

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chovu hospodářských zvířat**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv tepelného stresu na příjmovou schopnost  
u vykrmovaných prasat**

**Diplomová práce**

**Bc. Kateřina Hervertová**

**Výživa zvířat**

**doc. Ing. Jaroslav Čítek, Ph.D.**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv tepelného stresu na příjmovou schopnost u vykrmovaných prasat" 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

\_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Jaroslavu Čítkovi, Ph. D. za cenné rady, pomoc s odbornými termíny a formulacemi. Dále bych ráda poděkovala za pomoc se zpracováním a vyhodnocením dat a odborné vedení pokusu.

Děkuji také rodině, která mě podporovala v průběhu celého studia a byla mi cennou oporou.

# Vliv tepelného stresu na příjmovou schopnost u vykrmovaných prasat

## Souhrn

V teoretické části práce je popsána základní charakteristika chovu a výkrmu prasat. Dále jsou popsány faktory ovlivňující užitkovost prasat, především faktor výživy a teploty prostředí. Vysoké teploty působící na zvířata vedou k jejich stresu a mají tak dopad na fyziologické vlastnosti a chování prasat. Jak vyplývá z dosavadních poznatků jednou z reakcí je snížený příjem krmiva, což má významný vliv na nižší hmotnostní přírůstky, čímž se zvyšují náklady na výkrm a snižuje se zisk chovů. Kromě dopadů vysokých teplot se práce zaměřuje na možná řešení spojená s úpravou krmné dávky a přidání krmných doplňků, jež mají pozitivní vliv na vyrovnání se s vysokými teplotami a jejich důsledků.

V experimentální části je popsán pokus, jehož předmětem byly dvě skupiny prasat ve výkrmu vystavované vysokým teplotám prostředí v různých částech dne a po rozdílnou dobu. Byli u nich sledovány změny v denní spotřebě krmiva, hmotnostních přírůstcích a konverzi krmiva, to vše v závislosti na změnách teplot. Vysoké teploty vedou ke změnám krmného režimu prasat, jako změna ve velikostech porcí a frekvenci příjmu, a to se negativně odráží v přírůstcích zvířat. Často je popisována jistá adaptační schopnost, pokud je expozice dlouhodobá. To lze potvrdit rozdíly mezi skupinami, v reakci na rozdílné nastavení pokusů. Pokusná skupina B nepodléhala tak častým teplotním změnám a její porážková hmotnost byla o 4,6 kg vyšší než u druhé testované skupiny, ačkoli počáteční váha a složení krmiva byli shodné.

Vysoké teploty představují problém, kterému se lze jen těžko vyhnout, s ohledem na stále se zvyšující průměrné roční teploty. Negativní dopady tepelného stresu na hospodářská zvířata jsou opakovaně prokázány a je proto nutné hledat možná řešení, jak potenciální problémy a užitkové ztráty vyrovnat.

**Klíčová slova:** Prase; tepelný stres; výživa; konverze krmiva

# **Effect of heat stress on the intake capacity of fattened pigs**

## **Summary**

The theoretical part of the thesis describes the basic characteristics of pig breeding and fattening. Furthermore, the factors influencing pig performance are described, especially the factors of nutrition and environmental temperature. High temperatures acting on animals lead to stress and thus have an impact on the physiological characteristics and behaviour of pigs. One of the reactions, as shown by previous findings, is reduced feed intake, which has a significant effect on lower weight gains, thereby increasing fattening costs and reducing farm profits. In addition to the effects of high temperatures, this paper focuses on possible solutions associated with ration modification and the addition of feed supplements that have a positive effect on coping with high temperatures and its consequences.

The experimental part describes an experiment involving two groups of fattening pigs exposed to high ambient temperatures at different times of the day and for different durations. They were monitored for changes in daily feed consumption, weight gain and feed conversion, all in response to changes in temperature. High temperatures lead to changes in the pigs' feeding regimen, such as changes in portion sizes and frequency of intake, and this is negatively reflected in animal gains. A certain adaptive capacity is often described if the exposure is prolonged. This can be confirmed by differences between groups in response to different experimental setups. Experimental group B was not subject to such frequent temperature changes and its slaughter weight was 4.6 kg higher than the other group tested, although initial weight and feed composition were identical.

High temperatures are a problem that is difficult to avoid, given the ever-increasing average annual temperatures. The negative effects of heat stress on livestock have been repeatedly demonstrated and it is therefore necessary to look for possible solutions to offset potential problems and performance losses.

**Keywords:** Pig; heat stress; nutrition; feed conversion

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Chov prasat.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Chování .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Výživa .....</b>	<b>10</b>
3.2.1	Proteiny .....	11
3.2.2	Lipidy.....	11
3.2.3	Sacharidy .....	12
3.2.4	Vláknina.....	12
<b>3.3</b>	<b>Vnitřní a vnější faktory .....</b>	<b>12</b>
3.3.1	Plemeno .....	12
3.3.2	Pohlaví .....	13
3.3.3	Fyziologický stav a zdraví .....	13
3.3.4	Věk.....	13
3.3.5	Výživa.....	14
3.3.6	Stres .....	16
3.3.7	Technologie chovu.....	16
<b>4</b>	<b>Tepelný stres.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Vliv na příjem krmiva .....</b>	<b>21</b>
4.1.1	Adaptace a změny chování .....	25
4.1.2	Metabolické změny.....	27
<b>5</b>	<b>Krmné doplňky .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Aminokyseliny .....</b>	<b>30</b>
5.1.1	Betain .....	30
5.1.2	Arginin .....	31
<b>5.2</b>	<b>Mikroprvky a vitamíny.....</b>	<b>32</b>
5.2.1	Vitamin E a selen.....	32
5.2.2	Chrom .....	33
5.2.3	Zinek .....	33
<b>5.3</b>	<b>Probiotika.....</b>	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>Kyselina lipoová .....</b>	<b>34</b>
<b>5.5</b>	<b>Thiazolidindiony.....</b>	<b>35</b>
<b>5.6</b>	<b>Skořice.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Statistické údaje .....</b>	<b>36</b>

<b>7</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Denní spotřeba krmiva v závislosti na změně tepelného režimu .....</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>Konverze krmiva v závislosti na změně tepelného režimu .....</b>	<b>38</b>
<b>7.3</b>	<b>Průměrný denní přírůstek v závislosti na změně tepelného režimu.....</b>	<b>40</b>
<b>7.4</b>	<b>Změny příjmu krmiva v závislosti na teplotě .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>50</b>

# 1 Úvod

Stabilní teplota je jedním z klíčových faktorů chovu prasat. Výkyvy teplot mohou vyvolat stres, který vede ke snížení příjmu krmiva a s tím spojeného přírůstku, ovlivnit reprodukci a zdraví zvířat. Vzhledem k nákladům na krmiva, je žádoucí co nejvyšší konverze krmiv, obzvláště během výkrmu. V důsledku globálního oteplování je stále častějším jevem vystavení prasat v chovech dlouhodobému tepelnému stresu, který zhoršuje jejich produkční vlastnosti. I přes jisté adaptační schopnosti nejsou prasata schopna tento jev plně kompenzovat a je tedy důležité reagovat změnou v přístupu chovu. Je trendem selekce prasat na co nejvyšší přírůstky, ovšem tím se snižuje jejich adaptační schopnost na vysoké teploty. I přes stále se vyvíjející technologie chovu nejsme schopni dostatečně eliminovat riziko tepelného stresu a na něj napojená úskalí. Studie se zabývají otázkami, zda změny, či přidané suplementy v tradičních krmných dávkách nemohou pomoci tento stav zvládat. Pokud by se totiž podařilo dostatečně kompenzovat snížený příjem krmiva a tím zachovat jatečnou výtěžnost prasat, napomohlo by to ke snížení ekonomických ztrát v chovu a jeho rentabilitě.



## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem práce je vytvoření literární rešerše popisující problematiku příjmové schopnosti vykrmovaných prasat a popsat faktory, které ji ovlivňují. Dále popsat fyziologické principy stresu u prasat. V experimentální části práce je cílem definovat změny v příjmu krmiva u prasat vlivem periodického tepelného stresu. Posoudit změny ve frekvenci příjmu krmiva, denního období, množství a následně parametrů růstu prasat. Dále popsat možnosti přidání suplementů do krmiva jež mohou pozitivně ovlivnit zvládání tepelného stresu a snížit ztráty hmotnostních přírůstků během výkrmu.

Hypotéza: Vykrmovaná prasata vlivem periodického tepelného stresu budou vykazovat nižší příjmovou schopnost, která bude mít negativní vliv na přírůstek a konverzi krmiva.

### 3 Chov prasat

Hlavním významem chovu prasat je produkce vepřového masa. Na to navazuje také rostlinná výroba, jelikož kvalitní krmiva zvyšují jatečnou užitkovost, zlepšují zdraví zvířat a podporují reprodukci (Pulkrábek et al. 2005). Pro chovatele je proto důležité dosáhnout co nejvyšších zisků, tedy maximalizovat užitkové vlastnosti chovaných zvířat. Gutierrez a Patience (2012) uvádějí, že 60 až 70 % celkových nákladů na výrobu vepřového masa představují náklady na krmiva. V rámci krmiv může samotná energie představovat 50 % a více celkových nákladů. Martin (2010) doplňuje, že vzhledem k rostoucímu využívání rostlinných zdrojů pro lidskou spotřebu nebo výrobu paliv se klade důraz na potřebu diverzifikace krmiv ve stravě prasat, včetně používání vedlejších produktů. U těchto nových krmiv bývá nedostatečně zdokumentována jejich energetická hodnota a technologické úpravy, kterými procházejí. Jsou často spojené s vysokým obsahem vlákniny, načež mohou silně ovlivnit metabolické využití energie rostoucími prasaty (Labussière et al. 2013). Výkrmnost je schopnost přeměnit v relativně krátké době přijaté živiny na jatečné produkty a lze ji hodnotit dvěma ukazateli, tedy konverzí krmiva a průměrným denním přírůstkem (Pulkrábek et al. 2005).

#### 3.1 Chování

Mezi denní aktivity prasat patří příjem krmiva a vody, vylučování, odpočinek, lokomoce a péče o tělo. Chování prasat v chovech je ovlivněno prostorem, velikostí skupiny a uspořádání kotce. Chovatel by měl, pokud možno zajistit přirozené chování prasat. Prasata jsou velmi sociální a ráda se shlukují. Přesto dochází ve skupinách k bojům, díky nimž si nastavují pořadí v hierarchii. První střety zažívají již jako selata, při bojích. Tyto boje se postupně při vytvoření jasného postavení ve skupině minimalizují (Voříšková et al. 2001).

Denně stráví prasata 5 až 30 % času příjmem potravy. Doba příjmu závisí na věku, hmotnosti, úpravě krmiva, klimatických podmínkách a ustájení (Hrouz 2007). Mezi komunikační prvky patří postoj těla, pohyb ocasu, hlasové projevy, pachové signály a mimické svaly (Voříšková et al. 2001).

Na základě tělesné hmotnosti je možné vypočítat požadovanou plochu kotce. Chování při ležení přímo souvisí s teplotou prostředí (Velarde & Geers 2007). Termoregulační chování lze definovat jako soubor odpovědí na změny klimatických podmínek prostředí. Jeho cílem je buď zvýšit výdej tepelné energie z organismu a tím omezit jeho přehřívání, nebo naopak zvýšit tvorbu tepelné energie a snížit její výdej. Konkrétní prvky termoregulačního chování se liší mezi různými druhy a kategoriemi zvířat a vyplývají z jejich anatomických, morfologických a fyziologických vlastností (Voříšková et al. 2001).

#### 3.2 Výživa

Příjem krmiva je omezen velikostí zvířat a účinnost krmení je omezena energetickými náklady na biochemické procesy spojené s příjmem a využitím živin. Za posledních 20 let se zvýšil průměrný denní přírůstek o 100 g/den, stejně tak podíl procentuálního podílu libové tkáně, což je pravděpodobně způsobeno selekcí (Prunier et al. 2010).

Trávicí trakt prasete lze rozdělit do tří hlavních oddílů: žaludek, tenké střevo a tlusté střevo. Žaludek představuje přibližně 30 % celkového objemu trávicího traktu. V této části dochází k počátečnímu trávení snížením pH. V porovnání s jinými hospodářskými zvířaty je tenké střevo prasat dlouhé a umožňuje intenzivní endogenní trávení při téměř neutrálním pH. V dolní části ilea a zejména ve slepém střevě a dolním tlustém střevě dochází k intenzivní mikrobiální degradaci. Většina živin (bílkoviny, sacharidy, tuky, minerály a vitamíny) je vstřebávána v tenkém střevě. V tlustém střevě jsou nestrávené složky krmiva a endogenní sekrety fermentovány mikroorganismy. V této části mohou být absorbovány pouze mastné kyseliny s krátkým řetězcem a některé vitamíny (Wenk 2001).

### **3.2.1 Proteiny**

Bílkoviny se skládají z aminokyselin, které určují jejich nutriční hodnotu a dostupnost. Existují plnohodnotné bílkoviny obsahující všechny nezbytné aminokyseliny a neplnohodnotné, které mají nedostatek jedné nebo více aminokyselin. Aminokyseliny se dělí na esenciální, které organismus nedokáže syntetizovat, a neesenciální (Southern 2012). Prasata potřebují deset esenciálních aminokyselin, z nichž první je lyzin, následován threoninem, methioninem a cystinem. Nedostatek lyzinu v obilovinách, hlavním zdroji krmiva pro prasata, může omezit jejich využití dusíkatých látek. Nedostatek nebo nadbytečný příjem aminokyselin může ovlivnit konverzi a přírůstek prasat (Pulkrábek et al. 2005). Ideální protein poskytuje správný poměr aminokyselin, vyjádřený v procentech vzhledem k lyzinu (Southern 2012).

### **3.2.2 Lipidy**

Mezi nejznámější patří tuky. Ty jsou důležité pro organismus, poskytují tepelnou izolaci, ochranu orgánů a jsou součástí buněčných membrán. Také slouží jako zdroj energie a nosiče vitaminů rozpustných v tucích (Pulkrábek et al. 2005). Jedná se o deriváty mastných kyselin a mohou být podobně jako u aminokyselin rozděleny na esenciální a neesenciální a podle počtu dvojných vazeb na nasycené a nenasycené. Neesenciální nasycené mastné kyseliny jsou kyselina laurová, palmitová a stearová. Nenasycené mastné kyseliny zahrnují palmitoolejovou a olejovou kyselinu. Mezi esenciální nenasycené mastné kyseliny patří omega-6 mastné kyseliny, tedy kyselina linolová a arachidonová a omega-3 mastné kyseliny, tedy kyselina linolenová, iekosapentaenová a dokosahexaenová (Zeman et al. 2006). Nedostatek esenciálních mastných kyselin v krmné dávce vede k horší konverzi krmiva. Kyseliny linolová a arachidonová jsou nezbytnou součástí membránových fosfolipidů a tvorby prostaglandinů. Je důležité dodržet jejich zařazení v krmné dávce. Přílišný příjem těchto kyselin však může vést k nadměrnému ukládání podkožního tuku a zhoršení jeho vlastností, což ovlivňuje jatečnou hodnotu prasete (Lin et al. 2012).

Wealleans et al. (2021) uvádějí tuky jako koncentrovaný zdroj energie. Dále také tuky zpomalují průchod tráveniny trávicím traktem a tím napomáhají lepšímu trávení a vstřebávání živin.

### 3.2.3 Sacharidy

Nejznámějším cukrem je glukóza. Sacharidy v krmivech poskytují 60 až 70% energie přijímané prasaty. Dělíme je na monosacharidy a polysacharidy. Prasata jsou schopna ukládat sacharidy ve formě polysacharidu glykogenu. V rostlinné stravě plní podobnou roli škrob, který je hlavním sacharidem obsaženým v krmivech (Knudsen et al. 2022).

### 3.2.4 Vlákna

Pro prasata je přirozené konzumovat převážně rostlinná krmiva s vysokým obsahem vlákniny, která dokážou důkladně rozmělnit svým chrupem. Při příjmu potravy využívají prasata důležitý reflexní děj (žvýkání), který zahrnuje mechanické rozmělnění potravy, proslinění a vylučování prvních trávicích enzymů. Proto je doporučeno prasatům podávat část krmné dávky ve formě krmiva s vyšším obsahem vlákniny, aby bylo umožněno žvýkání (Šapatka & Urban 2006). Bylo prokázáno, že neškrobové polysacharidy mají významný vliv na velikost a vývoj střev u prasat. Studie Jørgensena et al. (2007) ukázala, že prasata krmená stravou s vysokým obsahem vlákniny měla větší slepé a tlusté střevo a vyšší obsah střevní hmoty než prasata s nízkým obsahem vlákniny. To vede ke sníženému přírůstku hmotnosti jatečně upraveného těla. Pro rostoucí prasata se doporučují 4 % vlákniny v krmné dávce, vyšší zastoupení je ekonomicky nevýhodné, jelikož ji prasata nedokážou trávit (Beyon 2014). Vysoké množství vlákniny nejen snižuje stravitelnost krmiva, ale také poskytuje pocit sytosti, snižuje příjem krmiva a tím klesá jatečná výtěžnost. Tento jev je částečně způsoben zvýšenou produkcí bazálního tepla a sníženou stravitelností energie a živin, což je doprovázeno intenzivní mikrobiální degradací v tlustém střevě. Navíc, vysoká hmotnost viscerálních orgánů způsobuje vysoký energetický výdej, což může vést ke sníženému příjmu krmiva, zejména při vysokých teplotách (Ogle 2006). Pro lepší stravitelnost jsou do krmiva přidávány exogenní enzymy, z nichž nejznámější je fytáza.

## 3.3 Vnitřní a vnější faktory

Pro zvýšení efektivity výkrmu jsou třeba zdravá, dobře vyvinutá selata, která bez problému přijímají krmivo. Výkrmnost dále ovlivňují vnější faktory jako výživa, technika krmení, ustájení a teplota prostředí (Lawrence & Fowler 2002).

### Vnitřní

#### 3.3.1 Plemeno

Pro plemena prasat chovaná pro produkci masa jsou typické požadavky na vysokou rychlost růstu, nižší spotřebu krmiva a vysokou jatečnou výtěžnost s vysokým podílem masa a nízkým obsahem tuku (Ingr 2003). V současnosti se častěji, než o plemenech mluví o genotypech, jelikož se využívají hybridní kombinace prasat, které vznikly křížením původních plemen. V České republice je základním a nejrozšířenějším plemenem české bílé ušlechtilé. Toto plemeno je v hybridizačním programu zařazeno jako mateřské. Druhým nejrozšířenějším plemenem je landrase, které se využívá také jako mateřské, ale i otcovské plemeno. Jako otcovská plemena se používají bílé otcovské, pietrain, duroc a hampshire (Šimek

et al. 2002). Cílem hybridizace je maximalizace užitkovosti a produkčních ukazatelů. Plemenná příslušnost je úzce spojena s užitkovostí a šlechtitelskými intervencemi, užitkovost lze zvyšovat (Ingr 2003). Při chovu prasat je klíčové zajistit nejlepší plemenná zvířata pro konkrétní účely chovu. Při produkci masa je prioritou dosáhnout uniformity, kvality masa, libovosti masitých částí a žádaných vlastností jako je barva, křehkost, struktura a chuť masa (Pražák 2006). Genotyp má zásadní vliv na podíl svaloviny. S rostoucí živou hmotností se podíl svaloviny snižuje, a je třeba vybírat linie prasat, které jsou vyšlechtěny na vyšší podíl libové svaloviny. Zohlednění genetiky je klíčové zejména při výkrmu do vyšších porážkových hmotností, aby se minimalizoval růst tukové tkáně a maximalizoval růst libové svaloviny (Pulkrábek et al. 2005).

### **3.3.2 Pohlaví**

Pohlaví je jedním z faktorů ovlivňujícím složení jatečného těla. Vepřici mají o 2 až 3,5 % nižší podíl svaloviny v porovnání s prasničkami, které při společném výkrmu dosahují vyšší porážkové hmotnosti. Tento rozdíl se dá eliminovat odděleným výkrmem (Pulkrábek et al. 2005). Podle Steinhauera et al. (2000) mají samci vyšší růstovou intenzitu, a to až o 20 %, kanci produkují maso s nižším podílem tuku a až o 15 % efektivněji využívají krmivo. Maso prasniček má tendenci k vyššímu obsahu tuku, který se ukládá dříve než u kastrátů a kanců. Vyšší podíl tuku v mase je spojen s odlišnými chuťovými vjemy. Pohlaví tedy ovlivňuje růstovou schopnost, ekonomiku produkce a složení jatečného těla prasat.

