifikované mastné kyseliny (NEFA) a uvolňuje laktát a aminokyseliny

v koordinovaném pořadí, čímž poskytuje prekurzory pro syntézu mléka nebo jaterní glukoneogenezi (Kuhla et al. 2016).

Produkce mléka obvykle vrcholí 4–8 týdnů po porodu, zatímco k maximálnímu DMI dochází 10–14 týdnů po porodu (NRC 2001).

### 3.7.2 Mléčný tuk

Mléčný tuk se skládá z 96–98 % z triglyceridů, které jsou potaženy buněčnou membránou. Zbytek představuje především malá množství fosfolipidů, cholesterolu a esterů cholesterolu nalezených v membráně globule mléčného tuku. Triglyceridy obsahují přes 400 mastných kyselin, přičemž velká část z nich vzniká jako meziprodukty během metabolismu lipidů v batoru (Lock & Bauman 2004). Přibližně 50 % syntetizovaného mléčného tuku pochází z plazmatických lipidů (Grummer 1991).

Největší roli v množství mléčného tuku hraje výživa (Griinari et al. 1997). Minimální poměr píce ke koncentrátu potřebný k udržení obsahu mléčného tuku je asi 40:60, pro udržení obsahu tuku nad 3,6 % by průměrná délka píce měla být alespoň 0,65 cm a pro maximalizaci procenta tuku i výtěžnosti se doporučuje minimálně 28 % NDF v sušině. Také by se mělo používat pouze objemné krmivo nejvyšší kvality, protože podporuje nejen zvýšení výnosu, ale také vede k vysoké úrovni produkce acetátu pro udržení obsahu mléčného tuku. Je třeba poznamenat, že nadbytek vlákniny v krmné dávce sníží příjem sušiny, což povede ke snížení produkce mléka. Také typ koncentrátu použitého v krmné dávce ovlivňuje procento mléčného tuku (Nickerson 1995).

V průběhu batorové fermentace se tvoří v batoru kyselina octová, která je hlavním prekursorem mléčného tuku v mléčné žláze. Dalšími prekursory mléčného tuku jsou kyselina máselná a hydroxymáselná (Koukolová et al. 2010). Z toho vyplývá, že diety, které mění fermentaci, ovlivňují obsah tuku (Nickerson 1995). Přibližně 88 % mastných kyselin pocházejících z krve je dietního původu a 12 % je původu endogenního (Grummer 1991). Obsah mléčného tuku závisí na stupni a typu nasycení tukem v potravě (Van Knegsel et al. 2007). Typický mléčný tuk dojnic obsahuje přibližně 5 % polynenasycených mastných kyselin, 70 % nasycených mastných kyselin a 25 % mononenasycených mastných kyselin. Polynenasycené mastné kyseliny a specifické meziprodukty jejich biohydrogenace v batoru snižují mléčný tuk na rozdíl od zdrojů nasycených tuků, které mléčný tuk zvyšují (Van Knegsel et al. 2007). Acetát a butyrát jsou hlavními zdroji uhlíku pro de novo syntézu mastných kyselin a některé mastné kyseliny vstupují do jater a mohou být oxidovány nebo esterifikovány hlavně na glycerol za vzniku triglyceridu, který může být skladován nebo exportován jako součást lipoproteinu o velmi nízké hustotě (Grummer 1991). U krav konzumujících vysoce koncentrovanou stravu s nízkým obsahem vlákniny dochází k depresi mléčného tuku a na těchto účincích je založena glukogenně-inzulinová teorie (Griinari et al. 1997). Strava s vysokým obsahem koncentrátu má za následek snížení acetátu a butyrátu, které jsou hlavními prekurzory tuku a zvýšenou produkci propionátu v batoru, který negativně ovlivňuje mléčný tuk a zvýšenou rychlost glukoneogeneze v játrech, což zvyšuje uvolňování inzulínu slinivkou (Nickerson 1995; Griinari et al. 1997). Inzulín, který má podstatnou roli při rozdělování živin, potlačuje uvolňování mastných kyselin z tukové tkáně a snižuje se syntéza

jaterního lipoproteinu (Grant et al. 1990). Glukogenní inzulinová teorie předpokládá, že tyto celkové změny zbavují mléčnou žlázu prekurzorů mléčného tuku kvůli silné konkurenci tukové tkáně, což vede k poklesu mléčného tuku. Jiné teorie zase naznačují, že útlum mléčného tuku je způsoben přímou inhibicí jednoho nebo více kroků syntézy mléčného tuku v mléčné žláze. Podle těchto teorií jsou změny v nárůstu tělesného tuku a metabolismu tukové tkáně důsledkem pozitivnější energetické bilance způsobené sníženým výdejem mléčného tuku a vyšším čistým energetickým příjmem typicky spojeným s vysoce koncentrovanými dietami (Grinari et al. 1997). Také jemně nasekané krmivo snižuje syntézu mléčného tuku, protože se zkracuje doba přežvykování a pH v bachoru, zvyšuje se produkce propionátu v bachoru a to může vyvolat útlum mléčného tuku změnou hladin inzulinu v séru (Grant et al. 1990).

Zvýšení procenta mléčného tuku lze dosáhnout nižšími koncentracemi NFC v potravě, kterých lze dosáhnout změnou pH v bachoru a konečných produktů fermentace, degradace píce NDF a zjevné stravitelnosti živin v celém traktu. Snížení NFC ve stravě ale snížilo procento mléčné bílkoviny a produkci (Batajoo & Shaver 1994). Snížený obsah mléčného tuku naopak souvisel se zvýšenou stravitelností škrobu. Zvýšená koncentrace dietního škrobu sice zvýšila doживost a obsah bílkovin, ale snížila stravitelnost vlákniny a koncentrace mléčného tuku a močovinnového dusíku (Ferraretto et al. 2013).

Někdy ve snaze zvýšit obsah mléčného tuku může být do stravy dojníc tuk také přidáván. I když přidání dietního tuku poskytuje energii, která může zvýšit výnos, procento mléčné bílkoviny je sníženo. Při přidávání tuku do krmné dávky by měla být strava obohacena o aminokyselinové doplňky nebo nerozložitelné bílkoviny přijímané stravou, pokud má být procento bílkovin v mléce zachováno (Nickerson 1995).

Obsah tuku v mléce se v průběhu laktace mění. Po otelení je obsah tuku vysoký, ale s narůstající mléčnou produkcí rychle klesá. V první fázi laktace (tj. do 120 dnů, kdy je produkce mléka vysoká, ale obsah tuku je nižší) je celkové množství tuku vyšší než na konci laktace, kdy je tučnost vysoká, ale produkce nízká (Kudrna & Homolka 2007). Kudrna & Homolka (2007) ve své práci popisují, že mléko holštýnské krávy po otelení obsahuje zhruba 4,8 % tuku, během prvních 120 dnů tučnost téměř lineárně klesá až na 3 % nebo i níže. Od 120 do 300 dnů laktace pak tučnost zase lineárně stoupá, až dosáhne cca 3,8 %. Pokud je laktace prodloužena až na 365 dnů, tučnost začíná od 300. dne zase stoupat a ve 365 dnech se přibližuje k 5 % (Kudrna & Homolka 2007). Kromě toho je časné období laktace obvykle charakterizováno vyšším příjmem koncentrátu ve srovnání se středním a pozdním obdobím laktace nebo obdobím stání na sucho, což má za následek nižší poměr bachorový acetát:propionát. V souladu s tím je snížena dostupnost prekurzorů pro de novo lipogenezi, což má za následek pokles mastných kyselin se středním a krátkým řetězcem v mléčném tuku (Van Knegsel et al. 2007).