Kernerová et al. (2004) zjistili, že u hybridní kombinace měli vepřici průměrnou porážkovou hmotnost o 1,01 kg vyšší než prasničky. Prasničky měly nižší průměrnou tloušťku sádla o 2,56 mm a vyšší podíl svaloviny o 2,49 %.

### **3.3.3 Fyziologický stav a zdraví**

Bez odpovídajícího zdraví nemohou být naplněny maximální předpoklady užitkovosti. Geneticky nadprůměrná zvířata dosahují při narušeném zdraví pouze průměrné výsledky. S globalizací chovu prasat se pojí významný výskyt infekčních onemocnění zavlečených do chovu novými jedinci. Každé onemocnění může významně ovlivnit produktivitu a ziskovost chovu. Na obranu proti nemoci spotřebovává imunitní systém velké množství energie, což se projevuje na zhoršeném růstu, konverzi krmiva, úbytcích hmotnosti, případně úhynu zvířete (Band'ouchová & Horáková 2006).

Pro efektivní trávení a vstřebávání živin jsou nejdůležitější zdravá střeva. Trávicí, absorpční a ochranné funkce střeva jsou závislé na intaktním a funkčním střevním epitelu. Slouží nejen jako aktivní bariéra k příjmu živin, ale také zabraňuje pronikání škodlivých látek a patogenů do krevního oběhu (Ortega & Szabó 2021).

### **3.3.4 Věk**

Věk a hmotnost jsou zásadními faktory, které ovlivňují produkci libového masa u prasat. Věk prasat úzce koreluje s jejich živou hmotností. S postupným nárůstem živé hmotnosti prasat dochází k přeměně poměru mezi svalovinou a tukem v jejich těle, což má vliv na celkovou hodnotu masa z jatek (Pulkrábek et al. 2005).

## Vnější

### 3.3.5 Výživa

Výživa představuje klíčový faktor ve výkrmu prasat, jelikož ovlivňuje jejich dosaženou produktivitu, kvalitu masa a ekonomiku chovu. Správně vyvážená krmná dávka je nezbytná pro pokrytí potřeb živin rostoucího prasete (Zeman et al. 2006). Kodeš et al. (2001) uvádějí, že prase ve výkrmu věnuje příjmu krmiva pouze 60 minut denně. Množství sušiny krmiva má významný vliv na pocit sytosti prasat. Nedostatek sušiny může vést k pocitu hladu a nepohodlí. I když jsou denní přírůstky u starších prasat významně vyšší, v porovnání s mladšími jedinci jsou relativně menší (Zeman et al. 2006). Rostoucí zvířata produkují teplo v důsledku své záchovy a rostoucího metabolismu. V modelovém přístupu k rozdělení tepla produkovaného aktivním metabolismem a tepelného efektu potravy svědčí o neefektivitě při využívání energie v potravě, zatímco teplo produkované údržbou svědčí o bazální rychlosti metabolismu zvířat (Labussière et al. 2011).

Existuje několik systémů hodnocení energetické hodnoty krmiva, od stravitelné energie po netto energii, které zohledňují různé energetické ztráty zvířat (Baldwin 1995). U netto energie je nutné měřit spotřebu energie potřebnou k využití krmiv pro růst nebo nárůst teploty. Hodnocení energetické hodnoty krmiv a krmných směsí vyžaduje odhad efektivity energetického využití živin zvířaty. U rostoucích zvířat teoretické výpočty zahrnují umělé rozlišování mezi spotřebou energie pro záchovu a pro růst a vyžadují několik předpokladů týkajících se metabolických drah a složení přírůstku tělesné hmotnosti (ukládání bílkovin a lipidů, obrat bílkovin a lipidů, složení mastných kyselin při syntéze lipidů *de novo*). Tyto výpočty navíc nezohledňují energetické náklady spojené s příjmem a trávením krmiva. Alternativně kalorimetrická měření u živých zvířat umožňují odhadnout celkovou účinnost využití energie v potravě pro udržení a růst a zahrnují související náklady na energii (Labussière et al. 2013).

Tempo růstu svaloviny u prasat je klíčově ovlivněno příjmem krmiva. V počáteční fázi, se zvyšujícím se příjmem krmiva, dochází k lineárnímu nárůstu růstu svaloviny až do dosažení určité roviny. Poté, co je tato rovina dosažena, nedochází k dalšímu nárůstu svaloviny a dodaná energie je převáděna na ukládání tuku (Smital & Fiedler 2003). Za optimálních chovatelských a hygienických podmínek je běžně dosahován průměrný denní přírůstek 900 g. Aby byl zajištěn optimální podíl svaloviny, má zvláště zásobením aminokyselinami rostoucí význam (Schneeberg & Nováková 2005). Přírůstek svaloviny vzhledem k příjmu energie prochází akcelerační fází, která trvá přibližně od 15 do 40 kg živé hmotnosti. V této fázi je růst svalové tkáně nejintenzivnější při relativně nízkém příjmu krmiva. Dokonce i malé zvýšení příjmu krmiva může vést k výraznému nárůstu svaloviny a celkové živé hmotnosti. Proto je vhodné v této fázi zvyšovat příjem krmiva, aby byly živiny maximálně efektivně využity pro růst svaloviny (Smital & Fiedler 2003).

Literatura nejčastěji definuje využitelnost krmiv jako přírůstek tělesné hmotnosti na jednotku spotřebovaného krmiva. Někdy je účinnost krmiva vyjádřena spíše na základě energie v potravě než na základě příjmu krmiva (Patience et al. 2015). Energie hraje klíčovou roli při podpoře udržení a růstu tkání. Pochopení energetického metabolismu a růstu je nezbytné pro efektivní využití krmiva (Gutierrez & Patience 2012). Rostoucí prasata obvykle přijímají

dostatek živin pro záchovu a růst. Přesto je v mnoha situacích příjem krmiva narušen sociálními, fyziologickými nebo environmentálními omezeními. Výsledkem je, že denní příjem energie často nedosahuje potřeby k dosažení maximálního přírůstku (Nyachoti et al. 2004). Energetické náklady na ukládání bílkovin v těle jsou asi 10,03 kcal ME/kg, zatímco srovnatelná hodnota pro tuk je 11,65 Mcal ME/kg (Patience 2012). Na tomto základě vyžaduje ukládání tuku o 16 % více energie na jednotku přírůstku. Přírůstky bílkovin jsou však doprovázeny ukládáním vody v libovém přírůstku, a to v poměru asi 4:1, takže skutečná výhoda přírůstku libové hmoty je větší než 4:1 oproti tuku (Whittemore & Kyriazakis 2006).

Maximální potenciál růstu libové hmoty, stejně jako rychlost ukládání tuku, se liší v závislosti na příjmu krmiva mezi genotypy a pohlavím (Noblet et al. 1993). Alvarenga et al. (2012) uvádějí, že vyšší podíl tuku v jatečně upraveném těle je důsledkem zhoršené proliferace svalových vláken, pravděpodobně způsobené vysokým příjmem energie v postnatálním období. Narušená proliferace svalových vláken může snížit potenciál ukládání libové tkáně v pozdějším věku.

Rychlost růstu svalové tkáně se lineárně zvyšuje s příjmem krmiva, ale dosahuje stagnace při dosažení maximálního růstového potenciálu zvířete, avšak genotypy a pohlaví mají vliv na jeho rychlost. Během růstové fáze jsou minimální přírůstky tuku, po dosažení maximální hodnoty se jejich množství zvyšuje (Whittemore 1986). Se zvyšujícím se energetickým příjmem dochází k vyššímu ukládání bílkovin a tuků. Uhlíkaté sloučeniny jako jsou lipidy, sacharidy a proteiny poskytují energii při oxidaci. Tato energie je klíčová pro biosyntézu proteinů, lipidů a kostí, biochemické procesy spojené se záchovou, aktivní transport iontů a mechanickou prací (Patience 2012). Studie Čechové et al. (2010) měla za cíl posoudit účinek konjugované kyseliny linolové a slunečnicového oleje přidávaných do krmné dávky na vlastnosti jatečné hodnoty prasat. Ve studii byly sledovány tři skupiny prasat, přičemž byl nalezen významný rozdíl ( $P < 0,05$ ) v hmotnosti jatečného těla mezi skupinou krmenou slunečnicovým olejem a kontrolní skupinou. Vliv pohlaví na sledované znaky jatečné hodnoty byl významný pouze pro podíl svaloviny.

Prostředí prasete bude mít podstatný vliv na výkonnost. Například pokud teplota klesne pod spodní kritickou teplotu prasat, zvýší se příjem krmiva o 1,5 % na °C a účinnost krmiva se zhorší (NRC 2012). Odhaduje se, že dolní kritická teplota prasat je přibližně 23 až 24 °C při tělesné hmotnosti 25 kg a klesá na přibližně 15 °C při hmotnosti 100 kg (Renaudeau et al. 2012).

Tyto dolní kritické teploty předpokládají, že prasata jsou zdravá, podlaha je suchá a není průvan. Předpokládají také, že stáj je dobře izolovaná. Při průvanu nebo nemoci zvířat, kdy dochází ke sníženému příjmu krmiva nebo nižší teplotě okolí se tato kritická teplota mění (Montila et al. 2014). Záchova představuje významnou část denní energetické potřeby prasete. Jedinec o hmotnosti 70 kg s adlibitním příjmem krmiva spotřebuje 34 % na záchovu organismu, ovšem tento údaj nepracuje s událostmi jako je sociální a tepelný stres (Patience 2012). Záchovné procesy prasat zajišťují přibližně 70 až 72 % celkové produkce tepla při termoneutralitě (Renaudeau et al. 2012). Přímé měření produkce tepla v dýchací komoře u rostoucích zvířat umožňuje vyhodnotit variabilitu mezi zvířaty v souladu s jejich genotypem, fenotypem nebo podmínkami prostředí. Je však třeba vzít v úvahu, že zvířata produkují teplo kvůli různým metabolickým procesům spojeným se záchovou či růstem. Dále je třeba zohlednit

rozdíly ve výdeji energie způsobené různou úrovní fyzické aktivity mezi zvířaty (Labussière et al. 2013).

Účinnost využití energie z potravy závisí na substrátu; tuk a škrob jsou účinnější než bílkoviny a vláknina. Využití diet s vyšším obsahem vlákniny nebo proteinů v teplých letních měsících je tedy kontraindikováno, protože při jejich metabolismu vzniká více tepla. Pokud tělo prasete produkuje nadměrné teplo, reaguje obvykle snížením příjmu krmiva ve snaze snížit produkci tepla a následně snížit metabolické náklady na odvod tepla z těla. Na druhou stranu, pokud je prase ustájeno v chladných podmínkách, může být dieta s vyšším obsahem bílkovin a vlákniny prospěšná díky termickému účinku krmiva. Je zřejmé, že složení krmiva, pokud jde o přírůstek tepla, může přispět ke zlepšení nebo snížení účinnosti krmiva (Montila et al. 2014). Kodeš et al. (2001) upozorňují na nutriční faktory nepříznivě ovlivňující apetit, kterými jsou zastoupení vlákniny nad 8 %, nevyvážená krmná dávka, antinutriční látky, nevhodná úprava krmiva, nízká stravitelnost, přebytek solí a chloridů nebo nedostatek tekutin.

### **3.3.6 Stres**

Selye (1936) definuje stres jako stav, pod který lze zahrnout všechny nespecificky vyvolané změny biologického systému. Je možné jej také definovat jako souhrn všeobecných stereotypních zpětných reakcí organismu na silné dráždivé podněty různého původu. Většinou je zvíře schopno se přizpůsobit změnám prostředí, ať už fyziologicky nebo třeba změnou v chování. Tyto reakce vedou k navrácení uspokojivého stavu či rovnováhy. Pokud jsou životní podmínky příliš náročné a zvíře se jim již nezvládá přizpůsobit, popisujeme to jako stresovou situaci, v chovech špatné welfare. Veselovský (2005) popisuje, že při mírném stresu může dojít ke zvýšené aktivitě sympatiku, který je spojen s nadledvinami. Při podráždění dřevnaté části nadledvin se do krevního oběhu uvolňují hormony adrenalin a noradrenalin, což spouští poplachovou reakci. Zvíře se začne intenzivněji potit, zvyšuje se srdeční tep, prohlubuje dýchání a může vést k načepýření tělního pokryvu. Stresovou reakci popisujeme ve třech fázích – poplachovou, adaptační a vyčerpání. Kodeš et al. (2001) doplňují, že v běžných podmínkách je trávicí trubice prasat osídlena stovkami kmenů střevních mikroorganismů. Stres může vyvolat narušení rovnováhy jednotlivých složek střevní mikroflóry.

### **3.3.7 Technologie chovu**

#### **Osvětlení**

Světlo má stimulační účinek na růst prasat a je důležitým faktorem pro tvorbu růstového hormonu a přeměnu látek. Nedostatek světla může vést k oslabení stěn kostí a disharmonii těla. Pro udržení dobrého stavu welfare je doporučováno osvětlovat prasata alespoň 8 hodin denně intenzitou minimálně 40 luxů (Beynon 2014). Nehasilová (2006) toto tvrzení podporuje a jako komfortnější udává pro prasata přítmí po většinu dne. Pulkrábek et al. (2005) doplňují, že osvětlení má vliv na činnost nervové soustavy a enzymatické reakce. Doporučená délka osvětlení ve výkrmových halách je 3x 1,5 hodiny nebo 4x 1 hodina.

#### **Vlhkost**



Novák et al. (2001) uvádějí jako ideální vlhkost 50 až 70 %. Optimální množství CO<sub>2</sub> 0,3 %, u NH<sub>3</sub> 0,0025 % a u H<sub>2</sub>S - 0,0001 %. Relativní vlhkost má významný vliv na pohodu a zdraví prasat. Ideální relativní vlhkost by neměla klesnout pod 35 %, protože to může vést k vysušování dýchacích cest prasat. Naopak, při vlhkosti nad 85 % může dojít ke kondenzaci páry na stropě stáje. Během vysokých teplot mohou prasata vyhledávat ležení v močůvce či výkalech, aby se zbavila přebytečného tepla. Jedná se o přirozené chování odvozené od válení v bahně. Pokud je ale vysoká vlhkost stáje, mohou pociťovat chlad a vytvářet tak větší tukové zásoby (Kulovaná 2001). Kodeš et al. (2001) upozorňují, že zkrmování vlhkého krmiva může zvýšit vzdušnou vlhkost a přetížít organismus tekutinami a s tím spojené častější močení a vyšší produkce kejdy a stájových plynů. Je tedy důležité zvážit, zda je stáj vybavena dostatečným větráním pro odvod těchto látek. Vysoká relativní vlhkost vzduchu omezuje schopnost zvířat odvádět teplo odpařováním a zvýrazňuje účinek tepelného stresu (Renaudeau 2005).

### **Teplota**

Prasata ve výkrmu tráví 70 % dne odpočinkem. V tepelně neutrálním prostředí leží prasata vedle sebe a vzájemně se dotýkají. Pokud zaznamenáme odstup mezi odpočívajícími jedinci, jsou pravděpodobně vystavena příliš vysokým teplotám. Naopak při těsnějším kontaktu jde o teploty nízké (Velarde & Geers 2007). Horké prostředí má negativní dopady na produkci, reprodukci, metabolismus, zdravotní stav a imunitní odpověď zvířat. Navzdory pokrokům v konstrukci a designu zařízení pro ustájení zvířat a chladicích technologií může být živočišná výroba stále vážně ovlivněna tepelným stresem. Ekonomická zátěž vyvolaná teplem je způsobena kombinací zvýšené úmrtnosti a snížené růstové výkonnosti, využití živin, užitkovosti prasníc a kvality jatečně upraveného těla (St-Pierre et al. 2003). V důsledku toho změna klimatu ohrožuje globální dodavatelský řetězec bílkovin a může snížit konkurenceschopnost odvětví chovu prasat (Godfray et al. 2010). Zvířata vystavená tepelnému stresu snižují příjem krmiva, pravděpodobně ve snaze snížit produkci tepla, a výsledný snížený příjem živin je alespoň částečně zodpovědný za snížení užitkovosti (Quiniou et al. 2000). Prasata ve výkrmu jsou obzvláště citlivá na vysoké teploty kvůli jejich snížené kritické teplotě při odpařování a v této fázi produkce se často vyskytuje vysoká hustota chovu (Spencer et al. 2005).

Poruchy související s teplem jsou způsobeny buď zvýšenou teplotou vnějšího prostředí (klasický tepelný stres) nebo fyzickou námahou (námahový tepelný stres) (Wilkins & Wheeler 2004). Tělesná teplota prasat je odrazem rovnováhy mezi tepelnou zátěží a tepelným odporem. Tepelná zátěž je ovlivněna okolní teplotou, radiací, vlhkostí, rychlostí vzduchu a produkcí tělesného tepla, zatímco tepelný odpor je ovlivněn termoregulačními mechanismy. Produkce tělesného tepla zahrnuje bazální metabolismus, teplo vytvořené fyzickou aktivitou a termogenezi zvýšenou po jídle (van Milgen et al. 1997). V termoneutrálních podmínkách bychom očekával, že tělesná teplota zdravých prasat s podobnou tělesnou hmotností a genetikou bude záviset hlavně na rozdílech ve spotřebě krmiva. Nicméně v podmínkách vysoké okolní teploty bude tělesná teplota těchto prasat záviset jak na úrovni příjmu krmiva, tak na okolní teplotě (Cervantes et al. 2018). Morales et al. (2018) oproti tomu dokazuje, že tělesná teplota během dne kolísá. Postupný pokles během noci následovaný postupným nárůstem během dne, stejně jako okolní teploty, přestože se časy změn teplot liší. Podle Cervantes et al. (2018) a Pearce et al. (2013) je tělesná teplota během odpoledne v průměru

o 1,0 °C vyšší než tělesná teplota během dopoledního krmení. Mezi 2 a 6 hodinou se však tělesná teplota snížila o 0,6 °C, zatímco okolní teplota klesla o 1,6 °C. Tento pokles tělesné teploty naznačuje, že schopnost prasat odvádět teplo se zvyšuje během tohoto časového úseku, kdy klesá i okolní teplota.

Prasata jsou citlivá na změny teploty, zejména ta mladá. I krátkodobé výkyvy teplot mohou způsobit stres a ovlivnit jejich užitkovost a zdraví. Skupina kojících prasnic se selaty je nejnáročnější na udržení optimální teploty prostředí. Pro selata je optimální teplota vyšší než pro prasnice. U výkrmových prasat je důležité udržovat teplotu v termoneutralní zóně, což přispívá k naplnění jejich maximální užitkovosti (Brož & Kic 1996). Podle Steinhausera et al. (2000) prasata ustájená v optimálním teplotním rozmezí vykazují nižší podíl tuku a vyšší podíl svaloviny. Ustájení v chladném prostředí snižuje produkci tuku, ale má vliv i na chuťové vlastnosti masa a ukládání bílkovin. Je důležité vytvořit ustájení, které minimalizuje stres způsobený prostředím, aby se dosáhlo optimálních výsledků výkrmu a kvality produktů.

Moderní chovy prasat umožňují skupinové ustájení a využívají technologické inovace pro automatizaci chovu. Kvalita prostředí ve stáji, včetně teploty, vlhkosti a složení vzduchu, je klíčová pro minimalizaci stresu u prasat a dosažení optimální výkonnosti a kvality produktu. Ventilace je proto zásadní pro udržení optimálních podmínek ve stáji, což zahrnuje regulaci teploty vzduchu, relativní vlhkosti, obsahu plynů ve vzduchu a rychlosti proudění vzduchu (Beynon 2014). Při teplotách nad 28 °C může termoregulace prasat selhat a dochází k přehřívání. Teploty nad 35 °C jsou kritické a mohou vést k hypertermii a kolapsu prasat. Prasata se přirozeně ochlazují bahněním, což je ovšem v intenzivních chovech obtížné zajistit. V těchto situacích je důležité zvýšit proudění vzduchu a zajistit prasatům dostatek vody (Němec 1995). Rovněž je třeba brát v úvahu materiál podlahy ve stáji, protože betonová podlaha odvádí teplo z povrchu prasat a vyžaduje vyšší teplotu vzduchu pro jejich pohodlí, zatímco hluboká podestýlka poskytuje lepší tepelnou izolaci (Škroba & Mareček 1996). Při nízkých teplotách venku může být potřeba minimalizovat ventilaci, což může vést k zvýšení obsahu škodlivých plynů ve vzduchu ve stáji. Rychlost pohybu vzduchu by neměla přesáhnout 0,2 metru za sekundu, aby se minimalizovalo riziko onemocnění dýchacího aparátu prasat (Beynon 2014). Existují různé metody ventilace, včetně přirozené ventilace, která využívá rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou k pohybu vzduchu, a systému nucené ventilace, který využívá ventilátorů k regulaci intenzity ventilace (Škroba & Mareček 1995). Příčné větrání je vhodné pro úzké budovy stáji, zatímco kombinované větrání kombinuje různé metody podle potřeby. Difuzní větrání je vhodné při nižších teplotách, zatímco tunelové větrání je účinné v teplejších dnech (Líkař 2006). Celkově je důležité zvolit správný typ ventilace a správně ji regulovat, aby se zajistilo optimální prostředí pro prasata a minimalizovalo riziko onemocnění či nepohodlí.

## 4 Tepelný stres

Tepelný stres, tedy neschopnost organismu správně odvádět produkovanou tepelnou energii, zůstává vážným zdravotním problémem navzdory pokroku v technologiích a strategiích chlazení (St-Pierre et al. 2003). Negativní účinky tepelného stresu jsou výraznější u zemědělských druhů často vystavených prostředí s omezenými možnostmi ochlazování a za účelem rychlého růstu. S narůstající proměnlivostí klimatu lze očekávat, že budou tyto problémy častější a intenzivnější, což potenciálně ohrožuje zdraví a blaho zvířat (Montila et al.

2014). Tepelný stres tedy představuje závažný problém pro efektivitu chovu prasat, zejména v letních měsících. Může způsobit snížení reprodukčního výkonu v chovných skupinách a zpomalit růst prasat ve výkrmu (Liu et al. 2022). S ohledem na fakt, že produkce vepřového masa probíhá téměř po celém světě, jsou tak prasata vystavována různým teplotám, které často překračují jejich termoneutrální zónu. Podle některých zdrojů je následná ekonomická ztráta v řádech desítek milionů USD ročně (Kerr et al. 2003). Podle Renaudeau et al. (2008) je vliv teploty na užitkovost prasat ovlivněn faktory týkajícími se klimatu (míra a délka tepelného stresu, vlhkost, cirkulace vzduchu, fotoperioda), zvířat (pohlaví, plemeno, BW, fyziologické stádium) a managementu (výživa, ustájení). Prasata na vysokou teplotu reagují změnou výživy a fyziologickou adaptací pro udržení homoiotermie. Tento stav nastává, pokud teplota okolního prostředí překročí hodnoty termoneutrální zóny prasat, což jsou teploty, při kterých prasata nemusí vynakládat dodatečné úsilí na udržení své tělesné teploty (Liu et al. 2022). Následkem toho vzniká tepelný stres, který vede ke sníženému příjmu krmiva, nižšímu hmotnostnímu přírůstku a snížení užitkovosti (Kerr et al. 2003). Veselovský (2005) vysvětluje, jak dlouhodobý stres aktivuje produkci hormonů kůry nadledvin, které mobilizují tělesné zásoby, zvyšují štěpení bílkovin, tuků a stimulují produkci glukózy.

Dopady tepelného stresu na prasata jsou komplexní a zahrnují mnoho faktorů. Snaha porozumět těmto dopadům a hledání způsobů, jak je zmírnit, je klíčovým tématem v průmyslu chovu prasat. Kvantifikace těchto dopadů je důležitá, protože pomáhá vytvářet strategie pro zlepšení produkce prasat, a to i za podmínek, kdy je tepelný stres výrazným omezením (Liu et al. 2022). Prasata jsou homoiotermická zvířata, a tak si dokáží udržet relativně konstantní tělesnou teplotu a při určitém vychýlení okolních teplot reagují metabolickými změnami. Při nízkých teplotách dochází ke zvýšení bazálního metabolismu a vyššímu termickému účinku krmiva. Při vysokých teplotách naopak rozptýlí teplo do prostředí, aby nedošlo k přehřátí organismu (Adair & Black 2003). Během tepelného stresu se zvyšuje srdeční frekvence, zrychluje dýchání a periferní průtok krve pro podporu tepelné ztráty a jak již bylo zmíněno, dochází ke snížení příjmu krmiva, aby nedocházelo k produkci tepla (Renaudeau et al. 2010). Tělesná teplota je odvislá od rovnováhy mezi teplotou vnějšího prostředí, metabolickým teplem a schopností jedince teplo odvádět (Cervantes et al. 2018).

Tepelný stres může být problematický po celém světě, ale jeho dopady se mohou lišit v závislosti na regionu, klimatických podmínkách, produkčních systémech a požadavcích trhu. Studie, které se zaměřují na regionální dopady tepelného stresu, jsou cenné, protože poskytují detailní a specifické informace, které lze aplikovat na konkrétní situace v daném regionu (Liu et al. 2022). Podle Cervantes et al. (2018) může zvýšení tělesné teploty prasat o 2,66 °C vést k vážným zdravotním komplikacím. Dále upozorňují, že u prasat adaptovaných na tepelný stres dochází k nižšímu tepelnému nárůstu po konzumaci krmiva, a tudíž lépe zvládají odvod tepla do prostředí. Morales et al. (2019) ve svém výzkumu předpokládali, že u prasat vystavených podmínkám tepelného stresu může dojít ke snížení jejich schopnosti odvádět dodatečně produkované teplo v důsledku zvýšeného obsahu proteinu v dietě, což má za následek vyšší tělesnou teplotu. Studovali vliv zvýšení obsahu proteinů v dietě na tělesnou teplotu rostoucích prasat vystavených přirozeným podmínkám tepelného stresu a samostatný tepelný účinek krmení na tělesnou teplotu. Výsledky ukazují, že vyšší obsah proteinu v krmivu má jen malý význam na tělesnou teplotu. Přesto má tepelný účinek krmiva vyšší vliv na tělesnou teplotu než teplota prostředí. Pearce et al. (2013) i Le et al. (2020) potvrdili, že akutní tepelný stres může

kromě inhibičního účinku na příjem krmiva narušit funkci střevní bariéry. Zlepšení genetické selekce pro růst a vlastnosti jatečně upraveného těla navíc vede ke zvýšené metabolické produkci tepla, což snižuje schopnost prasat tolerovat teplo. Tepelný stres ohrožuje efektivní produkci vepřového masa, a to částečně snížením příjmu krmiva (Renaudeau et al. 2012). Verstegen et al. (1973) naznačují, že prasata chovaná v horkém prostředí obvykle produkují jatečně upravená těla s vyšším podílem libové hmoty. Snížení obsahu tuku u prasat vystavených tepelnému stresu je spojeno se snížením celkového energetického příjmu v horkém prostředí.

Studie párového krmení u jiných druhů však ukázaly, že pouze polovinu ztráty užitekosti lze vysvětlit samotným snížením příjmu krmiva (Renaudeau et al. 2012). Důvody této další ztráty produktivity jsou mnohostranné, ale zahrnují faktory, jako je narušení výstelky gastrointestinálního traktu. Důvodem je, že hlavním termoregulačním mechanismem ke zvýšení tepelných ztrát do prostředí během hypertermie je přerozdělení průtoku krve z viscerálních orgánů do dýchacích cest a kůže. Výsledný snížený průtok krve GIT je nedostatečný k uspokojení metabolických potřeb a vyvolává oxidační stres a ztrátu epitelu klků, čímž se obnaží lamina propria. To má za následek zvýšenou propustnost pro endotoxiny a zánět (Le et al. 2020).

Rostoucí prasata vystavená okolní teplotě nad 25 °C jsou obvykle považována za tepelně stresovaná, což je patrné ze snížení dobrovolného příjmu potravy, zvýšené frekvence tělesné teploty a zrychleného dýchání (Collin et al. 2001). Quiniou et al. (2001) považují za termoneutrální zónu rostoucích prasat teploty od 23 °C do 25 °C. Federation of Animal Science Societies (2010) zase uvádí jako komfortní teplotu od 15 °C do 25 °C. Vzhledem k tomu, že ve většině oblastí s produkcí vepřového masa jsou vysoké teploty 3 až 4 měsíce, lze předpokládat, že jsou prasata většinu letní sezóny alespoň částečně přizpůsobena podmínkám horkého prostředí (Cervantes et al. 2018). Prasata mají jistou termoregulační schopnost, navíc pokud jsou vystavena vysoké okolní teplotě po dobu 8 a více dní mohou se aklimatizovat na horké prostředí (Renaudeau et al. 2010). Výsledky naznačují, že schopnost odvádět metabolické teplo způsobené krmením, je závislá na tepelné zátěži před a po krmení. Proto, pokud jde o topení během dne, lze očekávat nižší příjem během poledne. Tyto výsledky mohou sloužit k navržení doby krmení prasat vystavených tepelnému stresu. Morales et al. (2019) toto tvrzení podporují výsledky své studie, kde prokázali nižší nárůst tělesné teploty po ranním krmení než po odpoledních, a také navrhují prozkoumat denní dobu pro krmení. Krmení prasat v nejteplejší části dne totiž dále ovlivňuje jejich schopnost odvádět teplo z těla, což může mít vliv na dobrovolný příjem krmiva.

Tepelný stres mění celkovou rychlost metabolismu, ačkoli energetické nároky jednotlivých tělesných tkání se budou lišit v závislosti na rozsahu utrpěného poškození nebo funkci dané tkáně (Ames et al. 1971). Kosterní svalstvo, díky svému příspěvku k tělesné hmotnosti, může dramaticky ovlivnit metabolismus celého těla změnou dynamiky využití živin. Posun metabolické flexibility v kosterním svalstvu nebo změna metabolických produktů exportovaných pro použití v meziorgánových metabolických drahách je základem těchto vlivů (Febbraio 2001).

Snížená rychlost růstu prasat během horkého období je běžným problémem v chovech po celém světě. Podle Lewis a Bunter (2011) je příjem krmiva a rychlost růstu prasat ve výkrmu v létě o 8 % nižší než v chladných obdobích. Globální oteplování a častější vlny veder i v zemích mírného pásma nás nutí k řešení zvládnutí tepelného stresu u výkrmových prasat

a jeho vlivu na přírůstek. Navíc se horní kritická teplota prasat snižuje s jejich přibývajícím věkem a prasata ve výkrmu jsou tedy citlivější než rostoucí jedinci (Renaudeau et al. 2011). Jak upozorňuje Gicquel et al. (2020), je důležité zaměřit se na získávání údajů o plemenech a jejich adaptaci na specifické podmínky prostředí, jelikož jde o genetické zdroje, které představují budoucnost chovu hospodářských zvířat a jejich adaptaci na změny klimatu. Studie jsou koncipovány na vystavení tepelnému stresu přibližně od týdne po dvacet dní, ovšem během letních měsíců je změna teploty nárazově vysoká a trvá i několik měsíců, což má nepříznivý dopad na jejich zdraví a užitkovost (Renaudeau et al. 2008).

Během tepelného stresu dochází ke zvýšení periferního krevního oběhu, aby se podpořila tělesná termolýza. Periferní cévy jsou rozšířeny a dochází k vazokonstrikci v celém splachnickém cévním systému. Tepelný stres vážně ovlivňuje tenké střevo, což je klíčová tkáň, která reguluje proteiny tepelného šoku během tepelného stresu a omezuje přísun kyslíku a živin do gastrointestinálního traktu, což může způsobit vážné poškození střevního epitelu. U prasat se syndromem tepelného stresu je pozorováno snížení výšky střevních klků, spolu s buněčnou proliferací a změnami funkce membrány (Yun et al. 2020).

#### 4.1 Vliv na příjem krmiva

Tepelný efekt potravy zahrnuje teplo produkované během procesů požití, trávení a metabolismu a může záviset na úrovni příjmu potravy (Collin et al. 2001). Morales et al. (2018) uvedli nárůst tělesné teploty u prasat v normálním prostředí po konzumaci krmiva od 0,62 °C do 0,66 °C. Prasata jako homoiotermní zvířata udržují poměrně konstantní tělesnou teplotu, ale při vystavení tepelnému stresu se zvyšuje až o 2 °C (Morales et al. 2019). Pokud tedy přičteme další zvýšení tělesné teploty o 0,66 °C způsobené tepelným efektem potravy, může to vážně ovlivnit jejich zdravotní stav. Předpokládáme, že prasata aklimatizovaná na horké podmínky jsou schopna lépe odvádět tělesné teplo než prasata v normálním prostředí, a proto by nárůst tělesné teploty spojený s tepelným efektem krmiva mohl být menší u prasat v horkém prostředí než u prasat v normálním prostředí. Tyto informace jsou klíčové pro navrhování efektivnějších krmných strategií ke zmírnění negativních účinků vysokých teplot prostředí na prasata (Cervantes et al. 2018).

Expozice prasat vysokým teplotám snižuje jejich dobrovolnou spotřebu krmiva o 20 % až 40 %. Kerr et al. (2003) pozorovali snížení dobrovolného příjmu potravy o 30 % u rostoucích prasat vystavených teplotě 33 °C ve srovnání s prasaty vystavenými teplotě 23 °C. Mnohé výsledky naznačují, že závažné snížení dobrovolného příjmu krmiva prasat v důsledku expozice ještě vyšším teplotám, může ovlivnit nejen snížení přírůstku, ale i účinnost využití krmiva. Wilkins a Wheeler (2004) uvádějí průměrný denní přírůstek u tepelně stresovaných prasat až o 70 % nižší než u termoneutrálních jedinců. Také naznačují, že vliv tepelného stresu na stresovost zvířat se snižuje, pokud jsou krmena pravidelně, alespoň 2x denně, oproti ad libitum konzumaci.

Průměrná doba průchodu stravitelné hmoty žaludkem a tenkým střevem prasat krmených typickou stravou z obilovin a sójových bobů trvá přibližně 5 hodin a během této doby by mělo být krmivo zcela stráveno (Wilfart et al. 2007). Morales et al. (2018) pozorovali postprandiální nárůst tělesné teploty 15 minut po podání krmiva, načež bez ohledu na množství byl tento nárůst konstantní 5 hodin po ranní krmné dávce, ale méně než 2 hodiny po večerní krmné dávce. Tento

nárůst tělesné teploty byl způsoben vzrušením a fyzickou aktivitou prasat (skákání, pohyb po kotci, kvičení vyvolané přítomností osoby odpovědné za krmení) a procesem přijímání krmiva (pohyb těla a žvýkání). Postprandiální zvýšení tělesné teploty prasat v termoneutrálních podmínkách bylo přičítáno téměř výhradně procesu požití-trávení-metabolismu živin.

Snížený příjem krmiva snižuje spotřebu aminokyselin a dalších živin, proto dochází ke snížení růstové užitkovosti tepelně stresovaných zvířat (Kerr et al. 2003). Snížený příjem aminokyselin lze vyrovnat vyšší bílkovinou v krmivu, ovšem teplo produkované během požití-trávení-metabolismu je pro bílkoviny příliš vysoké (Westerterp 2004). Navíc konzumace většího množství bílkovin zvyšuje tepelný účinek krmiva a zvyšuje tedy produkci tepla prasete (Kerr et al. 2003). U prasat tvoří většinu (~ 80 %) lipidů v těle syntéza mastných kyselin de novo, přičemž za hlavní místo syntézy je považována tuková tkáň. FAS, který katalyzuje poslední krok v lipogenní dráze, je klíčovým determinantem pro maximální kapacitu tkáně syntetizovat mastné kyseliny, zatímco HSL je klíčovým enzymem katalyzujícím hydrolyzu uloženého TG v tukové tkáni na FFA a glycerol. NADPH je koenzym nezbytný pro reduktivní biosyntézu mastných kyselin, přičemž u prasat jsou jablečný enzym (ME) a glukóza-6-fosfátdehydrogenáza (G-6-PDH) považovány za hlavní enzymy podílející se na dodávání NADPH (Huang et al. 2006).

Jak bylo řečeno, tepelný stres doprovází zvýšená tělesná teplota, načež prasata dobrovolně snižují příjem krmiva, aby zabránila dalšímu zvyšování tělesné teploty. Lze předpokládat, že snížení příjmu krmiva sníží kromě jiných živin také spotřebu aminokyselin, takže zvýšení obsahu bílkovin v krmivu může pomoci korigovat sníženou spotřebu aminokyselin (van Milgen et al. 1997). Pesta a Samuel (2014) však spekulují, že přebytek bílkovin v krmivu má vysoký termický účinek, a tedy i zvyšuje tělesnou teplotu tepelně stresovaných prasat. Tělesná teplota je ukazatelem rovnováhy mezi produkcí metabolického tepla a tepelnými ztrátami (Labussiére et al. 2022). Tělesná teplota prasat závisí na rovnováze mezi tepelnou zátěží těla a uvolňováním tepla do prostředí. Teplota prostředí a produkce tělesného tepla tvoří většinu tepelné zátěže. Produkce tepla u zdravých zvířat je výsledkem bazálního metabolismu, fyzické aktivity a tepelného účinku krmení (van Milgen et al. 1997). Veškeré teplo produkované nad bazální metabolickou rychlost u zdravých zvířat v klidu pochází z tepelného účinku krmení (Westerterp 2004). Podle Renaudeau et al. (2013) je více jak polovina tepelných ztrát při teplotách kolem 33 °C dýchacími cestami. Při podobné okolní teplotě se očekává, že produkce tělesného tepla zdravými a odpočívajícími prasaty s podobnou tělesnou hmotností a genetikou bude záviset pouze na tepelném účinku krmení, který zahrnuje požití a trávení krmiva, metabolismus přijatých živin a hypoteticky obsah bílkovin a profil aminokyselin v krmivu (Morales et al. 2019). Prasata ve výkrmu jsou náchylná k tepelnému stresu v souvislosti s vysokou bazální metabolickou energií a vysokou mírou ukládání bílkovin (Le Bellego et al. 2002). Nejčastěji se v souvislosti s řešením důsledků teplotního stresu zvažují úpravy a strategie v krmivech, kdy je klíčové snížení produkce tepla a zvýšení specifikací makroživin. Morales et al. (2019) vidí také jako problematický vysoký obsah proteinu v krmivu, protože tepelně stresovaná prasata mohou při jeho příjmu dále zvýšit tělesnou teplotu, což zhorší účinky tepelného stresu. Wolp et al. (2012) uvažovali o nahrazení hrubého proteinu v potravě syntetickými aminokyselinami (lysin, tryptofan a threonin), aby snížili produkci tepla, ale rychlost růstu se přesto v horkých podmínkách nezlepšila. Oproti tomu Morales et al.

(2018) uvádějí, že suplementace syntetických esenciálních aminokyselin zvýšila příjem aminokyselin a rychlost růstu rostoucích prasat v horkých podmínkách.

Důsledkem sníženého příjmu krmiva dochází ke sníženému příjmu energie. Přesto Renaudeau et al. (2013) doporučují zachovat množství přijatých bílkovin a tuků. Zvýšení podílu tuku z 1 % na 8 % při dosažení vyšší energetické hustoty (z 13,6 na 14,9 MJ metabolizovatelné energie/kg; fixní poměr lysinu k metabolizovatelné energii) zlepšilo růstovou rychlost a účinnost krmiva o 8 %, resp. 15 % u chovných prasat v horkých podmínkách. Zároveň mělo tendenci zvyšovat tloušťku hřbetního tuku jatečně upraveného těla o 5 % při fixní hmotnosti jatečně upraveného těla (Liu et al. 2022). Cyklické podmínky tepelného stresu mírně snížily standardizovanou ileální stravitelnost histidinu (92,5 až 90 %) a argininu (92 až 94 %), ale neovlivnily stravitelnost tuků u rostoucích prasat (Kellner et al. 2016).