### **3.7.3 Vlivy působící na mléčnou produkci a na kvalitu mléka**

Délka částic krmiva, pH, bachorová fermentace a další mají vliv na mléčnou produkci a na kvalitu mléka.

Příjem krmiva a vody dojnícemi významně souvisí s produkcí mléka. Zvýšení příjmu je pozitivně spojeno s fenotypovým i genotypovým zvýšením produkce mléka (Dado & Allen 1994). Koncentrace NDF i stravitelnost NDF jsou klíčovými determinanty nutriční hodnoty

stravy. Zvýšení stravitelnosti NDF přispívá ke zvýšení stravitelnosti DM a organické hmoty (OM) a ke zvýšení dojivosti a přírůstku živé hmotnosti (Krämer-Schmid et al. 2016). Mírný pokles PS kukuřičné siláže podporuje lepší denní distribuci a vyšší absolutní příjem dietního peNDF a tyto účinky se projevují vyšším procentem mléčného tuku a bílkovin. Vyšší procento mléčného tuku naznačuje udržování lepšího prostředí pro bachorovou mikroflóru a účinnější odbourávání vlákniny, což je jeden z klíčových faktorů, o kterých se ví, že ovlivňují složení mléka, a zejména obsah mléčného tuku u dojnic. Navíc vyšší procento bílkovin v mléce krav krmených jemným PS naznačuje lepší dostupnost živin, zejména mikrobiálních bílkovin, pravděpodobně kvůli lepšímu rozložení příjmu živin po celý den. Ukázalo se, že krmení kratším PS v některých studiích zvyšuje hladinu krmiva, a tím zvyšuje přísun energie a živin pro dojnice s vysokou produkcí (Zebeli et al. 2012). Na mléčnou produkci dále působí zvýšení koncentrace CP v potravě, která zvyšuje výtěžnost mléka, tuku a bílkovin na začátku laktace. Vysoké hladiny CP v potravě jsou pozitivně spojeny s degradací bílkovin v bachoru (zvýšené koncentrace amoniaku) a bylo prokázáno, že snižují efektivitu využití dusíku pro produkci mléka (Law et al. 2009).

Dalším předpokladem pro produkci kvalitního mléka jsou optimální podmínky pro bachorovou fermentaci. V průběhu bachorové fermentace je v bachoru ze strukturálních sacharidů tvořena kyselina octová, která je prekurzorem mléčného tuku v mléčné žláze (Koukolová et al. 2010).

Pro maximalizaci dojivosti mléčného skotu je žádoucí mírně kyselé pH v bachoru, protože stravitelnost potravy a výtěžnost mikrobiálního proteinu produkovaného v bachoru jsou maximalizovány, když se krmí vysoce fermentovatelnou potravou (Allen et al. 2006). Diety obsahující vysoký podíl fermentovatelného koncentráту a píci s nízkým peNDF maximalizují produkci mléka, ale zvyšují také výskyt subakutní acidózy (SARA). SARA může snížit trávení vlákniny a způsobit nerovnoměrný příjem krmiva, průjmy, nízký obsah mléčného tuku, laminitidu a další zdravotní poruchy (Yang & Beauchemin 2006).

## 4 Materiál a metodika

Tento experiment byl prováděn na experimentální farmě Výzkumného ústavu živočišné výroby v Netlukách u Prahy. Experimentální protokol byl schválen etickou komisí zvířat Výzkumného ústavu živočišné výroby. S dojniciemi bylo zacházeno v souladu s platnou národní a evropskou legislativou (směrnice 2010/63/EU, o ochraně zvířat používaných pro vědecké účely; Evropská unie, 2010).

### 4.1 Sklizeň a zpracování rostlin kukuřice

Hybrid kukuřičné siláže (stále zelený hybrid JUVENTO; KWS, Velké Meziříčí, Česká republika) byl vysazen na jednom poli (10 ha; 415 m. n. m.; 80 000 semen/ha; řádkování 75 cm) a sklizen v září 2017 pomocí sklízecí řezačky Class Jaguar 860 nebo Class Jaguar 870 (Harsewinkel, Německo). Pro zpracování kontrolní kukuřičné siláže byla použita sklízecí řezačka Claas Jaguar 860 vybavená konvenčními válci s 30% rozdílem rychlosti válců, 1mm vzdáleností válců a teoretickou délkou řezu 10 mm. Dále jsme použili sklízecí řezačku Claas Jaguar 870 vybavenou speciálním procesorem pro shredlage (SHRD) s 50% rozdílem v rychlosti válců, 1mm vůlí mezi válci a teoretickou délkou řezu 26 mm.

### 4.2 Průběh experimentu, zvířata a krmení

Pokus na dojnících byl proveden v roce 2018 a byl proveden jako křížový design (crossover) se dvěma po sobě jdoucími experimentálními obdobími. Každé experimentální období trvalo 30 dnů a sestávalo z 20 dnů adaptace na dietu (od 1. do 20. dne) a 10 dnů pro odběr vzorků (od 21. do 30. dne). Celkem bylo v pokusu využito 34 laktujících dojnic (počáteční průměrná tělesná hmotnost  $694 \pm 58$  kg;  $76 \pm 29$  den laktace, DIM;  $43 \pm 7$  kg mléka a  $3 \pm 1$  parity) dvou plemen (30 holštýnských a 4 české strakaté krávy). Dojnice byly spárovány podle plemene, parity, DIM a produkce mléka na začátku pokusu. V rámci párů byly krávy náhodně rozděleny do jedné ze dvou dietních skupin. V každé skupině bylo 13 multiparních krav a 2 prvotelky holštýnského skotu a 2 multiparní české strakaté krávy. Každé skupině pak byla náhodně přidělena experimentální dieta. Experimentální diety měly stejné složení TMR kromě toho, že 1) CONV, kontrolní dieta obsahovala 25 % konvenčně zpracované kukuřičné siláže a 2) SHRD, shredlage dieta obsahovala 25 % kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage (Tabulka 2 a Tabulka 3). TMR bylo podáváno ad libitum. Čerstvé TMR bylo připravováno a dodáváno do stáje dvakrát denně přibližně ve 4:00 a 16:00 a krmné žlaby byly doplňovány lopatou minimálně pětkrát denně. Krávy byly ustájeny ve volné stáji s volným přístupem k vodě a byly dojeny dvakrát denně přibližně v 05:30 a 16:30.

**Tabulka 2.** Chemické složení a fyzikální vlastnosti kukuřičné siláže a SHRD zkrmovaného dojnicemi

Položka	Kukuřičná siláž	Shredlage
Sušina, g/kg původní hmoty	349	354
Hrubý protein, g/kg sušiny	74	74
Tuk, g/kg sušiny	34	29
NDF <sup>1</sup> , g/kg sušiny	328	346
ADF <sup>2</sup> , g/kg sušiny	160	171
Škrob, g/kg sušiny	398	385
NFC <sup>3</sup> , g/kg sušiny	528	517
Popel, g/kg sušiny	36	34
pH	3,94	4,04
Kyselina mléčná, g/kg sušiny	40,1	46,0
NH <sub>3</sub> -N <sup>4</sup> , g/kg sušiny	0,57	0,54
Penn State separátor síto, %		
19 mm	3,2	17,8
8 mm	66,7	54,1
4 mm	18,4	16,7
Dno separátoru	11,7	11,4

<sup>1</sup>NDF, neutrálně detergentní vláknina; <sup>2</sup>ADF, acido detergentní vláknina; <sup>3</sup>NFC, nevláknité sacharidy = 1000 – NDF (g/kg sušiny) – hrubý protein (g/kg sušiny) – tuk (g/kg sušiny) – popel (g/kg sušiny); <sup>4</sup>NH<sub>3</sub>-N, amoniakální dusík