Zvýšení specifikací makroživin ve stravě ovšem zvyšuje náklady. Efektivita krmiv silně ovlivňuje finanční návratnost, jelikož úzce souvisí s náklady na krmivo. Přesto zlepšení efektivity krmiv může vést k finančním ztrátám chovu, protože jednostranná opatření pro zlepšení účinnosti krmiv mimo jiné zvyšují náklady na krmiva samotná, která ovšem při selekci zvířat na vyšší konverzi krmiv mohou snížit rychlost růstu (Young & Dekkers 2012).

Nejvhodnějším způsobem, jak sledovat změny v příjmu potravy u testovaných prasat jsou elektronická krmítka, která přesně snímají frekvenci a množství příjmu krmiva a ukazují nám tak změny spotřeby krmiva způsobené změnou teploty. Cyklický tepelný stres narušuje cirkadiánní rytmus prasat ve výkrmu. Obecně se autoři shodují, že prasata vystavená tepelnému stresu upřednostňují příjem krmiva v nejchladnějších částech dne. Ovšem během noci nestíhají kompenzovat veškeré ztráty v příjmu krmiva, tudíž dochází k celkovému snížení příjmu (Oliveira et al. 2023). Baumgard a Rhoads (2013) uvádějí, že při cyklickém tepelném stresu dochází ke snížení dobrovolného příjmu krmiva o 7,3 %, u konstantního tepelného stresu kolem 35 °C až o 50 %. Snížením příjmu krmiva dochází ke snížení metabolického tepla, které vzniká během trávicích a metabolických procesů spojených s trávením. Podle Oliveira et al. (2023) dochází během tepelného stresu ke snížení příjmu krmiva o 6,9 %. Dále uvádějí, že tepelný stres má význam na dynamiku příjmu, ale kvantita je spíše ovlivněna světelným režimem. Je proto vhodné hodnotit více faktorů ovlivňujících příjem krmiva.

Pokud mluvíme o cyklickém tepelném stresu, tak během snížení teploty se relativně rychle prasata vrací k chování a příjmu jako jedinci chovaní v termoneutrálním prostředí, ba dokonce příjem krmiva na krátký čas zvyšují nad průměr. Množství přijatého krmiva, doba příjmu a délka žraní se se zvyšující teplotou snižuje, přestože početnost zůstává konstantní (Quiniou et al. 2000). V porovnání s konstantním tepelným stresem dochází u cyklicky stresovaných prasat k nižším ztrátám z důvodu zvyšování dávky krmiva nad průměr zejména v nočních hodinách, kdy dojde ke snížení teploty (Labussière et al. 2022). Pro hodnocení vlivu tepelného stresu je nutné sledovat zvířata o podobné tělesné hmotnosti, podobné genetiky, stejného pohlaví, podmínek prostředí, zařízení, shodným systémem chovu a dietách, ale s rozdílnou okolní teplotou. Zvážíme-li, že během experimentu bude jedinou změnou teplota prostředí, lze předpokládat, že během cyklického stresu zvýší prasata příjem krmiva v chladnější fázi. Tudíž další příjem krmiva v termoneutrálních podmínkách se promítne do celkového zvýšení příjmu krmiva, nesmí se však zapomínat na vliv světelného režimu na velikost přijímaných porcí (Oliveira et al. 2023). Mayorga et al. (2018) proti tomu konstatují, že přestože prasata vykazují adaptační změny chování při krmení, po expozici tepelným stresem

je nutné 2 až 5 dní pro obnovení příjmu krmiva na úroveň shodnou s termoneutralními podmínkami.

Podle literatury dojde při zvýšení teploty z 22 °C na 28 °C ke snížení příjmu krmiva o 410 až 430 g sušiny/den (Labussière et al. 2022). Dále se projeví nepříznivé účinky na užitkovost spojenou se změnami chování při krmení a rozdělení energie. Zkracuje se doba krmení a zvyšuje se rychlost příjmu, čímž se snižuje délka stání zvířat, a tedy i produkce tepla (Quiniou et al. 2001). Santos et al. (2018) proti tomu uvádí při tepelném stresu snížení rychlosti příjmu krmiva o 15 % oproti normálu. Během tepelného stresu se snižuje produkce tepla spojená s využitím živin v závislosti na sníženém příjmu krmiva, ale dochází k jejímu nárůstu následkem lapání po dechu, a tedy zvýšené fyzické aktivity (Quiniou et al. 2001). Navzdory nižší produkci tepla během tepelného stresu, než při termoneutralitě byla v pokusu Renaudeau et al. (2013) teplota kůže během tepelného stresu vyšší, což může naznačovat, že se u prasat vyvinuly fyziologické adaptace jako zvýšený periferní průtok krve, či zvýšená dechová frekvence za účelem zvládnání obtíží s udržením tělesné teploty na konstantní úrovni.

Bez ohledu na okolní teplotu dochází k poklesu příjmu krmiva v počátku světelného dne. Po pár hodinách následuje zvýšený příjem, který se opakuje v podvečer, respektive před koncem světelného dne (Oliveira et al. 2023). Andretta et al. (2016) uvádějí, že prasata přijímají potravu převážně během dne a více jak 70 % krmiva přijmou mezi 6.00 až 18.00. U tepelně stresovaných prasat bylo zaznamenáno dřívější ranní krmení a pozdější prodloužený příjem během noci, tedy delší interval mezi krmeními. K nejvyššímu příjmu dochází během světelného dne, bez ohledu na okolní teplotu, přestože se během tepelného stresu celkový příjem snižuje. Tepelně stresovaná zvířata prokazují nejvyšší příjem krmiva mezi 18.00 až 20.00 hodinou, nižší příjem od 6.00 do 18.00 hodin a průměrné hodnoty v noci od 20.00 do 6.00 hodin. V termoneutralních podmínkách nejsou významné rozdíly v jednotlivých fázích dne (Oliveira et al. 2023).

Jednou z důležitých fyziologických funkcí střevní mikroflóry je její vliv na centrální nervový systém a chování (Kraimi et al. 2019). U lidí a hlodavců bylo prokázáno, že osa střevní mikrobiota – mozek ovlivňuje rovnováhu chuti k jídlu a sytosti (Fetissov 2016). Zejména bakteriální peptidy mohou působit v hypotalamu a regulovat chuť k jídlu. Dlouhodobá regulace by mohla vysvětlit rozdílné chování při krmení u zvířat vystavených tepelnému stresu (Labussière et al. 2022). Při sledování účinků tepelného stresu na složení mikrobioty je třeba vzít v úvahu další vlivy, jako je stárnutí nebo úroveň příjmu krmiva. Vliv omezení krmiva na mikrobiotu střev prasat byl skutečně prokázán De Rodas et al. (2018). Lze tedy předpokládat, že množství krmiva zkonsumovaného při každém jídle je poměrně konstantní charakteristikou individuálního stravovacího chování v závislosti na věku (Quiniou et al. 2000) a podmínkách prostředí (Renaudeau et al. 2013). Výsledky studie Labussière et al. (2022) naznačují souvislost mezi složením mikrobioty v tepelně neutrálním prostředí, energetickou bilancí a příjmem sušiny během tepelného stresu. Zejména jde o souvislost v množství přijaté sušiny a bakterií podílejících se na trávení vlákniny. Zvýšená teplota ovlivňuje stravitelnost živin, pokud jsou teploty termoneutralní a stresové v rozmezí do 8 °C (Renaudeau et al. 2008). Collin et al. (2001) popisují zvýšení koeficientu stravitelnosti sušiny, N a energie v rozmezí mezi teplotami od 1,5 °C do 3,5 °C. V pokusu Renaudeau et al. (2008) se denní přírůstek snížil o 55 g/ °C. To opět potvrzuje přímý vliv zvýšené teploty na příjem krmiva, a tedy i na hmotnostní přírůstek. Od teplot nad 36 °C se ovšem denní přírůstek snižuje neúměrně



sníženému příjmu krmiva a je vyšší. Tyto výsledky jsou v souladu se zvýšením poměru konverze krmiva při 36 °C, tedy že prasata méně efektivně využívají krmivo v růstu. U rostoucích prasat je horní hranice termoneutrální zóny 25 °C a její překročení vede ke snížení průměrného denního příjmu krmiva, což omezuje produkci tepla. Vysoká teplota může změnit rozdělení příjmu energie mezi ukládání bílkovin a lipidů (Le Bellego et al. 2002). Renaudeau et al. (2008) ve svém výzkumu uvedli, že při teplotách od 24 °C do 36 °C poklesl průměrný denní příjem krmiva o 90 g/den na °C a při teplotách od 32 °C do 36 °C 128 g/den na °C. Průměrný denní přírůstek pak poklesl o 50 a 72 g/den. Od 24 °C do 32 °C zůstal účinek krmiva stejný, ovšem od 24 °C do 36 °C se tloušťka hřbetního tuku snížila. Koeficient zdánlivé stravitelnosti sušiny byl ovlivněn teplotou, zatímco stravitelnost N zůstává konstantní bez ohledu na teplotu.

Z výsledků výzkumu Zhao et al. (2018) vyplývá, že příjem krmiva se snižuje již od prvního dne a tím se snižuje průměrný denní přírůstek až o >70 %. Lze totiž předpokládat, že větší část přijaté metabolizovatelné energie jde na zachovu jedince (Renaudeau et al. 2008). Tato studie byla provedena na jednotlivě ustájených jedincích, u skupinového ustájení je reakce na tepelný stres významně odlišná.

#### **4.1.1 Adaptace a změny chování**

Chování během krmení ovlivňuje mnoho faktorů, jako věk, pohlaví, plemeno, tělesná hmotnost, okolní teplota a její kolísání, strava, manipulace. S růstem se přirozeně zrychluje příjem krmiva, v návaznosti na růst jedince a jeho schopnosti přijímat rychleji větší porce (Bus et al. 2021). Podle Oliveira et al. (2023) a Fraga et al. (2022) se při cyklických změnách teplot prasata adaptují na zvýšené teploty a postupně se tedy vyrovnává výchylka v příjmu krmiva během jednotlivých částí dne, také zpomalují příjem, takže se zkracuje interval mezi jednotlivými dávkami. Zvýšený příjem krmiva u tepelně stresovaných prasat po vypnutí světla (v noci) můžeme vysvětlit snahou o vyrovnání denní potřeby krmiva. Vysoké teploty totiž snižují aktivitu zvířat, a tudíž i zpomalují příjem krmiva (Bus et al. 2021). Prasata mají nízký počet potních žláz, je pro ně proto důležitý odvod tepla jinou cestou. Vyrovnání se s tepelným stresem je odvislé od intenzity a délky trvání, každopádně první reakcí na jakýkoliv stres je změna chování zvířete. To je totiž pro organismus méně energeticky náročné, než změna ve fyziologických či metabolických reakcích (Bonneau et al. 2021). Ztráta tepla odpařováním z dýchacích cest je hlavním mechanismem, jakým prasata odvádějí teplo. Když dosáhnou bodu, kdy je ztráta tepla odpařováním maximální, dosáhnou také horní kritické teploty. Za tímto bodem prasata dobrovolně sníží příjem krmiva, aby se snížila jejich produkce tepla. Snížení příjmu krmiva během vysokých teplot je výraznější u prasat ve fázi výkrmu než ve fázi růstu. Tento jev může být způsoben tím, že horní kritická teplota klesá s rostoucí živou hmotností (Hung et al. 2014).

Prasata jsou citlivá na prostředí a světelné události, jako je zapínání a vypínání světel, které může ovlivnit jejich chování, včetně způsobu příjmu potravy. Tyto události mohou modulovat nebo dokonce blokovat cirkadiánní rytmus, což je vnitřní biologický hodinový systém, který řídí spánek, bdění a další biologické procesy (Mrosovsky 2009). Tak jako světelný režim, také okolní teplota ovlivňuje cirkadiánní rytmus prasat. Omezení příjmu kalorií může zvýšit pohybovou aktivitu, změnit chování při příjmu potravy, které ovlivňuje

suprachiasmatická jádra hypotalamu a tím synchronizaci na světelné období (Challet 2010). I přes jistá adaptační opatření, nejsou tepelně stresovaná prasata schopna plně kompenzovat pokles příjmu potravy během fáze stresu. Oliveira et al. (2023) pozorovali ve svém experimentu, že v termoneutrálních podmínkách dochází dvakrát denně k maximálnímu příjmu krmiva, zatímco během tepelného stresu pouze jednou, a to na začátku období tepelného stresu. To může být adaptačním mechanismem na tepelný stres ve snaze snížit produkci tepla, a tedy i množství tepla potřebného odvést do okolí (Quiniou 2001).

Oliveira et al. (2023) pozorovali zvýšený příjem krmiva během tmy u cyklicky teplotně stresovaných jedinců, zatímco u termoneutrálních jedinců nebyly změny v návaznosti na světelný režim žádné. Velikost jídla, délka příjmu krmiva a interval mezi krmivy je pravděpodobně ovlivněn okolní teplotou a obdobím. Tyto proměnné spolu souvisí, jelikož se zvětšující se porcí se současně prodlužuje délka příjmu, jelikož při možnostech ad libitního příjmu je rychlost příjmu relativně konstantní po celý den (Baumung et al. 2006). Bez ohledu na okolní teplotu se s nárůstem hmotnosti zvyšuje příjem krmiva, a tedy i jeho délka, což vede ke snížení intervalu mezi krmivy (Quiniou et al. 2000). Podle konceptu sytosti, pokud je prase po krmení dostatečně syté, je pravděpodobnost brzkého opětovného příjmu krmiva nízká, ale zvyšuje se s přibývajícím časem. Tím lze odůvodnit menší porce, kratší dobu příjmu krmiva a delší interval mezi krmivy u cyklicky tepelně stresovaných prasat během chladnější fáze dne (Oliveira et al. 2023). Při vyšších teplotách si prasata lehají více na bok, aby se ochlazovala o podlahu co největší částí těla a dál od ostatních. Při zpozorování takového chování, je možné určit tepelný stres i bez odběru biologických vzorků. Dá se také předpokládat, že prasata selektovaná na vysokou růstovou užitkovost zvládají tepelný stres hůře, než ti s menším růstovým potenciálem (Renaudeau et al. 2011). Průměrný denní příjem krmiva výrazně klesá během prvních 24 hodin po vystavení vysokým teplotám a poté se stabilizuje, případně zvedá během tepelné aklimatizace. Tělesná teplota má opačný průběh, tedy během prvních 24 hodin stoupá a následně postupně klesá (Renaudeau et al. 2007). Při termoneutrálních podmínkách je rektální teplota 39,4 °C, kožní teplota 37,2 °C, termocirkulační index 6,4 a dechová frekvence 44,5 tepů/minutu. Se stoupající teplotou se tyto hodnoty významně zvyšují, pouze termocirkulační index je do 28 °C konstantní a následně s rostoucí teplotou klesá (Renaudeau et al. 2008). Z těchto údajů je možné soudit dlouhodobou aklimatizaci na tepelnou expozici, která souvisí především se snížením tepla (Renaudeau 2005).

Aby prasata snížila produkci tepla, snižují tedy příjem krmiva a s tím spojenou oxidaci živin. Ke zmírnění důsledků tepelného stresu na příjem krmiva a s tím spojené růstové vlastnosti mohou sloužit dietetické úpravy, které při shodném zadržení energie omezují produkci tepla. Mezi takové patří snížení obsahu bílkovin, zvýšení energetického příjmu přidáním tuku, kdy se vyhneme dalšímu využití AMK nebo TMK pro syntézu ATP (van Milgen et al. 2001). Tato opatření sice dokážou omezit negativní dopad tepelného stresu, ovšem neobnovují růstový výkon na úroveň standardní pro termoneutrální prostředí. Po příjmu krmiva, trávení, vstřebávání a metabolickém využití živin dochází k tzv. termickému efektu krmení, tedy přechodnému zvýšení produkce tepla (Labussière et al. 2022). Brobeck (1948) tento jev nazývá termostatickou teorií, tedy že při takto zvýšené produkci tepla dojde ke zvýšení teploty a posléze k silnému přechodnému negativnímu ovlivnění příjmu krmiva.

Lepší pochopení chování při krmení tepelně stresovaných prasat by mohlo poskytnout klíčové informace pro zlepšení produktivity a pohody zvířat, a to nejen v tropických oblastech,

kde jsou prasata cyklicky vystavena změnám teplot prostředí (Cervantes et al. 2016). Pro možné hodnocení vlivu teploty prostředí a světelného režimu na chování při příjmu krmiva jsou nutná prasata s podobou tělesnou hmotností, genetikou, pohlavím, věkem, chovaná v podobném prostředí a na shodných dietách, ale při rozdílné okolní teplotě.

#### 4.1.2 Metabolické změny

Narušená termoregulace vede k narušení biologických procesů od snížení výkonnosti až po nemoci z horka (Baumgard & Rhoads 2013). Bezprostředním účinkem tepelného stresu je snížený příjem krmiva a zvýšená dechová frekvence, což vede k minimalizaci produkce metabolického tepla a maximalizaci odvodu tepla. Studie prokázaly, že omezení příjmu živin není jedinou příčinou změny metabolismu během tepelného stresu, protože tepelný stres přímo ovlivňuje metabolismus (Elsasser et al. 2009). Renaudeau et al. (2008) zjistili, že tělesná teplota se zvyšuje a následně klesá v průběhu vystavení vysoké okolní teplotě a lze tedy předpokládat možnou aklimatizaci na chthonický tepelný stres.

Mezi důsledky tepelného stresu patří snížený příjem krmiva a odkloněný průtok krve z gastrointestinálního traktu, což vede k poškození jeho integrity (Pearce S 2011). Výsledné „děravé střevo“ („leaky gut“) umožňuje infiltraci endotoxinu do krevního oběhu, aby vyvolalo účinky na různých tkáních, včetně jater a kosterního svalstva (Frost et al. 2002). Tepelný stres má významný vliv na fyziologické reakce prasat, včetně zvýšené respirační frekvence a změn v biochemických parametrech krve. Ovlivňuje acidobazickou rovnováhu a ledviny vykazují aktivitu v kompenzaci respirační alkalózy (Cottrell et al 2020). Zhao et al. (2018) také zaznamenali několik biochemických změn. U tepelně stresovaných prasat bylo pozorováno zvýšení aspartátaminotransferázy v plazmě, což je klinický marker jaterních funkcí u pacientů s úpalem. Lze tedy předpokládat, že tepelný stres může způsobovat dysfunkce jater u prasat. Zvýšené sérové hladiny růstového hormonu a inzulínu podporují růst a metabolickou aktivitu. Růstový hormon má klíčovou roli v regulaci růstu a metabolismu tuků a bílkovin. Zvýšené hladiny somatotropinu mohou zvýšit lipolýzu (rozklad tuků) a zlepšit metabolismus tuků, což může vést k redukci tělesného tuku. Růstový faktor IGF-I, který je produkován v játrech pod vlivem somatotropinu, dále podporuje růst a regeneraci buněk (Huang et al. 2006).

Vyšší náchylnost k onemocněním souvisejícím s teplem je u jedinců s poruchou metabolismu. Například u diabetiků dochází během léta k vyšší úmrtnosti, jelikož snížení úrovně výživy vede ke snížení inzulínu v krvi a k systémové citlivosti na inzulín (Bauman & Currie 1980). Podle Zhao et al. (2018) dochází u tepelně stresovaných prasat k metabolickým změnám jako jsou změny inzulínových profilů, snížená mobilizace lipidů a narušení střevní integrity. Dále pak snižuje oxidaci mastných kyselin v kosterní svalovině a reguluje B – hydroxyacyl-CoA dehydrogenázy a acetyl-CoA karboxylázy. I přes snížený příjem krmiva dochází u tepelně stresovaných zvířat k vyšší produkci inzulínu a inzulínové odpovědi. Zvýšené hladiny inzulínu mohou ovlivnit metabolismus lipidů, jelikož podporují ukládání tuků a inhibují lipolýzu. To může vést ke zvýšené akumulaci tělesného tuku (Huang et al. 2006). U laktujících prasnic byl plazmatický inzulín nižší během vysokých teplot ve srovnání s teplotně neutrálními podmínkami, i když koncentrace glukózy zůstala podobná (Hung et al. 2014). Zvýšené hladiny hormonu triiodothyroninu mohou také indikovat zvýšenou štítnou žlázu a vyšší bazální metabolismus, což může ovlivnit metabolismus lipidů. Zvýšené

hladiny hormonů štítné žlázy, konkrétně volného trijodtyroninu, mohou hrát roli v podpoře lipolýzy, což je proces rozkladu tuků (Huang et al. 2006). Důležité je porozumět, do jaké míry jsou vysoké teploty ovlivněny příjmem krmiva, protože snížený příjem krmiva může vést ke změnám v hladinách metabolitů, jako jsou NEFA (non-esterified fatty acids) a glukóza. Inzulínová rezistence, která se zvyšuje s tloušťkou tuku a rychlostí ukládání tuku u prasat, může také hrát roli v reakci na tepelný stres (Dunshea & Cox 2008).