**Tabulka 3.** Složky a chemické složení (% sušiny není-li uvedeno jinak) experimentálních diet<sup>1</sup>

Položka	Dieta	
	CONV	SHRD
Složky, g/kg sušiny		
Objemná krmiva		
Kukuřičná siláž	250	
Shredlage		250
Vojtěšková siláž	197	197
Kukuřičná siláž s vysokou vlhkostí	122	122
Mláto	41	41
Koncentráty		
Pšenice	125	125
Řepka	70	70
Sója	49	49
MOLAfeed - KMG <sup>2</sup>	41	41
Ječmen	39	39
Vitamíny a minerální premixy <sup>3</sup>	29	29
C16 <sup>4</sup>	19	19
ProMel <sup>5</sup>	14	14
Hydrogenuhličitan sodný	6	6
Chemické složení, g/kg sušiny		
Sušina, g/původní hmota	491	494
Hrubý protein	175	175
Tuk	49	48
Škrob	310	307
NDF <sup>6</sup>	251	256
ADF <sup>7</sup>	153	156
NFC <sup>8</sup>	452	449
Popel	72	72

<sup>1</sup>Jedna skupina byla krmena dietou obsahující konvenčně zpracovanou kukuřičnou siláž (CONV) a druhá skupina byla krmena kukuřičnou siláží zpracovanou technologií shredlage (SHRD); <sup>2</sup>MOLAFeed - KMG (řepná melasa, surový glycerol, lihovarnické látky a kukuřičný škrob; ED&F Man Liquid Products, Děčín, Česká republika); <sup>3</sup>Vitamínový and minerální mix, deklarovaný obsah (na kg): 155 g Ca, 40 g P, 35 g Na, 40 g Mg, 403,100 IU vit. A, 73,494 IU vit. D, 1,200 mg vit. E, 4,700 mg Niacinamid, 3,160 mg Zn, 4,855 mg Mn, 630 mg Cu, 52,5 mg I, 21 mg Co, 18,4 mg Se,  $5 \times 10^{10}$  CFU Saccharomyces cerevisiae NCYC Sc 47 (VVS Verměřovice, s. r. o., Verměřovice, Česká republika); <sup>4</sup>C16 (kyselina



palmitová, čistota >98%; VVS Verměřovice, s. r. o., Verměřovice, Česká republika); <sup>5</sup>ProMel (směs tekutého proteinového koncentráту a homogenizované řepné melasy v poměru 1:1; VVS Verměřovice, s. r. o., Verměřovice, Česká republika); <sup>6</sup>NDF, neutrálně detergentní vláknina; <sup>7</sup>ADF, acido detergentní vláknina; <sup>8</sup>NFC, nevlákninové sacharidy = 1000 – NDF (g/kg sušiny) – hrubý protein (g/kg sušiny) – tuk (g/kg sušiny) – popel (g/kg DM)

### 4.3 Vzorkování a analýzy

Příjem krmiva jednotlivých krav byl automaticky zaznamenáván pomocí systému kontroly příjmu krmiva Insentec (RIC) (Hokofarm Group BV, Marknesse, Nizozemsko). Spolehlivost a přesnost systému byly již dříve ověřeny (Chapinal et al., 2007). Údaje o příjmu sušiny byly získány součinem příjmu krmiva a sušiny krmiva.

Dojivost byla zaznamenávána (AfiMilk MPC Milk Meter, Afimilk Ltd, Kibbutz Afikim, Izrael) denně u každé krávy při každém dojení v průběhu experimentu, ale pro statistickou analýzu byla použita pouze data z posledních 10 dnů každého období. Denní produkce mléka byla vypočtena jako součet ranního a večerního dojení. Vzorky mléka byly odebrány od každé krávy při dvou po sobě jdoucích dojeních (ráno a večer) 21. a 30. den každého experimentálního období. Vzorky mléka byly poté analyzovány a byly stanoveny koncentrace tuku, bílkovin, laktózy a močoviny pomocí infračervené spektroskopie (Foss FT2, MilkoScan, Foss Electric, Hillerød, Dánsko).

Koncentrace TMK, kyseliny mléčné a amoniakálního N byly stanoveny v bachorové tekutině odebrané od 16 krav (n = 8) 30. den každého experimentálního období. Bachorová tekutina (~100 ml) byla odebrána 4 hodiny po ranním krmení pomocí bachorové sondy a vakuové pumpy. Vzorky byly umístěny na led a transportovány do laboratoře, kde bylo měřeno pH bachorové tekutiny (pH 700, Eutech Instruments, Singapur) a vzorky byly skladovány při -18 °C až do analýzy fermentačních produktů. Koncentrace TMK (kyseliny octové, propionové a máselné) a kyseliny mléčné byly stanoveny pomocí izotachoforézy na jednokolonovém analyzátoru Ionosep 2003 (Recman Laboratory Equipment, Ostrava, Česká republika) podle Filipka a Dvořáka (2009). Koncentrace amoniakálního N byly stanoveny pomocí fenol-chlornanové metody popsané Weatherburnem (1967).

Pro sběr denních dat o přežvykování jednotlivých krav byla každá dojnice vybavena systémem sledování přežvykování (Vitalimetr 5P, Farmtec as, Jistebnice, ČR). Systém se skládal z obojkového akcelerometru umístěného pod krkem a softwaru pro zpracování elektronických dat (Farmsoft, Farmtec as, Jistebnice, Česká republika). Data byla vypočítána a shrnuta v hodinových intervalech.

Tělesné hmotnosti byly zaznamenávány dvakrát denně po dojení pomocí elektronické váhy pro hospodářská zvířata (AfiWeigh scale, Afimilk Ltd, Kibbutz Afikim, Izrael) umístěné ve společné výstupní uličce dojírny.

#### 4.4 Penn state separator

Velikost částic kukuřičné siláže a kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage byla stanovena pomocí Penn State Particle Separatoru, jak je popsáno v Kononoff et al. (2003). Uspořádání sít bylo následující: 19 mm síto nahoře, 8 mm síto jako druhé, 4 mm síto jako třetí a plastová miska na dně. Přibližně 300 g vzorku bylo rozprostřeno na horní 19 mm síto a sada sít byla protřepána vodorovně, poté otočena o čtvrtinu a znovu pětkrát protřepána. Kononoff et al. (2003) doporučují frekvenci 1,1 Hz nebo větší (66 cyklů za minutu). Postup byl opakován pro osm sad po pěti opakováních pro celkem 40 protřepání.

#### 4.5 Výpočty a statistické analýzy

4% FCM (kg/den) = 0,4 × dojivost (kg/den) + 15 × výtěžnost tuku (kg/den) (NRC, 2001).

ECM (kg/den) = dojivost (kg/den) × (383 × tuk [%] + 242 × protein [%] + 165,4 × laktóza [%] + 20,7)/3,140 (Sjaunja et al., 1991).

Údaje o složení mléka shromážděné během každého experimentálního období byly zprůměrovány na krávu a průměrné hodnoty byly použity ve statistické analýze.

Data byla analyzována pomocí statistického softwarového balíčku SAS (SAS Enterprise Guide verze 6.1, SAS Institute Inc., Cary, USA) pomocí PROC MIXED podle modelu:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{ij} + P_k + T_l + e_{ijkl}$$

kde  $Y_{ijkl}$  je závislá proměnná,  $\mu$  je celkový průměr,  $G_i$  je vliv skupiny,  $C(G)_{ij}$  je vliv krávy ve skupině,  $P_k$  je vliv období,  $T_l$  je vliv diety (CONV, SHRD) a  $e_{ijkl}$  je residuální chyba. Skupina a kráva ve skupině byly náhodné efekty a všechny ostatní byly fixní. Výsledky jsou uvedeny jako průměry nejmenších čtverců. Statistické rozdíly byly považovány za významné, když  $p < 0,05$ . Trendy jsou diskutovány při  $0,05 \leq p < 0,10$ .

## 5 Výsledky

Chemické složení kukuřičné siláže a SHRD zkrmovaného dojnícemi je uvedeno v Tabulce 2. Kukuřičná siláž zpracovaná technologií shredlage obsahovala více sušiny a více NDF a ADF oproti kontrolní kukuřičné siláži. Obsah NDF ve SHRD i CONV dietě splňoval normy NRC (2001). V SHRD i CONV kukuřičné siláži bylo ADF oproti normám NRC (2001) lehce nižší a obsah NFC byl naopak lehce vyšší než bylo doporučeno množství. Zároveň SHRD obsahovala méně tuků, škrobu a NFC. Kyselina mléčná byla ve větší míře obsažena v kukuřičné siláži zpracované technologií shredlage. V Tabulce 2 je také uvedeno procento zachycených částic na jednotlivých sítích Penn State separátoru. Procento částic zadržovaných na největším sítu bylo větší u SHRD (17,8 %) než u kontrolní kukuřičné siláže (3,2 %). Na středním sítu bylo zachyceno více částic u kontrolní kukuřičné siláže (66,7 %) než u SHRD (54,1 %). Zbylé síto a dno separátoru obsahovaly podobné množství částic. Složky a chemické složení TMR experimentálních diet použitých ve studii je uvedeno v Tabulce 3. Bylo použito stejné množství složek TMR, pouze u CONV diet byla použita klasická kukuřičná siláž a u SHRD diet byla použita kukuřičná siláž zpracovaná technologií shredlage. Chemické složení se u jednotlivých diet téměř nelišilo.

### 5.1 Příjem krmiva a produkce mléka

Příjem krmiva a produkce mléka u krav krmených konvenční (CONV) nebo shredlage (SHRD) dietou je znázorněn v Tabulce 4. Denní příjem sušiny (DMI) byl u SHRD o 0,6 kg/den vyšší ( $p < 0,05$ ) než u CONV. Mezi dojnícemi krmenými SHRD a CONV dietou nebyl statisticky významný rozdíl v množství nadojeného mléka a tučnosti mléka. Přesto však bylo pozorováno číselně vyšší množství nadojeného mléka o 0,5 kg/den u krav krmených SHRD dietou s číselně vyšší tučností mléka o 0,09 kg/den než u krav krmených CONV dietou. Z toho vyplývá, že krávy krmené SHRD měly také větší FCM ( $p < 0,1$ ) než krávy krmené CONV dietou. Díky vyšší kg produkci mléka a vyššímu obsahu tuku u SHRD diety bylo také vyšší ECM ( $p < 0,1$ ) oproti CONV. Efektivita využití krmiva u SHRD a CONV diet vyjádřená jako množství nadojeného mléka na množství přijaté sušiny byla statisticky významně vyšší při krmení CONV dietou. Když byla efektivita vyjádřena jako produkce ECM na množství přijaté sušiny, efektivita se mezi dietami nelišila. Procentuální množství tuku nebylo statisticky významné, ale množství tuku v kg/den směřovalo ke statistické významnosti. Mezi dietami se množství bílkovin, laktózy a MUN téměř nelišilo. Bílkoviny byly v SHRD dietě pouze o 0,1 kg/den vyšší oproti CONV. Laktóza v SHRD dietě stoupla o 0,04 kg/den a MUN se navýšil o 0,2 mg/dl v porovnání s CONV. Ruminace v minutách na den byla lehce vyšší u SHRD ve srovnání s CONV. Průměrná tělesná hmotnost byla u dojnic krmených SHRD dietou o 5 kg vyšší ( $p < 0,05$ ) v porovnání s CONV dietou.

**Tabulka 4.** Příjem krmiva a produkce mléka u krav krmených konvenční (CONV) nebo shredlage (SHRD) dietou

Položka	Krmná dávka <sup>1</sup>		SEM	p-hodnota
	CONV	SHRD		
DMI <sup>2</sup> (kg/den)	21,1	21,7	0,36	0,002
Produkce				
Mléko (kg/den)	41,7	42,2	1,03	0,181
4% FCM <sup>3</sup> (kg/den)	41,6	43,2	1,26	0,060
ECM <sup>4</sup> (kg/den)	41,6	42,9	1,15	0,055
Efektivita využití krmiva				
Mléko/DMI	1,97	1,94	0,065	0,024
ECM/DMI	1,97	1,96	0,040	0,871
Mléčné složky				
Tuk (%)	4,01	4,17	0,140	0,139
Tuk (kg/den)	1,66	1,75	0,065	0,073
Protein (%)	3,12	3,10	0,043	0,339
Protein (kg/den)	1,29	1,30	0,024	0,588
Laktóza (%)	5,04	5,05	0,042	0,664
Laktóza (kg/den)	2,10	2,14	0,055	0,129
MUN <sup>5</sup> (mg/dl)	18,8	19,0	0,49	0,336
Přežvykování (min/den)	413	422	11,1	0,276
Tělesná hmotnost				
Průměr (kg)	702	707	10,4	0,004

<sup>1</sup>Krmná dávka, CONV, kontrolní dieta obsahovala 25 % konvenčně zpracované kukuřičné siláže; SHRD, shredlage dieta obsahovala 25 % kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage; <sup>2</sup>DMI, příjem sušiny („dry matter intake“); <sup>3</sup>4% FCM, energetická hodnota mléka se 4% obsahem tuku; <sup>4</sup>ECM, energeticky korigované mléko = společný parametr pro srovnání produkce mléka mezi farmami s různou hladinou mléčných složek; <sup>5</sup>MUN, močovinný dusík

## 5.2 Bachorová fermentace

Parametry bachorové fermentace dojníc, které jsou uvedeny v Tabulce 5, a které byly krmeny SHRD nebo CONV dietou se mezi ošetřeními nelišily statisticky významně. U SHRD bylo pH o 0,04 vyšší oproti CONV. Množství celkových TMK se u SHRD nepatrně zvýšilo v porovnání s CONV. Acetát, valerát a laktát byly u SHRD lehce nižší oproti CONV a naopak propionát a butyrát byly lehce vyšší (o 0,8 a 0,2) oproti CONV. Poměr acetát:propionát se změnil o 0,1. Amoniakální dusík (NH<sub>3</sub>-N) byl o 0,6 vyšší u CONV diety.

**Tabulka 4.** Parametry bachorové fermentace krav krmených konvenční (CONV) nebo shredlage (SHRD) dietou

Položka	Krmná dávka <sup>1</sup>		SEM	p-value
	CONV	SHRD		
pH	6,45	6,49	0,059	0,6071
Celkové TMK <sup>2</sup> , mM	125,4	126,1	3,54	0,8820
Acetát, mM	80,3	80,1	1,75	0,9387
Propionát, mM	25,0	25,8	1,07	0,6221
Butyrát, mM	18,7	18,9	0,88	0,8472
Valerát, mM	0,66	0,63	0,031	0,4819
Laktát, mM	0,77	0,74	0,046	0,7094
Acetát:propionát	3,3	3,2	0,08	0,3662
NH <sub>3</sub> -N <sup>3</sup> , mg/dl	12,3	11,7	0,28	0,1469

<sup>1</sup>Krmná dávka, CONV, kontrolní dieta obsahovala 25 % konvenčně zpracované kukuřičné siláže; SHRD, shredlage dieta obsahovala 25 % kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage; <sup>2</sup>TMK, těkavé mastné kyseliny, <sup>3</sup>NH<sub>3</sub>-N, amoniakální dusík

## 6 Diskuze

Jak ukazuje Tabulka 2, u SHRD diety byl rozdíl v množství částic zachycených na jednotlivých sítích Penn state separátoru v porovnání s kukuřičnou siláží. Na nejhrubším sítu PSPS bylo u SHRD zachyceno více částic než u CONV diety. To souhlasí s výsledky Vanderwerffa et al. (2015), kterým se na jednotlivých sítích zachytilo podobné množství částic.