Inzulín je hormon, který podporuje absorpci glukózy tkáněmi a je považován za anabolický hormon. Glukóza je klíčovým zdrojem uhlíku pro proces lipogeneze. Více než 40 % celkového obrátu glukózy může být využito tukovou tkání pro de novo lipogenezi u prasat o hmotnosti 80 kg. Existují přesvědčivé důkazy naznačující, že hladina cirkulujícího inzulínu může být zvýšena léčbou hormonem uvolňujícím růstový hormon u prasat. Růstový hormon může snížit citlivost na inzulín a inzulínem stimulovanou lipogenezi v tukové tkáni. To vede ke zvýšení koncentrace cirkulujícího inzulínu u prasat a k přeměření glukózy určené pro syntézu lipidů v tukové tkáni do jiných tkání, především do svalů (Huang et al. 2006).

Již po jednom dni ve vysokých teplotách dochází k poškození kosterního svalstva volnými radikály. Zvyšuje se relativní množství proteinů obsahujících malondialdehyd, což je marker peroxidace lipidů, ovšem poté se vrací na úroveň normálních hodnot. Tepelný stres tedy může dočasně zvýšit míru peroxidace lipidů v kosterním svalstvu, ale svalová tkáň je schopna se rychle přizpůsobit a obnovit svou homeostázu. Zvýšení malondialdehydu nebylo zaznamenáno v tukové tkáni, z čehož vyplývá, že různé tkáně reagují odlišně (Montila et al. 2014). Energetický metabolismus a využití substrátu jsou vysoce koordinované meziorgánové procesy s preferovanými živinami specifickými pro jednotlivé tkáně. Vzhledem k velkému podílu kosterního svalstva na tělesné hmotnosti představuje metabolismus substrátu v kosterním svalstvu významnou složku energetické homeostázy celého těla (Issad et al. 1987). Pro rozlišení přímých a nepřímých účinků tepelného stresu na metabolismus kosterního svalstva Zhao et al. (2018) hodnotili metabolismus živin během tepelného stresu nebo sníženého příjmu krmiva. Předpokládali, že tepelný stres může změnit schopnost svalu využít glukózu nebo lipidy a flexibilitu při přepínání mezi jejich využitím. Zvířata s omezeným příjmem krmiva používají volné mastné kyseliny z tukové tkáně k úspoře glukózy pro ukládání do kosterního svalstva (Baumgard & Rhoads 2013). Zhao et al. (2018) ovšem ve své studii zjistili, že tepelně stresovaná prasata mají podobnou rychlost celkové oxidace mastných kyselin jako ta termoneutrálně chovaná. Navíc neúplná oxidace mastných kyselin měla tendenci být u tepelně stresovaných prasat snížena. Prasata s omezeným příjmem krmiva více mobilizují tukovou tkáň, protože mají vyšší koncentraci volných mastných kyselin v plazmě. Pro takto krmená zvířata jsou volné mastné kyseliny převládajícím palivem využívaným kosterním svalstvem (Pearce et al. 2013).

Na základě Randleova cyklu existuje konkurence mezi oxidací mastných kyselin a oxidací glukózy (Randle 1998). Umělé zvýšení oxidace mastných kyselin přidáním FFA snižuje oxidaci glukózy (Kelley & Mandarino 2000). Zdrojem produkce volných radikálů v kosterním svalstvu během tepelného stresu se zdají být mitochondrie. Ztráta homeostázy vápníku ( $\text{Ca}^{2+}$ ) a dysfunkce mitochondrií jsou klíčovými mechanismy, které vedou ke zvýšené produkci reaktivních kyslíkových druhů v buňkách svalové tkáně (Dröse & Brandt 2012). Také Montila et al. (2014) označují za hlavní zdroj volných radikálů mitochondrie. Tepelný stres snižuje mitochondriální metabolickou flexibilitu, z čeho lze usuzovat omezenou schopnost

tepelně stresovaných prasat využívat volné mastné kyseliny (Zhao et al. 2018). U tepelně stresovaných prasat došlo ke snížení úplné oxidace mastných kyselin měřené jako produkce CO<sub>2</sub> a ke snížení neúplné oxidace mastných kyselin měřené jako metabolity rozpustné v kyselině (Zhao et al. 2018). Tepelný stres selektivně způsobuje poškození volnými radikály v oxidativním svalstvu, ale ne v glykolytickém svalstvu, což naznačuje specifické účinky tepelného stresu na různé typy svalových vláken. Tepelný stres může vyvolat rychlé změny v intracelulárním prostředí, což vede k prooxidačnímu stavu a poškození svalových buněk (Montila et al. 2014).

U kosterního svalstva je hypertermie někdy používána jako terapeutická intervence k ochraně svalů před ztrátou v důsledku nečinnosti a k podpoře jejich růstu po atrofii (Goto et al. 2004). Některé studie uvádějí, že terapeutická hypertermie může snížit oxidační poškození svalů, ovšem tyto intervence obvykle trvají krátkou dobu, asi 30 minut (Montila et al. 2014). Tepelný stres způsobený zvýšenou fyzickou aktivitou zvyšuje využití sacharidů na úkor mastných kyselin, ačkoli nemusí nutně souviset s vyšším vstřebáváním glukózy kosterním svalstvem. Během tepelného stresu se snižují koncentrace neesterifikovaných mastných kyselin, a to i za přítomnosti zvýšené hladiny stresových hormonů (adrenalinu, glukagonu, kortizolu), které jsou silnými lipolytickými činiteli (Febbraio 2001). Během fyzické námahy za vysokých teplot se akumuluje svalový laktát, což poukazuje na zvýšenou přeměnu pyruvátu na laktát, namísto úplné oxidace glukózy (Febbraio et al. 1994).

Dlouhodobá expozice nadměrné tepelné zátěži způsobuje tepelný stres, což má naopak negativní dopad na růst svalů. Dlouhodobý tepelný stres totiž zvyšuje produkci reaktivních forem kyslíku v kosterním svalstvu a negativně ovlivňuje růst svalů. Oxidační stres může vést k degradaci proteinů prostřednictvím zvýšené proteolýzy a autofagie a také může zhoršit syntézu bílkovin, jelikož brání translaci (Zhang et al. 2009). Liu et al. (2016) konkrétně zjistili, že oxidační stres snižuje aktivitu glutathionperoxidázy a snižuje poměr glutathionu k oxidovanému glutathionu v tenkém střevě prasat vystavených dvoudennímu cyklickému tepelnému stresu. Studie uvádí nekonzistentní změny zánětlivých biomarkerů ve střevních tkáních u prasat podléhajících HS (Le et al. 2020). Cirkulující endotoxin se zvýšil o 50 % u prasat, která měla zvýšenou střevní propustnost po krátkodobé expozici cyklického tepelného stresu, včetně účinků sníženého příjmu krmiva (Gabler et al. 2018). Je tedy pravděpodobné, že translokace patogenu může vyvolat systémový zánět. Ve svalové tkáni se zánětlivá reakce zdá být časově závislá na délce tepelné expozice. Zvýšené zánětlivé biomarkery byly nalezeny v oxidačním typu prasečího svalu po 4, 6 a 12 hodinách vystavení teplu, ale takový účinek nebyl pozorován po 72 hodinách tepelné expozice (Liu et al. 2022). Není známo, zda svalová zánětlivá reakce souvisí se zvýšeným endotoxinem u prasat vystavených tepelnému stresu. Zánětlivá reakce během krátkodobého tepelného stresu pravděpodobně snižuje energii jinak dostupnou pro růst (Kellner et al. 2016).

Pro shrnutí lze uvést poznatky Liu et al. (2018), tedy že tepelný stres vede k respirační alkalóze a oxidačnímu stresu u prasat. Při zvýšení okolní teploty dochází k redistribuci krve do periferních tkání a zrychlují dýchání pro maximální odvod tepla. Na to navazuje snížený průtok krve splachnickými tkáněmi (GIT, játra, slezina, pankreat) a zvýšená teplota, jejichž následkem dochází k oxidačnímu stresu střev a kosterní svaloviny. Oxidační stres způsobuje nerovnováhu volných radikálů, poškozují lipidy, proteiny a nukleotidy, což má za následek zhoršenou funkci buněk, některých orgánů, či metabolické poruchy. Oproti tomu dochází

následkem hyperventilace ke snížení CO<sub>2</sub> v krvi a s tím spojené alkalóze, která narušuje některé fyziologické a biochemické procesy v těle. Je důležité těmto procesům ideálně zamezit a udržet zvířata zdravá, a tedy i vysokoprodukční. Zpomalené tempo růstu prasat v létě totiž může snížit hmotnost jatečně upravených těl a následně omezit příjmy chovatelů. Pokud například letní podmínky sníží příjem krmiva a rychlost růstu prasat ve výkrmu o 8 %, hmotnost jatečně upraveného těla může klesnout přibližně o 5 kg (Liu et al. 2022).

## 5 Krmné doplňky

Některé mikroživiny mohou zmírnit dopad tepelného stresu na funkci střevní bariéry a zánětlivou reakci. Mohou pomoci lépe vyrovnávat změny v organismu způsobené tepelným stresem a tím i snížit ekonomické ztráty ve výkrmu.

### 5.1 Aminokyseliny

#### 5.1.1 Betain

Snad nejznámějším doplňkem je organický osmolyt betain, který má řadu vlastností působících proti účinkům tepelného stresu. Mezi ně patří vlastnost, kdy betain jako osmolyt snižuje aktivitu membránově vázaných ATPáz, což může přispívat ke snížení bazálního metabolismu a rektálních teplot u tepelně stresovaných zvířat (Artuso-Ponte et al. 2015). Podle Huang et al. (2006), je hlavní fyziologickou úlohou betainu jeho osmoprotektivní schopnost, která chrání buňky před stresovými podmínkami nebo může sloužit jako donor methyly prostřednictvím transmetylase. Tím může částečně snížit potřebu jiných donorů methyly, jako je například methionin nebo cholin, a podílet se na metabolismu bílkovin a lipidů. Dále by jako dárce methyly mohl přispět k široké škále biologických reakcí snižujících oxidační stres a metylační dráhy, zlepšující účinnost v produkci mléka, masa a vajec hospodářských zvířat vystavených tepelnému stresu (Artuso-Ponte et al. 2015). Betain, známý také jako trimethylglycin nebo glycin betain, je netoxický derivát aminokyseliny, který je široce přítomný v přírodě. Jedná se o hydroskopickou látku vznikající oxidací cholinu. Chemicky je betain kvartérní amoniová sloučenina, za neutrálních podmínek v podobě zwitteriontu, což znamená, že má jak kladně, tak záporně nabitý iontový stav. Byl charakterizován jako methylamin díky svým třem chemicky reaktivním methylovým skupinám (Huang et al. 2006).

Použití betainu v komerční výživě prasat vzrostlo od doby, kdy Cadogan et al. (1993) uvedli 14,8% snížení tloušťky hřbetního tuku u prasat krmených stravou doplněnou betainem. Většina studií zaměřených na betain u prasat se dosud soustředila na jeho vliv na růstovou výkonnost, vlastnosti jatečně upraveného těla a kvalitu vepřového masa. Řada zpráv naznačuje, že betain může snížit ukládání tuku v jatečně upraveném těle a zvýšit štíhlost prasat (Yan 2001). Za určitých podmínek může betain snížit obsah tuku v jatečně upraveném těle prasat. Akumulace tuku v tukové tkáni je důsledkem rovnováhy mezi jeho syntézou a degradací (Chilliard 1993). Mnoho studií prokázalo, že zvýšená koncentrace růstového hormonu může stimulovat růst svalů a současně snížit ukládání tuku. Somatotropní osa, která se skládá převážně z růstového hormonu a podobného inzulínového růstového faktoru I, je klíčovou cestou pro kontrolu růstu a metabolismu. Nicméně informace o vlivu betainu na tuto osu jsou omezené (Huang et al. 2006). Yan (2001) uvádí, že suplementací betainem byl zvýšen denní

přírůstek a vlastnosti jatečně upraveného těla byly zlepšeny. Tyto údaje jsou v souladu s výsledky některých studií, které naznačují, že betain může snížit ukládání tuku v jatečně upraveném těle a zvýšit podíl libové hmoty u prasat. Nicméně, jiné zprávy ukazují, že betain neovlivňuje vlastnosti jatečně upraveného těla, a že libové a tukové vlastnosti prasat mohou být ovlivněny u prasat krmených betainem v závislosti na energetické hladině nebo poměru lysinu: kalorií ve stravě (Matthews et al. 1998).

Suplementace betainem a isochinolinovými alkaloidy částečně zlepšila termoregulační reakce na tepelný stres u chovných prasat. To bylo doloženo kombinací snížení RR spolu s nižší tělesnou teplotou. Význam tohoto zjištění spočívá v tom, že prasata postrádají potní žlázy produkující vodu, a proto se spoléhají na "odpařování" během tepelného stresu, aby zvýšila tepelné ztráty do prostředí. Při tomto procesu se zvyšuje průtok krve do horních cest dýchacích a mění se vzorec dýchání tak, že se snižuje dechový objem, ale zvyšuje se frekvence dýchání a průtok krve do horních cest dýchacích. Tím se zvyšuje proudění vzduchu v horních cestách dýchacích, což umožňuje chlazení odpařováním slin (Le et al. 2020). Artuso-Ponte et al. (2015) uvádějí, že isochinolinové alkaloidy rostlinného původu, jako je sanguinarin, snižují stres a vylučování salmonel u přepravovaných prasat. Isochinolinové alkaloidy inhibují buněčné Na/K ATPázy, které jsou důležitými přispěvateli k termogenezi, a proto mohou poskytnout přístup ke zmírnění tepelného stresu. Kromě toho mají isochinolinové alkaloidy antioxidační a protizánětlivé vlastnosti, které mohou působit proti oxidačnímu stresu, zánětu a narušení sliznice GIT převládající během tepelného stresu. Betain (1 g/kg) a isochinolinové alkaloidy (150 mg/kg) doplněné ve stravě zlepšují propustnost tlustého střeva (Le et al. 2020).

### 5.1.2 Arginin

Aminokyselina L-arginin chrání během stresových podmínek funkci slizniční bariéry u prasat. Dietní suplementace 1 % L-arginin částečně zmírňuje intermitentní poškození střevní morfologie a epiteliální bariéry u prasat ve výkrmu způsobené nadměrným teplem. Tato aminokyselina zlepšuje morfologii střeva, migraci střevních buněk, zvyšuje střevní rezistenci a snižuje poškození střev. Dokáže částečně zmírnit atrofii klků a poškození epiteliální bariéry v jejunu prasat během výkrmu podléhajících intermitentnímu teplu (Hongbo et al. 2019). Kikusato a Toyomizu (2013) pozorovali dramatické snížení genů kódujících syntézu transportérů aminokyselin v tenkém střevě prasat vystaveným tepelnému stresu. Tento syndrom transmutuje fyziologii organismu, metabolismus a homeostázu, přičemž zvyšuje teplotu střev. Dále způsobuje sníženou proliferaci střevních buněk a zvýšenou tvorbu reaktivních forem kyslíku. Je zjevné, že některé aminokyseliny, jako je arginin a methionin, přispívají k obnově střevního epitelu a zároveň ničí reaktivní formy kyslíku. Při doplnění krmné dávky o arginin se dále zvýšil průměrný denní přírůstek. Se zvyšující se suplementací argininu roste denní přírůstek. Tepelný stres snižoval střevní výkonnost zvířete pro absorpci živin, což dokazují zmenšené střevní klky u prasat se sníženým příjmem krmiva (Pearce et al. 2014). Tyto výsledky naznačují degradaci využití živin v důsledku vysoké okolní teploty. Když jsou prasata vystavena tepelnému stresu, dochází k přesunu krve do periferních tkání s cílem zvýšit termoregulaci těla (Collin et al. 2001). Tento stav může vést k hypoxii, hypertermii a zánětu v gastrointestinálním traktu, načež vše přispívá k oxidačnímu stresu (Pearce et al. 2013). Arginin hraje důležitou roli v těle zvířat a má různé fyziologické funkce, včetně snížení

uvolňování superoxidu a zvýšení antioxidační schopnosti. Dále se arginin podílí na produkci prolinu, polyaminů, oxidu dusnatého a glutaminu, které mohou napomoci zmírnit oxidační stres, posílit imunitní funkce a regulaci syntézy bílkovin (Yun et al. 2020). Tepelný stres způsobuje nadprodukcí reaktivních forem kyslíku, což může způsobit poškození buněk (Kikusato et al. 2015). Arginin přispívá k obnově střevního epitelu a ničení reaktivních forem kyslíku. Navíc je prekurzorem oxidu dusnatého, který zvyšuje průtok krve a odvod tepla z těla (Ogoh et al. 2013). Vzhledem k tomu, že arginin je syntetizován v několika orgánech, zejména v ledvinách, může se jeho požadavek v době tepelného stresu zvýšit. Dodatečná suplementace argininem může pomoci snížit negativní účinky tepelného stresu, jako je zvýšený oxidační stres. Závěrem lze říci, že expozice prasat tepelnému stresu nemá vliv na stravitelnost aminokyselin, ale dodatečná suplementace argininem může pozitivně ovlivnit výkonnost a účinnost krmiva u prasat vystavených tepelnému stresu (Yun et al. 2020).

## **5.2 Mikroprvky a vitamíny**

### **5.2.1 Vitamin E a selen**

Podle Liu et al. (2018) může krátkodobé podávání vitamínu E zmírnit oxidační stres a alkalózu u prasat jako důsledek tepelného stresu. Jedná se o v tucích rozpustný antioxidant, který neutralizuje volné radikály. Někteří autoři doporučují dávku 11 IU/kg pro rostoucí prasata v termoneutrálních podmínkách. Studie prokázaly, že 14denní supranutriční suplementace 100 IU/kg vitamínu E plus 1,2 ppm selenu zmírňuje oxidační stres, zlepšuje rychlost dýchání a respirační alkalózu u tepelně stresovaných ovcí, z čehož lze usuzovat, že při dvojnásobné dávce dosáhneme stejného účinku u tepelně stresovaných prasat. Tím navazují na předchozí studii Liu et al. (2016), kde supranutriční hladina organického selenu 0,5 ppm a vitamínu E 100 IU/kg úspěšně zmírnila akutní poruchu bariérové funkce tepelného stresu. Selen a vitamín E představují dva běžné antioxidanty ve stravě. Selen tvoří selenoproteiny, jako je glutathionperoxidáza, což je enzym, který katalyzuje redukci peroxidu vodíku na vodu. V tomto procesu se monomerně redukovaný glutathion oxiduje za vzniku glutathiondisulfidu. Vitamin E je antioxidant rozpustný v tucích, který je schopen redukovat volné radikály, zejména lipidové hydroperoxydy. Selen a vitamín E se synergicky podílejí na neutralizaci volných radikálů (Rooke et al. 2004). Vysoká hladina selenu a vitamínu E ve stravě snižuje jak oxidační stres, tak střevní únik. Při tepelném stresu zvyšují prasata rychlost dýchání, aby lépe odváděla teplo. Zrychlený dech způsobuje 20% pokles  $\text{CO}_2$  v krvi, dochází k poklesu kyseliny uhličité, jakožto hnacího faktoru pro zvýšené pH krve. Během tepelného stresu není možné udržet konstantní pH krve, jelikož hyperventilací dochází k respirační alkalóze, jež nelze kompenzovat respirační acidózou. Suplementace vitamínu E sice nezmiňuje oxidační stres u rostoucích tepelně stresovaných prasat, ale dokáže zabránit respirační alkalóze a může tak být vhodným doplňkem v krmné dávce během teplých měsíců (Liu et al. 2018). Suplementace rekombinantní superoxidodismutázou (rSOD, 50 IU/den) nebo kombinací selenu (0,3 ppm) a rSOD (50 IU/den) zmírnila zánět vyvolaný tepelným stresem, což dokazuje nižší koncentrace cirkulujícího adiponektinu, interleukinu-1 $\beta$  a interleukinu-6 (Liu et al. 2022).