Můžeme předpokládat, že o rozdílné množství částic na jednotlivých sítích u SHRD kukuřičné siláže oproti CONV, se postaralo delší TLOC pro SHRD dietu, které bylo nastaveno na 26 mm v porovnání s CONV dietou, u které bylo TLOC nastaveno na 10 mm. TLOC SHRD diety bylo v souladu s doporučením Chase (2015), který doporučil nastavit TLOC na 26–30 mm. S délkou částic souvisí také množství obsaženého NDF. Dle Kononoffa et al. (2003) se snížením velikosti částic lineárně snížil i obsah NDF. Naopak Bal et al. (2000) zjistili, že se zvýšenou délkou částic se zvyšuje i stravitelnost NDF. A Yang a Beauchemin (2007) také zjistili, že se zvýšenou délkou částic píce se zvyšuje příjem stravitelného NDF. S vyšším TLOC souvisí vyšší peNDF, které zvyšuje délku přežvykování. A dle Nørgaarda et al. (2011) je doba přežvykování silně ovlivněna příjmem NDF a velikostí částic krmiva. Proto byla doba přežvykování u SHRD diety, která měla NDF vyšší, delší oproti CONV, nicméně rozdíl nebyl statisticky významný. Diety s větším podílem delších částic mají pozitivní vliv na žvýkání, pufrování v batoru, stravitelnost vlákniny a na obsah mléčného tuku (Mertens 1997). Při žvýkání krmiva se zmenšuje velikost částic a vylučují se sliny, které jsou důležitým pufrem pro bator, a proto žvýkání hraje klíčovou roli při udržování optimálního pH v batoru pro mikrobiální trávení krmiva (Beauchemin 2018). Dle Kononoffa & Heinrichse (2003) se díky zvýšené žvýkací aktivitě zvyšuje pH. Clark & Armentano (1999) uvedli, že snížení velikosti částic píce jednoznačně snížilo žvýkací aktivitu. Z toho vyplývá, že delší velikost částic by měla zvyšovat dobu přežvykování, tím by se měla zvyšovat produkce slin a tím by měl být lépe pufrovaný batorový obsah. Krause et al. (2002) uvedli, že jemné mletí krmiva zkracuje dobu přežvykování krmiva, zatímco Grant et al. (1990) uvedli, že krmivo nasekané nahrubo nemusí mít na dobu přežvykování žádný vliv. Je to dáno tím, že zvětšováním částic krmiva se sice prodlužuje doba přežvykování, ale odezva se s rostoucí velikostí částic snižuje a po dosažení určité velikosti částic již nedochází k dalšímu prodloužení doby přežvykování (Beauchemin 2018). Kononoff et al. (2003) se ve své práci domnívají, že při podávání krmiva o větší velikosti částic může dojít k nedostatečnému účinku zvýšené žvýkací aktivity na pufrování prostředí v batoru. Nedostatečný účinek může být způsoben tím, že sliny jsou vylučovány i během odpočinku dojníc. Je také důležité pochopit, že kukuřičná siláž s kratší velikostí částic může být ve skutečnosti účinnější při stimulaci žvýkací aktivity na základě množství spotřebovaného NDF (Kononoff et al. 2003).

Průměrná dojnice stráví 3–9 hodin/den přežvykováním (Beauchemin 1991), což souhlasí s našimi výsledky, kdy dojnice přežvykovaly přibližně 7 hodin/den (Tabulka 4). Dle Yanga & Beauchemina (2006) má doba žvýkání také vliv na pH a lepšími hodnotami pH se snižuje potenciální riziko acidózy. Dle Beauchemin (2018) je doba přežvykování pozitivně spojena také s produkcí mléka, což může nepřímo souviset s DMI.

## 6.1 Příjem krmiva a produkce mléka

V Tabulce 4 vidíme, že dojnice krmené SHRD přijímaly o 0,6 kg sušiny (DMI) více než dojnice krmené CONV. Ve shodě s našimi výsledky Ferraretto & Shaver (2012) uvádějí, že krmení SHRD dietou mělo tendenci zvyšovat DMI. To může být vysvětlené lepší stravitelností NDF u SHRD (Oba & Allen 1999). Podle výsledků Bhandariho et al. (2007) je DMI ovlivněno i délkou částic. Ve výsledcích Bhandariho et al. (2007) se snížením délky částic kukuřičné siláže, která nebyla jedinou siláží v dietě, zvýšilo DMI. Kononoff et al. (2003) ve své práci také uvádějí, že snížením velikosti částic se lineárně zvyšoval příjem sušiny. Mohlo to být způsobené větším příjmem krmiva díky menšímu třídění částic. Stejně tak Yang a Beauchemin (2007) uvedli zvýšený příjem sušiny se sníženou délkou částic. Uvádějí, že to bylo nejspíše kvůli snížení náplně bachoru. Ve výsledcích Kononoffa & Heinrichse (2003) a Yanga a Beauchemina (2007) délka částic neovlivnila DMI. A naopak snížené DMI v důsledku snížení velikosti částic uvedli Krause & Combs (2003). To by mohlo souhlasit s našimi výsledky, kdy se zvýšením velikosti částic kukuřičné siláže zvýšilo i DMI. Nicméně jsme my jako jediní používali kukuřičnou siláž zpracovanou technologií SHRD, zatímco ostatní pracovali pouze s CONV kukuřičnou siláží, což může mít také vliv na lepší výsledky.

Vyšší průměrná tělesná hmotnost, která byla naměřena u dojnic krmených SHRD dietou, může také souviset s vyšším DMI. Krämer-Schmid et al. (2016) uvádějí, že zvýšením stravitelnosti NDF se zvýší stravitelnost sušiny a dochází ke zvýšení dojivosti a přírůstku živé hmotnosti. Větší množství nadojeného mléka a vyšší tělesná hmotnost, které byly naměřeny, souhlasí s tvrzením Conroye et al. (2020), že skot krmený SHRD dietou má vyšší konečnou tělesnou hmotnost a větší užitkovost než skot krmený CONV dietou. Naše výsledky souhlasí s výsledky Ferrareta & Shavera (2012), kteří uvedli, že nárůst mléka spolu s úpravou mléčného tuku souvisí s krmením SHRD diety. Vyšší obsah mléčného tuku u SHRD může souviset s nižším příjmem škrobu a se zvýšeným příjmem NDF oproti CONV. To potvrzují i Ferraretto et al. (2013), kteří uvedli, že snížený obsah mléčného tuku souvisí se zvýšenou stravitelností škrobu. A dle Batajoo & Shavera (1994) lze nižšími koncentracemi NFC v potravě dosáhnout vyššího procenta mléčného tuku. To souhlasí s našimi výsledky, kdy bylo ve složení SHRD diety méně NFC a zároveň jsme dosáhli většího obsahu mléčného tuku. Nickerson (1995) uvedl, že minimální poměr píce ke koncentrátu, který je potřebný k udržení obsahu mléčného tuku je asi 40:60. Tento poměr jsme splnili. Obsah mléčného tuku může souviset také s rostoucí délkou částic, která má podle Kononoffa & Heinrichse (2003) tendenci procento mléčného tuku zvyšovat. Dle Zebeliho et al. (2012) ale naopak snížením částic kukuřičné siláže dosáhneme vyššího procenta mléčného tuku a bílkovin. Ve studii Krause & Combse (2003) se zase snížením velikosti částic píce snížilo i procento mléčného tuku. Stejně tak Grant et al. (1990) uvedli, že jemně nasekané krmivo snižuje syntézu mléčného tuku, protože kvůli nižší délce částic krmiva se sníží doba přežvykování a pH v bachoru, zvýší se produkce propionátu a to může vyvolat útlum mléčného tuku. V našich výsledcích pro SHRD dietu jsme došli k závěru, že delším TLOC se mléčný tuk zvýšil.