V jiném výzkumu bylo zjištěno, že suplementace selenu a vitamínu E ve vysokých dávkách snížila dopad tepelného stresu na integritu střevní bariéry u prasat, což bylo spojeno



s vyčerpáním oxidačního stresu, jak bylo prokázáno poklesem antioxidantních enzymů (Liu et al. 2016). Tato zjištění byla v souladu s dřívější studií Lv et al. (2015), která ukázala schopnost selenu zvýšit antioxidantní kapacitu, což se projevilo zvýšenou aktivitou glutathionperoxidázy v krvi a vyššími koncentracemi hormonů štítné žlázy, což podporuje stabilní a zdravé gastrointestinální prostředí u prasat vystavených tepelnému stresu.

### 5.2.2 Chrom

Chrom je mikroživina, která usnadňuje účinek inzulínu na metabolismus glukózy, lipidů a bílkovin. Jde o esenciální minerál, který byl zařazen do stravy prasat ke zlepšení růstové výkonnosti, citlivosti na inzulín, imunitní odpovědi a vlastností jatečně upraveného těla a ke snížení dopadu tepla nebo jiných stresorů (Hung et al. 2010). Stres způsobený zvýšením hladiny kortizolu v krvi může vést ke zvýšení produkce tepla v játrech a ke zvýšení tepelné zátěže zvířete. Zvířata často reagují na stres snížením příjmu krmiva, což je další mechanismus, který může přispět k nadměrné tepelné zátěži. Snížení hladiny kortizolu může vést ke snížení anorexigenních účinků tohoto hormonu a přispět k lepšímu příjmu potravy u zvířat (Hung et al. 2014).

Hung et al (2014) uvádí studie které prokázaly potenciál chromu snižovat negativní účinky tepelného Zájem o suplementaci chromem během fáze výkrmu prasat je především pro jeho potenciální dopad na zlepšení složení těla a v menší míře pro jakékoli související zlepšení užitkovosti. Jeho vliv na růstovou výkonnost je však nekonzistentní. Metaanalýza provedená Salesem a Jančíkem (2011) uvádí, že chrom v potravě může zvýšit průměrný denní přírůstek a užitkovost krmiva, zatímco na průměrný denní příjem krmiva nemá žádný vliv. Dietní suplementace nCrPic během horkého léta může zvýšit příjem krmiva s následným zlepšením denního přírůstku a porážkové hmotnosti. Vysoké teploty mohou snížit efektivitu a ziskovost v produkci prasat, zvláště během pozdní fáze výkrmu, kdy prasata mají nižší kritickou teplotu odpařování. Lien et al. (2009) uvedli, že nano chrom má 1,66krát větší stravitelnost než normální velikost. stresu u brojlerů a nosnic drůbeže a mléčného skotu.

### 5.2.3 Zinek

Fernandez et al. (2014) udává, že suplementace 200 mg organického zinku může u tepelně stresovaných prasat zlepšit střevní integritu. 60 mg/kg regulovaného organického zinku v potravě s přídavkem 60 mg/kg anorganického zinku zlepšilo integritu střevní bariéry a snížilo hladiny endotoxinu v krvi prasat vystavených 12hodinovému tepelnému stresu, a to zvýšením trans-epiteliálního elektrického odporu ilea. Po podání regulovaného organického zinku měla prasata srovnatelnou výšku klků s prasaty v tepelném komfortu a bez projevů ileální autolýzy. Liu et al. (2020) uvádějí, že kombinace oxidu zinku a hydrolyzovatelných tříslovin zlepšila antioxidantní kapacitu a trávicí enzymy prasat. Organický zinek také ovlivňuje antioxidantní stav prasat a pomáhá udržovat zdravý imunitní systém.

### 5.3 Probiotika

Probiotika mohou ovlivnit absorpční a sekreční aktivity střev. Laktobacily produkují kyselinu mléčnou a proteolytické enzymy, které mohou zlepšit trávení živin v GIT. Mimo jiné mají také antioxidační účinky a zmírňují stres, jelikož některé LAB mohou produkovat antioxidanty, vychytávat volné radikály a tím zmírňovat oxidační stres (Liao & Nyachoti 2017).

Snížený růst během tepelného stresu je způsoben především nižším příjmem krmiva. Labussière et al. (2022) zkoumali účinky suplementace živých kvasinek na potravní chování, energetický metabolismus a složení fekální mikroflóry u výkrmových kanců v termoneutrálních podmínkách a během tepelného stresu. Jejich předpokladem bylo, že živé kvasinky mohou pozitivně ovlivnit složení střevní mikroflóry poškozené tepelným stresem. Tento předpoklad vychází ze studií u dojnic, brojlerů a rostoucích prasat. Živé kvasinky jsou hojně využívány jako probiotika u hospodářských zvířat a mnohé studie dokazují jejich příznivý vliv na zdraví a výkonnost (Markowiak & Śliżewska 2018). Labussière et al. (2022) ve svém pokusu dokázali, že přidání živých kvasinek do krmiva vede ke zvýšení denního přírůstku během tepelného stresu, oproti jedincům na dietě prosté kvasinek. V důsledku doplnění živých kvasinek do diety došlo také k častějšímu krmení než bez. Krmení stravou suplementovanou kvasinkami umožňuje dosáhnout znatelně vyšší úrovně energetického příjmu a ukládání živin díky vysoké schopnosti odvádět teplo. Zlepšená retence energie je při přidavku kvasinek viditelná bez ohledu na tepelný stav. Zvýšený počet krmných dávek na den pomáhá prasatům se lépe vyrovnat s tepelným stresem díky lepšímu energetickému příjmu a okamžité zátěži organismu regulací tělesné teploty.

### 5.4 Kyselina lipoová

Kyselina lipoová, syntetizovaná z kyseliny oktanové mitochondriemi, slouží jako kofaktor pro mitochondriální enzymy provádějící oxidativní dekarboxylaci. Její redukovaná forma, kyselina dihydrolipoová, má schopnost zachycovat reaktivní kyslíkové druhy (ROS) a dusíkaté formy a zároveň zvyšuje vstřebávání glukózy v buňkách působením podobným inzulínu. U drůbeže perorální suplementace kyselinou lipoovou snížila hladinu glukózy v krvi a zvýšila citlivost na inzulín, a zároveň zvýšila hladiny triglyceridů v plazmě a lipolýzu tukové tkáně. Účinnost suplementace kyselinou lipoovou při ovlivňování glukózové homeostáze může záviset na intenzitě a délce expozice teplu. U mladých prasat v termoneutrálních podmínkách suplementace kyselinou lipoovou snížila hladinu glukózy v krvi, což naznačuje, že může zvyšovat účinek inzulínu. U koní bylo zjištěno, že suplementace kyselinou lipoovou snižuje hladiny laktátu v krvi během cvičení a zvyšuje aktivitu citrát syntázy, což naznačuje zvýšení oxidačního metabolismu. Dále bylo pozorováno, že suplementace kyselinou lipoovou snižuje zvýšení hladin aminospartát transferázy a kreatinkinázy v krvi vyvolané cvičením, což naznačuje možnost snížení poškození svalů. Celkově lze tedy říci, že dietní suplementace kyselinou lipoovou nebo dihydrolipoovou může zlepšit tepelnou toleranci a užitkovost zvířat během tepelného stresu tím, že zvyšuje účinek inzulínu.

## 5.5 Thiazolidindiony

Thiazolidindiony jsou léky používané k léčbě cukrovky, které zlepšují citlivost na inzulín. Patří do skupiny syntetických agonistů peroxisomálního receptoru PPAR- $\gamma$ , který je transkripčním faktorem regulujícím geny zapojené do vychytávání glukózy v buňkách. Díky svému účinku na inzulín by mohly být thiazolidindiony užitečné pro zlepšení využití glukózy a zvýšení hladiny proteinů tepelného stresu za podmínek tepelného stresu. Studie naznačují, že thiazolidindiony mohou zlepšit tepelnou toleranci u diabetiků a zvýšit expresi HSP72 v srdečním svalu obézních diabetických potkanů. V normálních podmínkách thiazolidindiony také zlepšují inzulínovou odpověď u dojnic a regulují glukózové a lipidové transportéry a expresi inzulínových receptorů v kosterním svalstvu koní. Pokud thiazolidindiony mohou zvýšit produkci proteinů tepelného stresu a zlepšit využití glukózy, mohla by to být užitečná strategie během tepelného stresu.

## 5.6 Skořice

Cottrell et al. (2020) uvádějí, že skořice také zlepšuje funkci střevní bariéry. Přestože vysoké okolní teploty vedou ke sníženému příjmu krmiva, v tropických oblastech často dochází k nárůstu tukové tkáně u prasat. Jedním z vysvětlení tohoto jevu může být zvýšená citlivost na inzulín. Zlepšená citlivost na inzulín může být součástí adaptivní reakce na tepelný stres prostřednictvím lepšího průtoku periferní krve nebo vyšší exprese proteinu tepelného šoku (Li et al. 2006). Snížená citlivost na inzulín u diabetiků a myši byla spojena s větší náchylností k tepelnému stresu. Nedávné studie ukázaly, že krátkodobé užívání skořice může zlepšit kontrolu hladiny cukru v krvi, včetně pacientů s diabetem 2. typu. Skořice obsahuje molekulu nazývanou skořicový aldehyd, který má inzulínotropní účinky a zvyšuje citlivost na inzulín. Bylo také prokázáno, že přidání skořice do krmiva zvyšuje citlivost na inzulín u chovných prasat, i když jeho účinky v kontextu tepelného stresu dosud nebyly zkoumány. Skořice v krmivu měla pozitivní vliv na integritu střevní bariéry u prasat vystavených tepelnému stresu. To může být způsobeno zvýšenou tloušťkou sliznice nebo zlepšenou funkcí iontových kanálů. Celkově lze říci, že skořice může zlepšit citlivost na inzulín u prasat vystavených tepelnému stresu, aniž by výrazně ovlivnila jejich fyziologické reakce (Cottrell et al 2020).

## 6 Metodika

V pokusech byly sledovány změny produkční užitkovosti u rostoucích vykrmovaných prasat v závislosti na teplotě prostředí. V pravidelných týdenních intervalech byla sledovaná selata vážena. Bylo zjišťováno množství spotřebovaného krmiva pro identifikaci případných změn v příjmu v důsledku reakce na vysoké teploty prostředí. V návaznosti byly dopočítávány klíčové produkční ukazatele jako je průměrný denní přírůstek hmotnosti, či efektivita konverze krmiva. Výzkum pracoval se dvěma skupinami prasat (A a B), které sledoval od 13 kg hmotnosti do porážky, po dobu 14. týdnů. Všechna naskladněná selata byla stejné plemenné příslušnosti, stejného pohlaví a věku. Krmena byla dle hmotnosti klasickými směsmi určenými pro danou kategorii, tedy ČOS 2 (do 20 kg), A1 (do 35 kg), A2 (do 65 kg) a CDP do porážkové hmotnosti. Přisun krmiva probíhal pomocí samokrmítek a automatických krmných boxů, voda ad libitně. Během pokusu A i B byla zvířata vystavena cyklickému střídání teplot, kdy období vyšších teplot střídali optimální teplotní podmínky.

Ve skupině A byla prasata po první 3. týdny v termoneutrálních podmínkách, pro eliminaci stresu ze změny prostředí. Od 4. do 6. týdne včetně, byla vystavena teplotám nad termoneutralní zónu. Následovala týdenní pauza, na kterou navazoval další třítýdenní cyklus vysokých teplot. Poté proběhla pauza dva týdny a celý pokus byl zakončen cyklem vysokých teplot až do ukončení výkrmu (Tabulka 2). Během týdnů s tepelnou zátěží jí byla prasata vystavena vždy během dne v rozmezí 8.00-18.00.

Ve skupině B byla vystavena tepelné zátěži od naskladnění do 7. týdne, a to střídavě týden s topením přes noc (17.00-7.00), týden přes den (8.00-18.00). Po zbytek dne byla zachována standardní teplota a vlhkost stáje (Tabulka 2.). Světelný režim byl po celou dobu přirozený. Od 7. týdne probíhal výkrm v termoneutrálních podmínkách, což poskytlo možné porovnání mezi skupinami a zároveň ukázalo vliv dlouhodobého vystavení vysokým teplotám na následnou užitkovost zvířat

Po celou dobu byla prasata sledována kamerami, pro zaznamenání projevů během jednotlivých fází pokusu a aby byl co nejméně narušován jejich přirozený režim lidským faktorem.

Projekt byl schválen Odbornou komisí pro pokusná zvířata ČZU v Praze pod číslem CZU1/23.

### 6.1 Statistické údaje

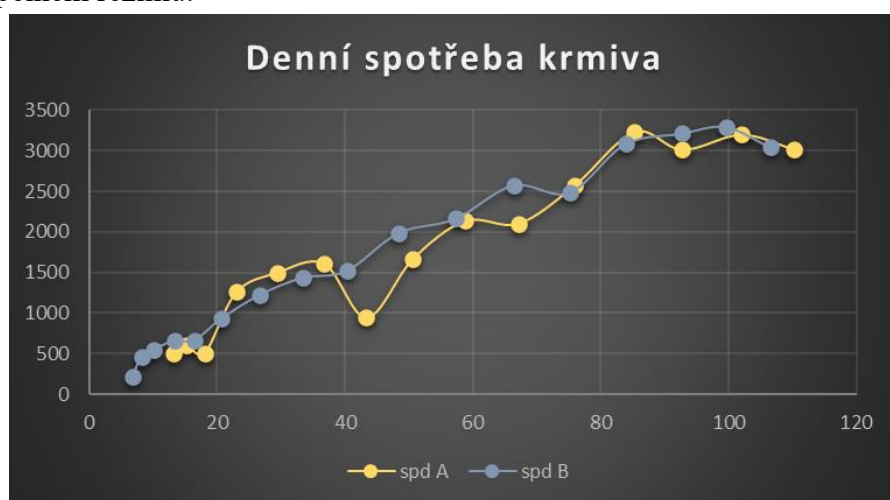
Hmotnost a spotřeba krmiva byla vyhodnocována v průměrných hodnotách. Na základě těchto hodnot byl vypočten průměrný denní přírůstek a konverze krmiva. Všechny hodnoty byly doplněny o směrodatnou odchylku. Dále byla sledována teplota prostředí.

Tyto údaje byly porovnávány a vyhodnocovány mezi sebou a zároveň mezi oběma pokusy.

## 7 Výsledky

### 7.1 Denní spotřeba krmiva v závislosti na změně tepelného režimu

Průměrná denní spotřeba krmiva narůstá spolu s hmotností. Graf 1 ukazuje rozdíly v nárůstu denní spotřeby krmiva mezi skupinou A a B. Výkyvy od lineárního růstu jsou patrné především v době změny režimu topení. U skupiny A (Tabulka 1; Graf 1) je patrný nárůst během prvního cyklu (4. – 6. týden) vysokých teplot, následný markantní pokles během 7. týdne, kdy nebyla prasata vystavena nárůstu teploty. Spotřeba krmiva u skupiny B narůstá plynuleji a na konci výkrmu je o něco vyšší. V této skupině dosáhla prasata vyšší porážkové hmotnosti (Tabulka 2; Graf 1). Tabulky 1 a 2 ukazují průměrné hodnoty spotřeby krmiva za dané období kde je patrné, jak se spotřeba měnila v závislosti na rostoucí hmotnosti a tepelném režimu.



Graf 1: průměrná denní spotřeba krmiva v závislosti na hmotnosti

Tabulka 1: průměrná denní spotřeba krmiva v závislosti na hmotnosti skupina A

týden	TS	hm A	s	spd A	s
1	-	13,1	1,2	501	0,09
2	-	15,2	1,5	598	0,06
3	-	18,0	2,0	505	0,04
4	+	22,9	2,8	1258	0,16
5	+	29,4	3,3	1499	0,10
6	+	36,7	4,2	1610	0,07
7	-	43,3	4,3	944	0,20
8	+	50,6	5,0	1672	0,19
9	+	58,8	5,4	2138	0,21
10	+	67,1	5,2	2104	0,18
11	-	75,8	5,2	2570	0,44
12	-	85,2	6,0	3234	0,23
13	+	92,8	5,6	3015	0,27
14	+	102,0	5,5	3200	0,23

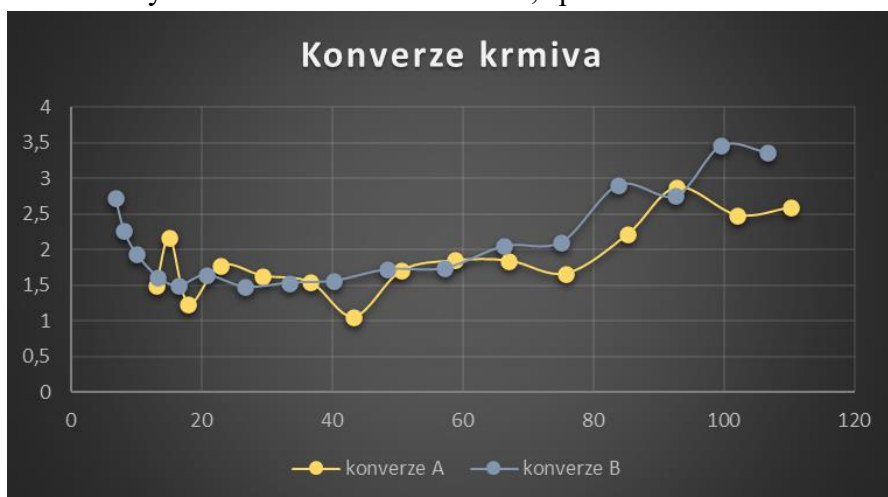
Tabulka 2: průměrná denní spotřeba krmiva v závislosti na hmotnosti skupina B

týden	TS	hm B	s	spd B	s
1	noc	13,3	2,2	662	0,29
2	den	16,5	2,5	665	175,05
3	noc	20,7	3,2	933	258,95
4	den	26,7	4,4	1225	315,11
5	noc	33,4	5,1	1436	230,83
6	den	40,3	6,0	1519	209,31
7	noc	48,4	6,4	1987	252,54
8	-	57,3	7,1	2162	184,59
9	-	66,4	7,4	2576	323,02
10	-	75,2	7,9	2486	197,92
11	-	83,9	8,9	3083	342,97
12	-	92,6	8,3	3213	370,55
13	-	99,6	8,6	3295	383,77
14	-	106,6	8,9	3042	459,76

TS – tepelný stres (+ ano; - ne); hm – hmotnost (kg); spd – spotřeba za den (g); s – směrodatná odchylka

## 7.2 Konverze krmiva v závislosti na změně tepelného režimu

Graf 2 znázorňuje konverzi krmiva, tedy množství spotřebovaného krmiva na 1 kg přírůstku v čase s přibývající hmotností a rozdíly mezi vývojem u skupiny A a B. Můžeme vidět, že skupina A vykazuje větší výkyvy, přesto je konverze na konci výkrmu o 0,88 kg nižší než u skupiny B. Nejlepší konverze byla dosažena během 7. týdne, kdy nebyla prasata vystavena působení vysokých teplot (Tabulka 3; Tabulka 4). Tabulka 3 a 4 ukazují, jak se během týdnů měnila konverze krmiva, spolu s rostoucí hmotností.