Ve studii Bacha et al. (2021) došli k závěru, že SHRD sice zvyšuje DMI krav, ale že oproti našim výsledkům zvýšené DMI nezlepšilo mléčnou produkci a složení mléka. Mohlo to způsobit rozdílné složení TMR mezi jednotlivými studiemi. Ve výsledcích Bhandariho et al. (2007) délka částic kukuřičné siláže ovlivňovala DMI, ale neovlivnila produkci mléka

a mléčné složky. A ve studii Vanderwerffa et al. (2015) zase uvedli, že oproti CONV dietě byla u SHRD diety mléčná užitkovost lepší, ale procento mléčného tuku se snížilo. Rozdílné výsledky u Vanderwerffa et al. (2015) mohl způsobit výběr jiného hybridu kukuřičné siláže (hnědý midrib (BMR)). Vyšší 4% FCM a ECM u SHRD, které jsme naměřili, souhlasí s výsledky Ferrareta & Shavera (2012) a Vanderwerffa et al. (2015), kteří také uvedli, že krávy krmené SHRD dietou produkovaly více FCM a ECM než krávy krmené CONV dietou. Vyšší naměřené hodnoty mohly souviset s vyšším DMI, s více minutami strávenými přežvykováním za den a větším podílem hrubších částic, které mají pozitivní vliv na bachor (Mertens 1997). Vanderwerff et al. (2015) uvádějí, že tyto vyšší hodnoty jsou spojené především s větším zpracováním jádra a tím spojenou větší stravitelností škrobu. Yang a Beauchemin (2007) zase uvedli, že pokles produkce mléka byl v souladu s nižším DMI, což by odpovídalo i našim výsledkům, kdy při CONV dietě bylo nižší DMI a zároveň nižší produkce mléka. Ve výsledcích Kononoffa & Heinrichse (2003) ale naopak uvedli, že zkrmování kukuřičné siláže různé fyzické formy neovlivnilo produkci mléka. Kononoff & Heinrichs (2003) také uvedli, že procento i výtěžnost mléčné bílkoviny byly významně vyšší u krav, které konzumovaly kratší velikost částic, což je v rozporu s našimi výsledky. Zvyšování mléčného proteinu spolu se snižující se velikostí částic kukuřičné siláže je zřejmě výsledkem zvýšené stravitelnosti škrobu (Clark & Armentano 1999), protože mléčný protein je pozitivně spojen s energetickou bilancí (Grieve et al. 1986).

## 6.2 Bachorová fermentace

U SHRD i u CONV diety bylo naměřeno pH kolem hodnoty 6,5 (Tabulka 5), což je podle Yanga & Beauchemina (2007) optimální hodnota, při které mikrobiální populace v bachoru pracuje. Již výše bylo zmíněno, že pH souvisí s délkou částic. Větší délka částic by teoreticky měla zlepšovat pH. To odpovídá výsledkům Krause et al. (2002), kteří zjistili, že v opačném případě při snížení délky částic píce se snižuje pH bachoru. A Onetti et al. (2003) spolu s Yangem a Beaucheminem (2007) uváděli vyšší pH v bachoru při zvýšení délky částic píce. Bhandari et al. (2007) ve své studii uvádějí zvýšení pH v bachoru při snížení délky částic. Naopak dle Kononoffa et al. (2003) nemá délka částic vliv na bachorové pH. Z výsledků Ferrareta et al. (2018) je patrné, že u CONV diet bylo pH vyšší než u SHRD diet. V našich výsledcích bylo pH ve skupině SHRD vyšší pouze číselně a nebyl zde statisticky významný rozdíl.

Množství celkových TMK kyselin bylo v našich výsledcích u SHRD lehce vyšší oproti CONV. Tyto výsledky souhlasí s výsledky Storma & Kristensena (2010), kteří uvedli, že celkové množství TMK v bachoru se zvýšilo s delšími částicemi. Onetti et al. (2003) spolu s Bhandari et al. (2007) ve svých studiích uvedli, že délka částic neovlivňuje koncentrace celkových TMK v bachoru. Kononoff et al. (2003) naopak zjistili, že snížením délky částic kukuřičné siláže se zvýší koncentrace celkových TMK v bachoru. To může být způsobeno zvětšením plochy povrchu pro mikrobiální uchycení při kratší délce částic (Owens & Basalan 2016). A Yang a Beauchemin (2006) zase uvedli, že snížením velikosti částic píce se může snížit produkce TMK kvůli zvýšené rychlosti průchodu částic z bachoru. Beauchemin & Yang (2005) také pozorovali, že snížení délky částic kukuřičné siláže mělo tendenci snižovat poměr



acetátu k propionátu. Yang a Beauchemin (2007) ve svém pokusu, který se týkal podílu vláknité složky k jádru v krmné dávce, uvedli, že větší vliv na bachorovou fermentaci než délka řezanky má poměr jádra k píce.

Koncentrace acetátu a laktátu u CONV diety byly číselně vyšší, ale nebyly statisticky významně zvýšeny. Číselné zvýšení mohlo být způsobeno větší hustotou balení díky menšímu TLOC oproti SHRD (Bal et al. 2000). A zvýšený propionát, který jsme naměřili u SHRD diety, mohl být způsoben větší stravitelností škrobu díky většímu narušení zrn při zpracování SHRD kukuřičné siláže. Zvýšená produkce propionátu u SHRD diety může být způsobena také vyšším DMI (Benchaar et al. 2014). Ve studii Ferraretta et al. (2018) nebyla koncentrace acetátu, propionátu a butyrátu metodou zpracování kukuřičné siláže ovlivněna, naproti tomu laktát byl vyšší u SHRD diety, ale není jasné proč. Koncentrace propionátu se na rozdíl od acetátu u SHRD diety zvýšila, což snížilo poměr acetátu k propionátu. Koncentrace amoniakálního dusíku ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) byly v této práci vyšší při krmení CONV dietou. Stejně tak tomu bylo i ve studii Ferraretta et al. (2018). Parametry bachorové fermentace se v této práci však změnilly pouze číselně a nebyly statisticky významné.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat účinky krmení kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage a konvenční technologií na produkční a fyziologické parametry dojnic. Na základě získaných výsledků jsme zamítli hypotézu, že zkrmování kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage zvýší produkci mléka. Zamítli jsme také druhou hypotézu, která předpokládala, že při zkrmování SHRD diety se zvýší zastoupení tuku v mléce. Procentuální zastoupení tuku v mléce nebylo statisticky významné, ale množství tuku v mléce v kg za den směřovalo ke statistické významnosti. Třetí hypotézu, která předpokládala zvýšenou efektivitu využití krmné dávky, jsme také zamítli, protože efektivita využití krmné dávky se u SHRD diet naopak snížila a byla vyšší u CONV diet. Čtvrtou a zároveň poslední hypotézu, která předpokládala prodloužení doby přežvykování při krmení SHRD dietou, jsme také zamítli. I přes to, že zkrmování kukuřičné siláže zpracované technologií shredlage mělo některé pozitivní účinky, jako zvýšení příjmu sušiny a s tím spojenou vyšší tělesnou hmotnost a tendence k vyšší produkci FCM a ECM mléka, nemůžeme její zkrmování doporučit jako opatření pro zvýšení produkce mléka, efektivitu využití krmné dávky či zlepšení bachorové fermentace.

## 8 Literatura

- Allen MS. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science* **7**:1447-1462.
- Allen MS, Coors JG, Roth GW. 2003. Corn silage. *Silage science and technology* **42**:547-608.
- Allen MS, Bradford BJ. 2009. HOT Feeding Strategies to Maximize Milk Yield. Four-State Dairy Nutrition and Management Conference:8-13.
- Allen MS, Voelker JA, Oba M. 2006. Physically effective fiber and regulation of ruminal pH: More than just chewing. Pages 270-278 in Joshi NP, Herdt TH, editors. *Production Diseases in Farm Animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- Andrae JG, Hunt CW, Pritchard GT, Kennington LR, Harrison JH, Kezar W, Mahanna W. 2001. Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. *Journal of Animal Science* **9**:2268-2275.
- Bach A, Joulie I, Chevaux E, Elcoso G, Ragués J. 2021. Milk performance and rumen microbiome of dairy cows as affected by the inclusion of corn silage or corn shredlage in a total mixed ration. *Animal* **15**: 1-6.
- Bal MA, Shaver RD, Jirovec AG, Shinnors KJ, Coors JG. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* **6**:1264-1273.
- Batajoo KK, Shaver RD. 1994. Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* **6**:1580-1588.
- Beauchemin KA. 1991. Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* **2**: 439-463.
- Beauchemin KA. 2018. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **6**:4762-4784.
- Beauchemin KA, Yang WZ. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science* **6**:2117-2129.
- Beauchemin KA, Yang WZ, Penner G. 2006. Ruminal acidosis in dairy cows: Balancing effective fiber with starch availability. Pages 4-16. *Annual Pacific Northwest Animal Nutrition Conference*. Vancouver.
- Beecher M, Buckley F, Waters SM, Boland TM, Enriquez-Hidalgo D, Deighton MH, O'Donovan M, Lewis E. 2014. Gastrointestinal tract size, total-tract digestibility, and rumen microflora in different dairy cow genotypes. *Journal of Dairy Science* **6**:3906-3917.
- Belanche A, Doreau M, Edwards JE, Moorby JM, Pinloche E, Newbold CJ. 2012. Shifts in the rumen microbiota due to the type of carbohydrate and level of protein ingested by dairy cattle are associated with changes in rumen fermentation. *The Journal of Nutrition* **9**:1684-1692.

- Benchaar C, Hassanat F, Gervais R, Chouinard PY, Petit HV, Massé DI. 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage-or barley silage-based diets. *Journal of Dairy Science* **2**:961-974.
- Bhandari SK, Ominski KH, Wittenberg KM, Plaizier JC. 2007. Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **5**:2355-2366.
- Cerrilla MEO, Martínez GM. 2003. Starch digestion and glucose metabolism in the ruminant: a review. *Interciencia* **7**:380-386.
- Clark PW, Armentano LE. 1999. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in corn silage. *Journal of Dairy Science* **3**:581-588.
- Conroy B, Jaynes M, Pritchard R, Jenkins KH. 2020. Comparing SHREDLAGE® and Conventional Silage as a Roughage Component in Steam-Flaked Corn Diets for Finishing Cattle. *Nebraska Beef Cattle Report*:89-90.
- Dado RG, Allen MS. 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **1**:132-144.
- Doležal P, Dvořáček J, Dvořáčková J, Poštulka R, Doležal J, Szwedziak K. 2014. Využití kvasinkové kultury ve výživě laktujících dojníc. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **5**:75-82.
- Esmaeili M, Khorvash M, Ghorbani GR, Nasrollahi SM, Saebi M. 2016. Variation of TMR particle size and physical characteristics in commercial Iranian Holstein dairies and effects on eating behaviour, chewing activity, and milk production. *Livestock Science* **191**:22-28.
- Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* **1**:533-550.
- Ferraretto LF, Saylor BA, Goeser JP, Bryan KA. 2018. Case study: Effect of type of processor on corn silage processing score in samples of whole-plant corn silage. *The Professional Animal Scientist* **3**:293-298.
- Ferraretto LF, Shaver RD. 2012. Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. *The Professional Animal Scientist* **6**: 639-647.
- Ferraretto LF, Shaver RD. 2012. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *The Professional Animal Scientist* **2**:141-149.
- Ferraretto LF, Shaver RD, Luck BD. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science* **5**:3937-3951.
- Foroutan A, Guo AC, Vazquez-Fresno R, Lipfert M, Zhang L, Zheng J, Badran H, Budinski Z, Mandal R, Ametaj BN, Wishart DS. 2019. Chemical composition of commercial cow's milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **17**:4897-4914.

- Grant RJ, Albright JL. 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science* **9**:2791-2803.
- Grant RJ, Colenbrander VF, Albright JL. 1990. Effect of particle size of forage and rumen cannulation upon chewing activity and laterality in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **11**:3158-3164.
- Grant RJ, Colenbrander VF, Mertens DR. 1990. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. *Journal of Dairy Science* **7**:1834-1842.
- Grieve DG, Korver S, Rijpkema YS, Hof G. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livestock Production Science* **3**:239-254.
- Griinari JM, McGuire MA, Dwyer DA, Bauman DE, Palmquist DL. 1997. Role of insulin in the regulation of milk fat synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **6**:1076-1084.
- Grummer RR. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* **9**:3244-3257.
- Hall JB, Silver S. 2005. Nutrition and feeding of the cow-calf herd: Digestive system of the cow. *Animal and Poultry Sciences*:1-4.
- Harding F. 1995. Compositional quality. Pages 75-96 in Harding F, editor. *Milk quality*. Springer, Boston, MA.
- Heinrichs J. 2013. The Penn state particle separator. *Penn State Extension* **186**:1-8.
- Chase L. 2015. Shredlage—What's new. *The Manager DairyBusiness East*:26.
- Jenkins TC, Harvatine KJ. 2014. Lipid feeding and milk fat depression. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* **3**:623-642.
- Jenness R. 1988. Composition of milk. Pages 1-38 in Wong NP, Jenness R, Keeney M, Marth EH, editors. *Fundamentals of dairy chemistry*. Springer, Boston, MA.
- Johnson L, Harrison JH, Hunt C, Shinnors K, Doggett CG, Sapienza D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *Journal of Dairy Science* **12**:2813-2825.
- Jóźwik A, Strzałkowska N, Bagnicka E, Grzybek W, Krzyżewski J, Poławska E, Kołataj A, Horbańczuk JO. 2012. Relationship between milk yield, stage of lactation, and some blood serum metabolic parameters of dairy cows. *Czech Journal of Animal Science* **8**:353-360.
- Kalscheur KF, Vi RB, Glenn BP, Kohn RA. 2006. Milk production of dairy cows fed differing concentrations of rumen-degraded protein. *Journal of Dairy Science* **1**:249-259.
- Kononoff PJ, Heinrichs AJ. 2003. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* **7**:2438-2451.
- Kononoff PJ, Heinrichs AJ. 2003. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* **4**:1445-1457.