Graf 2: konverze krmiva v závislosti na hmotnosti

Tabulka 3: konverze krmiva v závislosti na hmotnosti – skupina A

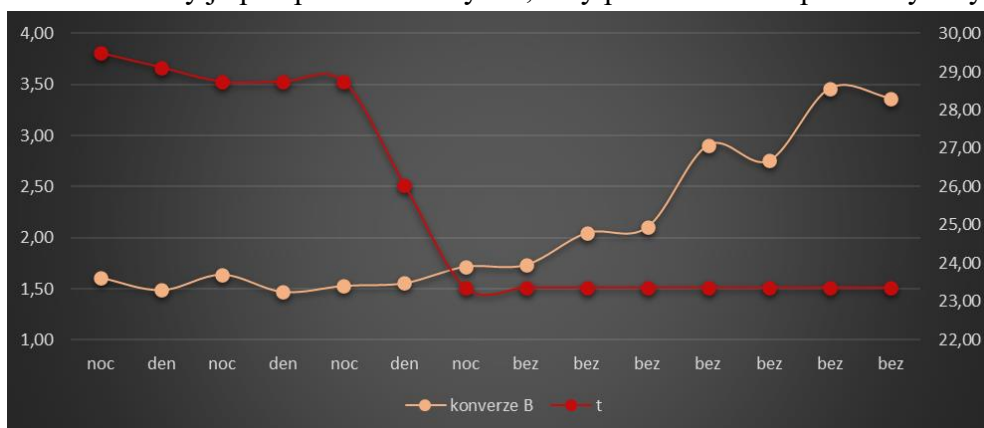
týden	TS	hm A	s	konverze A	s
1	-	13,1	1,2	1,50	0,29
2	-	15,2	1,5	2,16	0,37
3	-	18,0	2,0	1,24	0,09
4	+	22,9	2,8	1,78	0,14
5	+	29,4	3,3	1,63	0,10
6	+	36,7	4,2	1,54	0,01
7	-	43,3	4,3	1,06	0,19
8	+	50,6	5,0	1,70	0,31
9	+	58,8	5,4	1,85	0,17
10	+	67,1	5,2	1,84	0,47
11	-	75,8	5,2	1,66	1,73
12	-	85,2	6,0	2,22	0,38
13	+	92,8	5,6	2,87	0,54
14	+	102,0	5,5	2,48	0,44

Tabulka 4: konverze krmiva v závislosti na hmotnosti – skupina B

týden	TS	hm B	s	konverze B	s
1	noc	13,3	2,2	1,61	0,73
2	den	16,5	2,5	1,49	0,32
3	noc	20,7	3,2	1,64	0,74
4	den	26,7	4,4	1,47	0,42
5	noc	33,4	5,1	1,53	0,26
6	den	40,3	6,0	1,56	0,16
7	noc	48,4	6,4	1,72	0,20
8	-	57,3	7,1	1,74	0,23
9	-	66,4	7,4	2,05	0,44
10	-	75,2	7,9	2,11	0,52
11	-	83,9	8,9	2,91	1,54
12	-	92,6	8,3	2,75	0,82
13	-	99,6	8,6	3,46	0,93
14	-	106,6	8,9	3,36	1,85

TS – tepelný stres (+ ano; - ne); hm – hmotnost (kg); s – směrodatná odchylka

Graf 3 zřetelně ukazuje, že s poklesem teploty k termoneutralní zóně roste konverze krmiva. V návaznosti na prudký pokles teploty prostředí vzroste během dvou týdnů konverze o 0,5 kg a následně dále narůstá. Tabulka 5 ukazuje jasný nárůst konverze krmiva u skupiny B, obzvláště zřetelný je pak po kolem 8. týdne, tedy po ukončení expozice vysokým teplotám.



Graf 3: vliv průměrné denní teploty na průměrnou konverzi krmiva – skupina B

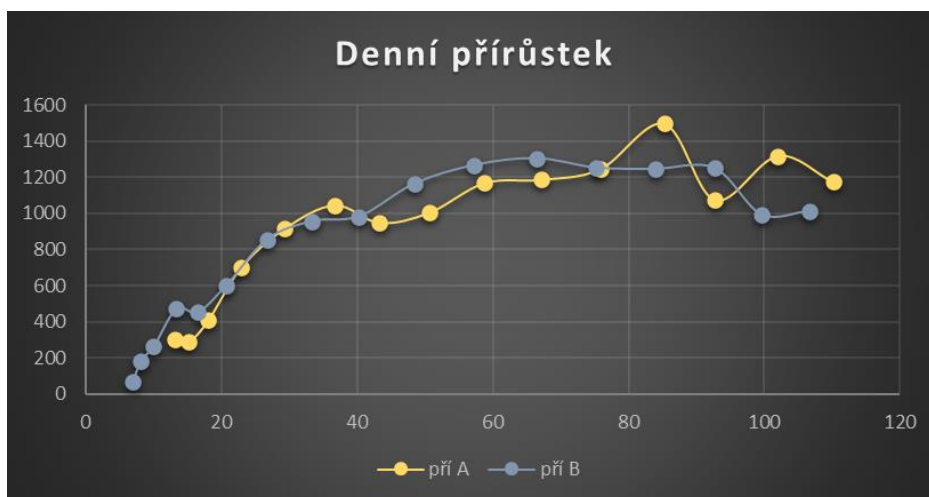
Tabulka 5: vliv teploty na konverzi krmiva – skupina B

týden	TS	konverze	s	t
1	noc	1,61	0,73	30
2	den	1,49	0,32	29
3	noc	1,64	0,74	29
4	den	1,47	0,42	29
5	noc	1,53	0,26	29
6	den	1,56	0,16	26
7	noc	1,72	0,20	23
8	-	1,74	0,23	23
9	-	2,05	0,44	23
10	-	2,11	0,52	23
11	-	2,91	1,54	23
12	-	2,75	0,82	23
13	-	3,46	0,93	23
14	-	3,36	1,85	23

TS – tepelný stres; s – směrodatná odchylka; t – teplota prostředí (°C)

### 7.3 Průměrný denní přírůstek v závislosti na změně tepelného režimu

Graf 4 spolu s Tabulkami 6 a 7 poskytuje informace o průměrném denním přírůstku hmotnosti zvířat u obou skupin (A a B) a ukazuje, jak se přírůstek mění v závislosti na hmotnosti zvířat za různých teplot. Přírůstek skupiny A v 7. týdnu klesá, mezitím co u skupiny B stále konstantně narůstá. Skupina A dosahuje maxima příjmu ve 12. týdnu, skupina B už v 9. týdnu. Obě tyto hodnoty jsou v období mimo tepelnou zátěž. Po 14. týdnech dosahuje skupina A vyšších denních přírůstků, ačkoli porážková hmotnost byla o 4,6 kg nižší, než u skupiny B. Konkrétní hodnoty průměrného denního přírůstku za dané týdny můžeme vidět v Tabulkách 6 a 7.



Graf 4: průměrný denní přírůstek v závislosti na hmotnosti

Tabulka 6: průměrný denní přírůstek v závislosti na hmotnosti – skupina A

týden	TS	hm A	s	pří A	s
1	-	13,1	1,2	303	98
2	-	15,2	1,5	291	126
3	-	18,0	2,0	407	119
4	+	22,9	2,8	704	170
5	+	29,4	3,3	919	124
6	+	36,7	4,2	1046	211
7	-	43,3	4,3	948	208
8	+	50,6	5,0	1005	172
9	+	58,8	5,4	1169	172
10	+	67,1	5,2	1187	222
11	-	75,8	5,2	1245	471
12	-	85,2	6,0	1496	255
13	+	92,8	5,6	1074	163
14	+	102,0	5,5	1318	213

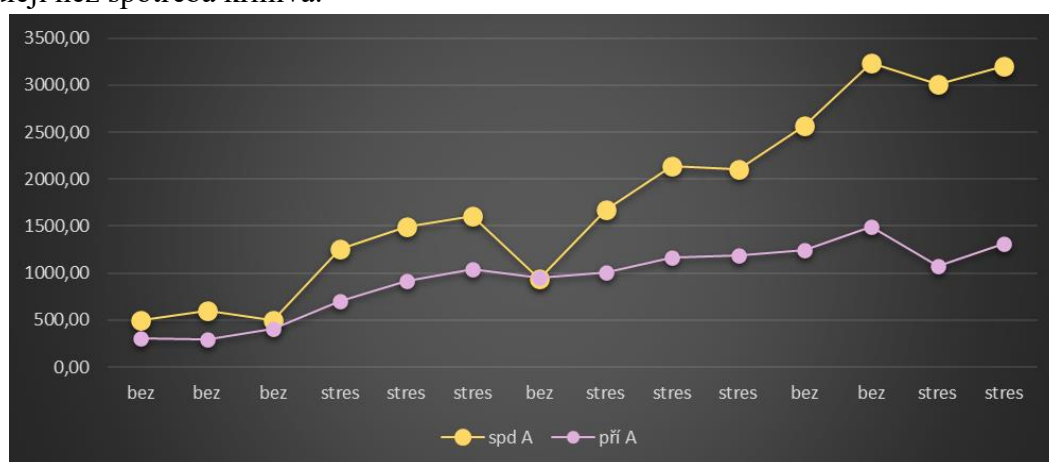
Tabulka 7: průměrný denní přírůstek v závislosti na hmotnosti – skupina B

týden	TS	hm B	s	pří B	s
1	noc	13,3	2,2	471	153
2	den	16,5	2,5	452	107
3	noc	20,7	3,2	603	159
4	den	26,7	4,4	856	225
5	noc	33,4	5,1	956	181
6	den	40,3	6,0	983	158
7	noc	48,4	6,4	1163	146
8	-	57,3	7,1	1266	198
9	-	66,4	7,4	1303	279
10	-	75,2	7,9	1251	332
11	-	83,9	8,9	1244	419
12	-	92,6	8,3	1249	319
13	-	99,6	8,6	993	189
14	-	106,6	8,9	1012	259

TS – tepelný stres (+ ano; - ne); hm – hmotnost (kg); pří – průměrný denní přírůstek (g); s – směrodatná odchylka



Graf 5 zobrazuje vztah mezi průměrnou denní spotřebou krmiva (spd A) a průměrným denním přírůstkem hmotnosti (pří A) pro skupinu A. Je patrné, že v první fázi vystavení vysokým teplotám (4. – 6. týden) došlo k nárůstu průměrné denní spotřeby krmiva, bez vyššího navýšení přírůstku. Během 7. týdne, v termoneutralních podmínkách, došlo k výraznému poklesu průměrné denní spotřeby krmiva, bez snížení přírůstku. Následně denní spotřeba rostla spolu s přírůstkem. Obě hodnoty dosahují maxima 12. týden, tedy v době bez tepelné zátěže. Tabulka 8 pak dokládá konkrétní data a je jasně patrné, že průměrný denní přírůstek roste plynuleji než spotřeba krmiva.



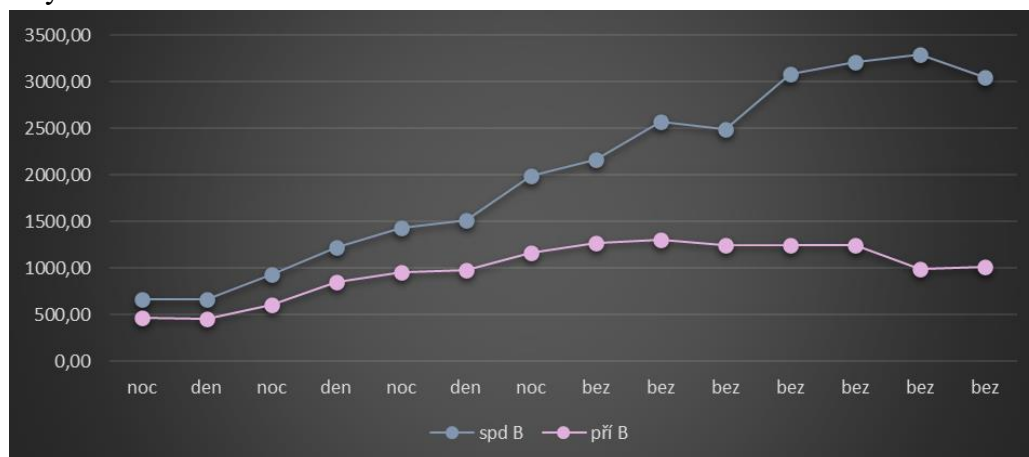
Graf 5: průměrný denní přírůstek v závislosti na spotřebě krmiva – skupina A

Tabulka 8: průměrný denní přírůstek v závislosti na spotřebě krmiva – skupina A

týden	TS	spd A	s	pří A	s
1	-	501	0,09	303	98
2	-	598	0,06	291	126
3	-	505	0,04	407	119
4	+	1258	0,16	704	170
5	+	1499	0,10	919	124
6	+	1610	0,07	1046	211
7	-	944	0,20	948	208
8	+	1672	0,19	1005	172
9	+	2138	0,21	1169	172
10	+	2104	0,18	1187	222
11	-	2570	0,44	1245	471
12	-	3234	0,23	1496	255
13	+	3015	0,27	1074	163
14	+	3200	0,23	1318	213

TS – tepelný stres (+ ano; - ne); spd – průměrná denní spotřeba krmiva (g); pří – průměrný denní přírůstek (g); s – směrodatná odchylka

Graf 6 a Tabulka 9 prezentují vztah mezi průměrnou denní spotřebou krmiva (spd B) a průměrným denním přírůstkem hmotnosti (pří B) u skupiny B. Obě tyto hodnoty společně narůstají do 10. týdne. Poté dochází k poklesu spotřeby krmiva. V Tabulce 9 je jasně patrný maximální denní přírůstek a to v 9. týdnu, kdy následně klesal, s největším poklesem ve 13. týdnu.



Graf 6: průměrný denní přírůstek v závislosti na potřebě krmiva – skupina B  
spd – průměrná denní spotřeba krmiva (g); pří – průměrný denní přírůstek (g)

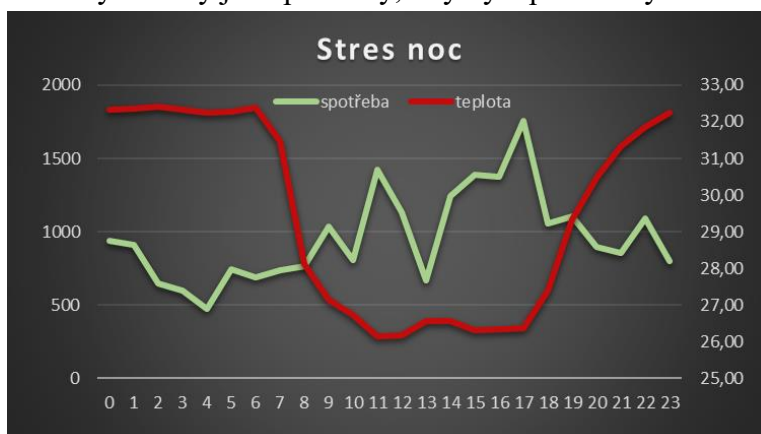
Tabulka 9: průměrný denní přírůstek v závislosti na spotřebě krmiva – skupina B

týden	TS	spd B	s	pří B	s
1	noc	662	0,29	471	153
2	den	665	175,05	452	107
3	noc	933	258,95	603	159
4	den	1225	315,11	856	225
5	noc	1436	230,83	956	181
6	den	1519	209,31	983	158
7	noc	1987	252,54	1163	146
8	-	2162	184,59	1266	198
9	-	2576	323,02	1303	279
10	-	2486	197,92	1251	332
11	-	3083	342,97	1244	419
12	-	3213	370,55	1249	319
13	-	3295	383,77	993	189
14	-	3042	459,76	1012	259

TS – tepelný stres; spd – průměrná denní spotřeba krmiva (g); pří – průměrný denní přírůstek (g);  
s – směrodatná odchylka

## 7.4 Změny příjmu krmiva v závislosti na teplotě

Prasata byla vystavena tepelné zátěži během noci, konkrétně od 17 do 7 hodin. V Grafu 7 vidíme, jak se s poklesem teploty změnila spotřeba krmiva. Během horké noci můžeme zaznamenat vyšší příjem během půlnoci a jedné hodiny ranní. S poklesem teploty roste celková spotřeba krmiva, ačkoli v 10 a 13 hodin je zaznamenán pokles. V 18 a 19 hodin je příjem stále relativně vysoký, ačkoli se teplota prostředí již zvyšuje. Nejvyšší spotřeba byla naměřena v 17 hodin. Celkově je nárůst spotřeby při poklesu teploty rychlejší než pokles příjmu během zvýšení teploty. V Tabulce 10 je zaznamenán průměrný příjem krmiva za hodinu a teplota prostředí. Zvýrazněny jsou pak časy, kdy byla prasata vystavena vysokým teplotám.



Graf 7: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

Tabulka 10: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

čas	Spotřeba (g)	Teplota (°C)
0	936	32
1	914	32
2	644	32
3	602	32
4	476	32
5	742	32
6	686	32
7	741	31
8	763	28
9	1033	27
10	809	27
11	1424	26
12	1132	26
13	670	27
14	1242	27
15	1391	26
16	1374	26
17	1756	27
18	1054	27
19	1103	29
20	895	30
21	854	31
22	1093	32
23	800	32

Graf 8 zobrazuje vývoj příjmu krmiva v závislosti na teplotě u prasat vystavených tepelné zátěži od 8 do 18 hodin. Na první pohled je patrné, že oproti grafu 7 dosáhla takto zatěžovaná prasata dvou vrcholů spotřeby krmiva, konkrétně ve 14 hodin, během vysokých teplot a posléze ve 20 hodin, tedy po poklesu teploty na 26,53 °C. Celkově není nárůst a pokles příjmu tak jednoznačný jako v Grafu 7. Tabulka 11 obsahuje průměrnou spotřebu krmiva za hodinu a teplotu prostředí. Zvýrazněné časy jsou v době expozice vysokým teplotám.



Graf 8: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

Tabulka 11: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

čas	Spotřeba (g)	teplota (°C)
0	564	26
1	1161	26
2	1181	26
3	704	26
4	640	26
5	738	26
6	1221	26
7	943	25
8	1114	26
9	1455	28
10	1247	30
11	796	31
12	1418	32
13	1175	31
14	1887	31
15	880	31
16	497	31
17	1308	31
18	981	30
19	1246	27
20	1838	27
21	1063	26
22	789	26
23	980	26

Graf 9 ukazuje, jak se mění spotřeba krmiva v termoneutrálních podmínkách. Je patrné, že bez tepelné zátěže dosahuje spotřeba vrcholu v 9 hodin a minima ve 4 hodiny. Celkově pak během světelného dne dochází k vyšší spotřebě než během noci. Tabulka 12 ukazuje průměrnou spotřebu krmiva za hodinu a teplotu prostředí.

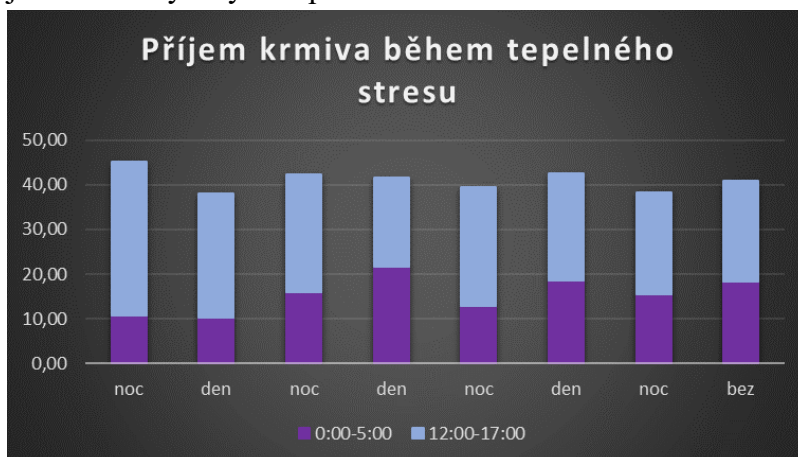


Graf 9: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

Tabulka 12: vliv teploty prostředí na spotřebu krmiva – skupina B

čas	Spotřeba (g)	Teplota (°C)
0	2508	22
1	1727	22
2	1503	21
3	1941	21
4	985	21
5	2015	22
6	1867	21
7	2031	22
8	1854	21
9	2732	21
10	2333	21
11	2088	21
12	1793	21
13	2359	21
14	2356	21
15	2150	21
16	2572	21
17	1723	21
18	1998	21
19	2105	21
20	2072	21
21	2069	21
22	2432	21
23	1582	21

Z Grafu 10 je patrné, že spolu se změnou tepelného režimu, noc/den, dochází ke změně v rozložení krmné dávky. V ranních hodinách (0.00-5.00) dosahoval příjem krmiva nižších hodnot než 22 % celkového denního příjmu, a to bez ohledu na tepelný režim. V odpoledním intervalu (12.00-17.00) se příjem pohyboval od 19 do 35 %, bez ohledu na tepelný režim. V termoneutrálních podmínkách ranní spotřeba představovala 18,3 %, odpolední poté 22,6 %. V Tabulce 13 můžeme porovnat procento příjmu krmiva v daném čase. Zvýrazněné hodnoty ukazují období s vysokými teplotami.