- Kononoff PJ, Heinrichs AJ, Buckmaster DR. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science* **5**:1858-1863.
- Kononoff PJ, Heinrichs AJ, Lehman HA. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **10**: 3343-3353.
- Koukolová V, Homolka P, Kudrna V. 2010. Vliv strukturních sacharidů na bachorovou fermentaci, zdraví zvířat a kvalitu mléka. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha.
- Krause KM, Combs DK. 2003. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows. *Journal of Dairy Science* **4**:1382-1397.
- Krause KM, Combs DK, Beauchemin KA. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk production and diet digestibility. *Journal of Dairy Science* **8**:1936-1946.
- Krause KM, Combs DK, Beauchemin KA. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. *Journal of Dairy Science* **8**:1947-1957.
- Krämer M, Lund P, Weisbjerg MR. 2013. Rumen passage kinetics of forage-and concentrate-derived fiber in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **5**:3163-3176.
- Krämer-Schmid M, Lund P, Weisbjerg MR. 2016. Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* **219**:68-76.
- Kudrna V, Homolka P. 2007. Vliv krmné dávky dojníc na množství a kvalitu mléčného tuku. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha.
- Kudrna V, Homolka P, Burdych J. 2008. Ovlivňování množství a kvality mléčného tuku výživou dojníc. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha.
- Kuhla B, Metges CC, Hammon HM. 2016. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology* **56**:S2-S10.
- Lammers BP, Buckmaster DR, Heinrichs AJ. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* **5**:922-928.
- Law RA, Young FJ, Patterson DC, Kilpatrick DJ, Wylie ARG, Mayne CS. 2009. Effect of dietary protein content on animal production and blood metabolites of dairy cows during lactation. *Journal of Dairy Science* **3**:1001-1012.
- Lean IJ, Golder HM, Hall MB. 2014. Feeding, evaluating, and controlling rumen function. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* **3**:539-575.

- Lettat A, Hassanat F, Benchaar C. 2013. Corn silage in dairy cow diets to reduce ruminal methanogenesis: Effects on the rumen metabolically active microbial communities. *Journal of Dairy Science* **8**:5237-5248.
- Li X, Chen H, Guan Y, Li X, Lei L, Liu J, Yin L, Liu G, Wang Z. 2013. Acetic acid activates the AMP-activated protein kinase signaling pathway to regulate lipid metabolism in bovine hepatocytes. *PLoS One* **7**:67880.
- Lock AL, Bauman DE. 2004. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids* **12**:1197-1206.
- Maekawa M, Beauchemin KA, Christensen DA. 2002. Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **5**:1176-1182.
- Membrive CMB. 2016. Anatomy and Physiology of the Rumen. Pages 1-38 in Millen DD, Arrigoni MDB, Pacheco RDL, editors. *Rumenology*. Springer, Cham.
- Mertens DR. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **7**:1463-1481.
- Neylon JM, Kung Jr L. 2003. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science* **6**:2163-2169.
- Nickerson SC. 1995. Milk production: Factors affecting milk composition. Pages 3-24 in Harding F, editor. *Milk quality*. Springer, Boston, MA.
- Nocek JE, Tamminga S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science* **10**:3598-3629.
- Nørgaard P, Nadeau E, Randby ÅT. 2011. A new Nordic structure evaluation system for diets fed to dairy cows: a meta analysis. Pages 112-120 in Sauvant D, Van Milgen J, Faverdin P, Friggens N, editors. *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academy of Sciences, Washington, D. C.
- Oba M, Allen MS. 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **3**:589-596.
- Oba M, Allen MS. 2003. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *Journal of Dairy Science* **1**:184-194.
- Oh MR, Hong H, Li HL, Jeon BT, Choi CH, Ding YL, Tang YJ, Kim EK, Jang SY, Seong HJ, Moon SH. 2016. Effects of Physically Effective Neutral Detergent Fiber Content on Intake, Digestibility, and Chewing Activity in Fattening Heifer Fed Total Mixed Ration. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **12**:1719.

- Onetti SG, Shaver RD, Bertics SJ, Grummer RR. 2003. Influence of corn silage particle length on the performance of lactating dairy cows fed supplemental tallow. *Journal of Dairy Science* **9**:2949-2957.
- Owens FN, Basalan M. 2016. Ruminant fermentation. Pages 63-102 in Millen DD, Arrigoni MDB, Pacheco RDL, editors. *Rumenology*. Springer, Cham.
- Pérez-Barbería FJ, Gordon IJ. 1998. Factors affecting food comminution during chewing in ruminants: a review. *Biological Journal of the Linnean Society* **2**:233-256.
- Poštulka R, Doležal P. 2010. The influence of hybrid, locality and silage preparation on the neutral detergent fiber digestibility of maize silage. *MendelNet 2010*:313-319.
- Rebora C, Ibarguren L, Barros A, Bertona A, Antonini C, Arenas F, Calderón M, Guerrero D. 2018. Corn silage production in the northern oasis of Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* **2**:369-375.
- Seymour WM, Campbell DR, Johnson ZB. 2005. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: a literature study. *Animal Feed Science and Technology* **1-2**:155-169.
- Shaw CN, Kim M, Eastridge ML, Yu Z. 2016. Effects of different sources of physically effective fiber on rumen microbial populations. *Animal* **3**:410-417.
- Schwab EC, Shaver RD, Lauer JG, Coors JG. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology* **1-4**: 1-18.
- Stensig T, Robinson PH. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *Journal of Dairy Science* **7**:1339-1352.
- Storm AC, Kristensen NB. 2010. Effects of particle size and dry matter content of a total mixed ration on intraruminal equilibration and net portal flux of volatile fatty acids in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **9**:4223-4238.
- Tománková O, Homolka P. 2009. Comparison of ruminal degradability of starch of maize grain and maize silages by in vitro method. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **1**:165-170.
- Van Knegsel ATM, Van den Brand H, Dijkstra J, Van Straalen WM, Heetkamp MJW, Tamminga S, Kemp B. 2007. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition. *Journal of Dairy Science* **3**:1467-1476.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **10**:3583-3597.
- Vanderwerff LM, Ferraretto LF, Shaver RD. 2015. Brown midrib corn shreddlage in diets for high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* **8**:5642-5652.
- Varga GA, Dann HM, Ishler VA. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *Journal of Dairy Science* **11**:3063-3074.



Wattiaux MA, Howard WT. 2000. Digestion in the dairy cow. Dairy Essentials – Nutrition and Feeding:1-4.

Weber C, Hametner C, Tuchscherer A, Losand B, Kanitz E, Otten W, Singh SP, Bruckmaier RM, Becker F, Kanitz W, Hammon HM. 2013. Variation in fat mobilization during early lactation differently affects feed intake, body condition, and lipid and glucose metabolism in high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* **1**:165-180.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2005. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science* **3**:1090-1098.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science* **1**:217-228.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2006. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. *Journal of Dairy Science* **7**:2694-2704.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. *Journal of Dairy Science* **7**:3410-3421.

Yang WZ, Beauchemin KA. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science* **6**:2826-2838.

Zebeli Q, Aschenbach JR, Tafaj M, Boguhn J, Ameta, BN, Drochner W. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **3**:1041-1056.

Zebeli Q, Ghareeb K, Humer E, Metzler-Zebeli BU, Besenfelder U. 2015. Nutrition, rumen health and inflammation in the transition period and their role on overall health and fertility in dairy cows. *Research in Veterinary Science* **103**:126-136.

## **Obrázek**

Lely. 2022. Shakerbox - how to use? Lely. Available from <https://www.lely.com/farming-insights/shakerbox-how-use/> (accessed February 2022).