Graf 10: rozložení příjmu krmiva během tepelného stresu – skupina B

Tabulka 13: rozložení příjmu krmiva během tepelného stresu – skupina B

týden	topení	0:00-5:00	12:00-17:00	do 100 %
1	noc	10,8	34,4	54,8
2	den	10,3	27,9	61,9
3	noc	15,9	26,4	57,7
4	den	21,7	19,8	58,4
5	noc	12,9	26,5	60,6
6	den	18,6	24,0	57,4
7	noc	15,5	22,9	61,6
8	bez	18,3	22,6	59,1

Tabulka 14 ukazuje rozdíly v procentuálním příjmu krmiva mezi týdny. I zde jsou zvýrazněné hodnoty z období vysokých teplot. Viditelné rozdíly v procentuálním příjmu krmiva mezi týdny dokazují, že v období mimo tepelný stres se příjem krmiva zvyšoval, oproti období působení tepelného stresu.

Tabulka 14: rozdíl v % příjmu krmiva během tepelného stresu a bez tepelného stresu

týden	teplo	0:00-5:00	12:00-17:00
1	noc	1,8	11,5
2	den	-0,6	-6,6
3	noc	5,7	-1,5
4	den	5,8	-6,6
5	noc	-8,8	6,7
6	den	5,6	-2,5
7	noc	-3,1	-1,2
8	bez	2,8	-0,3

## 8 Diskuze

Zvyšující se teploty na Zemi představují vážný problém nejen v oblasti chovu zvířat. ČHMÚ uvádí, že v České republice došlo ke zvýšení počtu letních dní o 13 a těch tropických o 6. Tento trend nárůstu teploty nás nutí k reakci na vznikající tepelný stres u vysoko produkčních zvířat. Labussière et al. (2022) uvádí snížení příjmu krmiva o 410 až 430 g sušiny/den, při zvýšení teploty z 22 °C na 28 °C. Jiné studie definují snížení příjmu během vysokých teplot o 20 až 40 %. Cervantes et al. (2018) dokonce upozorňují, že navýšení tělesné teploty o 2,66 °C vede k závažným zdravotním komplikacím.

Prasata věnují více jak polovinu dne příjmu krmiva. Množství přijatého krmiva je omezeno velikostí jedince, proto denní příjem krmiva roste s přibývajícím hmotností. Ovšem i působení některých činitelů může ovlivnit velikost porce. Kromě úpravy a způsobu krmení je to stres, technologie ustájení či vysoké teploty. Mayorga et al. (2018) uvádějí 2 až 5 dní po expozici vysokým teplotám pro obnovení příjmu krmiva na původní úroveň. Renaudeau et al. (2010) uvádějí dokonce 8 a více dní. Na druhou stranu při delším působení těchto vlivů jsou prasata schopna jisté adaptace. V grafu 1 můžeme vidět, jak změna teplotního režimu ovlivnila příjem krmiva. Průměrná denní spotřeba krmiva narůstala plynuleji u skupiny B, pravděpodobně proto, že expozice cyklickým vysokým teplotám byla po delší časové období bez přerušení na více jak 12 hodin denně. Přesto ani tato prasata nedosáhla na standardní průměrný příjem krmiva dříve než více jak týden po ukončení cyklických vysokých teplot, jak napovídá tabulka 2. Za standardní příjem považujeme 750 g do 18 kg, 1500 g do 35 kg, 2200 g do 65 kg a 3200 g do ukončení výkrmu.

S příjmem krmiva souvisí průměrný denní přírůstek. Ten se také zvyšuje spolu s hmotností prasat. Schneeberg & Nováková (2005) uvádějí denní přírůstek za vhodných chovatelských podmínek ve výkrmu 900 g. Wilkins a Wheeler (2004) upozorňují na 70 % snížení přírůstků u tepelně stresovaných prasat. Renaudeau et al. (2008) pak definují pokles přírůstku 55 g/1°C. Nad 36 °C ovšem denní přírůstek klesá neúměrně sníženému příjmu krmiva. V našich pokusech však nebyla prasata vystavena takto vysokým teplotám. Do 35 kg očekáváme průměrný denní přírůstek do 450 g, od 35 kg 800 až 900 g. Z grafu 4 je patrné, že i přes tepelnou zátěž dosahovala prasata vyššího průměrného přírůstku, než očekávaných 900 g. Také v tomto případě byl hmotnostní přírůstek plynulejší u skupiny B, což koresponduje s nárůstem průměrné denní spotřeby krmiva. U skupiny B byl dále zaznamenán celkově vyšší přírůstek hmotnosti během pokusu, což souvisí s příjmem krmiva a adaptační schopností prasat, v reakci na dlouhodobější expozici vysokým teplotám. To dokazuje vyšší porážková hmotnost.

Častější výkyvy v nárůstu sledovaných parametrů u skupiny A dokazují, jak důležitý je jistý stereotyp v chovu. Poměrně časté změny mikroklimatu stáje zhoršují přizpůsobivost jedinců, což se odráží právě na spotřebě krmiva a s tím souvisejícím přírůstkem. Toto tvrzení lze podložit Renaudeau et al. (2007), kteří uvádějí, že průměrný denní příjem krmiva výrazně klesá během prvních 24 hodin po vystavení vysokým teplotám a poté se stabilizuje, případně zvedá během tepelné aklimatizace. Pokud tedy častěji měníme teplotu prostředí, získáváme více dní s nižším příjmem krmiva.

Nejen množství krmiva, ale také jeho konverze ovlivňuje hmotnostní přírůstek. Ve výkrmu se pohybuje konverze v průměru od 2 do 2,8 kg/kg. Oproti očekávání v návaznosti na předchozí výsledky, byla konverze krmiva lepší u skupiny A. Jak popisují Collin et al.

(2001), při teplotním výkyvu od 1,5 °C do 3,5 °C oproti ideální teplotě dochází ke zvýšení koeficientu stravitelnosti sušiny, dusíku a energie. Skupina A byla vyšším teplotám vystavena více, což pravděpodobně dopomohlo celkové lepší konverzi (graf 2). Graf 3 ukazuje, že s klesající teplotou u skupiny B vzrůstali hodnoty konverze krmiva. Je tedy k zamyšlení, zda mírné navýšení teplot nemůže za určitých podmínek zlepšit masnou produkci.

Krmný režim prasat je charakteristický dvěma vrcholy příjmu krmiva za den. Oliveira et al. (2023) uvádějí pokles krmiva po rozednění, po pár hodinách následovaný zvýšeným příjmem, který se opakuje podvečer. Pokud na ně však působí vysoké teploty, můžeme pozorovat změny ve velikosti krmné dávky a celkové snížení příjmu. Po dobu vystavení vysokým teplotám během dne lze očekávat nižší příjem přes poledne a večer než ráno, kdy jsou teploty nižší (Morales et al. 2019). V závislosti na změně časového intervalu topení můžeme pozorovat změny v období maximálního příjmu krmiva (graf 7, graf 8, graf 9). V termoneutralních podmínkách je patrný vyšší příjem krmiva oddělený přibližně stejně dlouhou dobou využitou pro odpočinek a trávení. Jednotlivé porce jsou menší, ovšem častější. Jakmile však ovlivníme denní režim tepelnou zátěží, lze pozorovat rozdíly ve velikosti přijímaných dávek. Bus et al. (2021) uvádějí, že zvýšený příjem krmiva je u prasat vystavených vysokým teplotám způsoben snahou vyrovnat denní spotřebu. Bez ohledu na čas působení vysokých teplot jsou stále dodrženy dva krmné vrcholy. Ačkoli prasata upřednostňují příjem krmiva v chladnějším období, přirozený odstup mezi dávkami, způsobený vyhladověním, se nemění, a tak můžeme zaznamenat krmný vrchol i během teplé fáze dne. Obecně se autoři shodují, že prasata vystavená tepelnému stresu upřednostňují příjem krmiva v nejchladnějších částech dne, ale během noci nestíhají plně kompenzovat ztráty, a tak dochází k celkovému poklesu v příjmu krmiva. Oliveira et al. (2023) zdůrazňují mimo vliv teploty prostředí také vliv světelného režimu, jelikož v brzkých ranních hodinách je příjem nižší, bez ohledu na teplotu prostředí, jelikož zvířata povětšinou spí.

Vysoké teploty prostředí tedy ovlivňují příjem krmiva, a to jak velikost jednotlivých porcí, tak i celkovou spotřebu. V důsledku toho dochází k nižším hmotnostním přírůstkům a v souvislosti s tím k nižší porážkové hmotnosti nebo delší době výkrmu, což má obojí negativní dopad na ekonomiku chovu. Ve spojitosti s teplotou je ovlivněna také konverze krmiva, ovšem zda pozitivním či negativním směrem není jednoznačné. Nejvhodnějším řešením se jeví úprava krmné dávky a krmných komponent pro lepší zvládnání vysokých teplot.



## 9 Závěr

Stále se zvyšující teplota prostředí má významný vliv na chov hospodářských zvířat a jejich užitkovost. Pokud mluvíme o produkci vepřového masa, tedy o prasatech, je důležité si uvědomit, jací jedinci se k těmto účelům používají. Vzhledem k ekonomickým a spotřebitelským tlakům jsou šlechtěna plemena na vysokou konverzi krmiva a vysokou růstovou schopnost. Tím se ovšem i zvyšují nároky na pohodu těchto prasat a narážíme na různé problémy. Jedním z nich je horší zvládnutí vysokých teplot během odchovu a výkrmu, jelikož vysoká produkce snižuje komfortní teplotu prasat. Pokud je tato teplota překročena, dostávají se prasata do stresu, na který kromě změn v chování reagují snížením příjmu krmiva. Snížení příjmu krmiva vede k nižším hmotnostním přírůstkům, zhoršené konverzi, a tedy nižší jatečné hmotnosti. Vysoké teploty tedy zvyšují náklady na výkrm a snižují ziskovost chovů. Je proto důležité hledat možná řešení, která pomohou zlepšit jak pohodu vykrmovaných zvířat, tak ekonomickou stránku chovu. Jedním z možných řešení je změna krmné dávky a některé krmné doplňky, jež mohou pomoci prasatům lépe se vyrovnat s vysokými teplotami a jejími důsledky. Dále pak výstavba chladících systémů ve stájích, či změna v přístupu šlechtění prasat na lepší zvládnutí tepelných změn. Je důležité tuto problematiku nepodceňovat, protože teploty podle predikcí porostou i nadále a lze tedy očekávat prohloubení tohoto problému.

## 10 Literatura

- Adair ER, Black DR. 2003. Thermoregulatory responses to RF energy absorption. *Bio Electro Magnetism* **24**:S17-S38.
- Alvarenga ALN, Chiarini-Garcia H, Cardeal PC, Moreira LP, Foxcroft GR, Fontes DO, Almeida FRCL. 2012. Intra-uterine growth retardation affects birthweight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass traits. *Reproduction, Fertility, and Development* **25**:387-395.
- Ames DR, Nellor JE, Adams T. 1971. Energy balance during heat stress in sheep. *Journal of Animal Science* **32**:784–788.
- Andretta I, Pomar C, Kipper M, Hauschild L, Rivest J. 2016. Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies. *Journal of Animal Science* **94**:3042–3050.
- Artuso-Ponte V, Moeller S, Rajala-Schultz P, Medardus JJ, Munyalo J, Lim K, Gebreyes WA. 2015. Supplementation with Quaternary Benzo(c)phenanthridine Alkaloids Decreased Salivary Cortisol and Salmonella Shedding in Pigs After Transportation to the Slaughterhouse. *Foodborne Pathogens and Disease* **12**:891–897.
- Baldwin RL. (1995a). “Animal energetic models,” in *Modeling Ruminant Digestion and Metabolism*. London 118–147.
- Band'ouchová H, Horáková J. 2006. Zdraví ovlivňuje užítkovost prasat. *Náš chov* **66**:100–101.
- Bauman DE, Currie WB. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* **63**:1514–1529.
- Baumgard LH, Rhoads RP Jr. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences* **1**:311–337.
- Baumung R, Lercher G, Willam A, Sölkner J. 2006. Feed intake behaviour of different pig breeds during performance testing on station. *Archives Animal Breeding* **49**:77–88.
- Beynon N. 2014. *Pigs: A guide to management*. The Crowood Press, Ramsbury.
- Bonneau M, Pouillet N, Beramice D, Dantec L, Canario L, Gourdine JL. 2021. Behavior Comparison During Chronic Heat Stress in Large White and Creole Pigs Using Image-Analysis. *Front. Anim. Sci* **2**.
- Brobeck JR. 1948. Food intake as a mechanism of temperature regulation. *Yale Journal of Biology and Medicine* **20**:545–552.
- Brož V, Kic P. 1996. *Technika v dohovu a výkrmu prasat*. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.
- Bus JD, Boumans IJMM, Webb LE, Bokkers EAM. 2021. The potential of feeding patterns to assess generic welfare in growing-finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* **241**:105383.

- Cadogan DJ, Campbell RG, Harrison D, Edwards AC. 1993. The effects of betaine on the growth performance and carcass characteristics of female pigs. *Manipulating Pig Production IV*. Victoria, Australia **219**.
- Cervantes M, Antoine D, Valle JA, Vásquez N, Camacho RL, Bernal H, Morales A. 2018. Effect of feed intake level on the body temperature of pigs exposed to heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology* **76**:1-7.
- Cervantes M, Cota M, Arce N, Castillo G, Avelar E, Espinoza S, Morales, A. 2016. Effect of heat stress on performance and expression of selected amino acid and glucose transporters, HSP90, leptin and ghrelin in growing pigs. *Journal of Thermal Biology* **59**:69–76.
- Collin A, Lebreton F, Fillaut M, Vincent A, Thomas F, Herpin P. 2001. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. *Experimental Physiology* **86**:83-91.
- Collin A, van Milgen J, Dubois S, Noblet J. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pig. *British Journal of Nutrition* **86**:63-70.
- Cottrell JJ, Furness JB, Wijesiriwardana UA, Ringuet M, Liu F, DiGiacomo K, Leury BJ, Clarke IJ, Dunshea FR. 2020. The Effect of Head Stress on Respiratory Alkalosis and Insulin Sensitivity in Cinnamon Supplemented Pigs. *Animals* **10**:690.
- Čechová M, Bečková R, Hadaš Z, Václavková E, Rychetská M. 2010. Effect of CLA and sunflower oil in pig diet on carcass value trans and meat quality. *Research in Pig Breeding* **1**:4.
- De Rodas B, Youmans BP, Danzeisen JL, Tran H, Johnson TJ. 2018. Microbiome profiling of commercial pigs from farrow to finish. *Journal of Animal Science* **96**:1778–1794.
- Dröse S, Brandt U. 2012. Molecular mechanisms of superoxide production by the mitochondrial respiratory chain. *Mitochondrial Oxidative Phosphorylation* **748**:145–169.
- Dunshea FR, Cox ML. 2008. Effect of dietary protein on body composition and insulin resistance using a pig model of the child and adolescent. *Nutrition and Dietetics* **65**:S60–S65.
- Elsasser TH, Rhoads RP, Kahl S, Collier R, Baumgard LH, Li C, Caperna TJ. 2009. Heat stress augments plasma tyrosine-nitrated proteins and lactate-to-pyruvate ratio after repeated endotoxin (LPS) challenge in steers. *Journal of Animal Science* **87**:9–16.
- Febbraio MA, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M, Carey MF. 1994. Effect of heat stress on muscle energy metabolism during exercise. *Journal of Applied Physiology* **77**:2827–2831.
- Febbraio MA. 2001. Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Medicine* **31**:47–59.
- Fernandez MVS, Pearce SC, Gabler NK, Patience JF, Wilson ME, Socha MT, Torrison JL, Rhoads R, Baumgard LH. 2014. Effects of supplemental zinc amino acid complex on gut integrity in heat-stressed growing pigs. *Animals* **8**:43–50.

- Fetissov S. 2016. Role of the gut microbiota in host appetite control: bacterial growth to animal feeding behaviour. *Nature Reviews Endocrinology* **13**:11–25.
- Fraga AZ, Hauschild L, Campos PHRF, Valk M, Bello DZ, Kipper M, Andretta I. 2022. Genetic selection modulates feeding behavior of group-housed pigs exposed to daily cyclic high ambient temperatures. *PLoS ONE* **17**:e0258904.
- Frost RA, Nystrom GJ, Lang CH. 2002. Lipopolysaccharide regulates proinflammatory cytokine expression in mouse myoblasts and skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **283**:R698–R709.
- Gabler NK, Koltes D, Schaumberger S, Murugesan GR, Reisinger N. 2018. Diurnal heat stress reduces pig intestinal integrity and increases endotoxin translocation. *Translational Animal Science* **2**:1-10.
- Gicquel E, Boettcher P, Besbes B, Furre S, Fernandez J, Danchin-Burge C, Berger B, Baumung R, Feijóo JRJ, Leroy G. 2020. Impact of conservation measures on demography and genetic variability of livestock breeds. *Animal* **14**:670–680.
- Godfray HChJ, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Nisbett N, Pretty J, Robinson S, Toulmin C, Whiteley R. 2010. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **365**:2769-2777.
- Goto K, Honda M, Kobayashi T, Uehara K, Kojima A, Akema T, Sugiura T, Yamada S, Ohira Y, Yoshioka T. 2004. Heat stress facilitates the recovery of atrophied soleus muscle in rat. *The Japanese Journal of Physiology* **54**:285–293.
- Gutierrez NA, Patience JF. 2012. The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine. In *Proc AI Leman Conference. Veterinary Continuing Education* **39**:19–26.
- Hongbo Y, Xiong Y, Wu Q, Wang M, Liu S, Jiang Z, Wang L. 2019. Effects of dietary supplementation with L-arginine on the intestinal barrier function in finishing pigs with heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **104**:1134-1143.
- Hrouz J. 2007. *Etologie hospodářských zvířat*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Huang QCh, Xu ZR, Han XY, Li WF. 2006. Changes in hormones, growth factor and lipid metabolism in finishing pigs fed betaine. *Livestock Science* **105**:78-85.
- Hung AT, Leury BJ, Sabin MA, Collins ChL, Dunshea FR. 2014. Dietary nano-chromium tripicolinate increases feed intake and decreases plasma cortisol in finisher gilts during summer. *Tropical Animal Health and Production* **46**:1483-1489.
- Hung TY, Leury BJ, Lien TF, Lu JJ, Dunshea FR. 2010. Potential of nano-chromium to improve body composition and performance of farm animals. *Proceedings of the 14th Asian-Australasian Association for Animal Production* **1**:108-112.
- Challet E. 2010. Interactions between light, mealtime and calorie restriction to control daily timing in mammals. *Journal of Comparative Physiology B* **180**:631–644.

- Chilliard Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents: a review. *Journal of Dairy Science* **76**:3897-3931.
- Ingr I. 2003. Technologie masa. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Issad T, Pénicaud L, Ferré P, Kandé J, Baudon MA, Girard J. 1987. Effects of fasting on tissue glucose utilization in conscious resting rats. Major glucose-sparing effect in working muscles. *Biochemical Journal* **246**:241–244.
- Johnson JS, Cassady J, Wheeler MB, Johnson A. 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. Federation of Animal Science Societies, Champaign.
- Jørgensen H, Zhao XQ, Eggum BO. 2007. The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* **75**:365-378.
- Kelley DE, Mandarino LJ. 2000. Fuel selection in human skeletal muscle in insulin resistance: a reexamination. *Diabetes* **49**:677–683.
- Kellner TA, Baumgard LH, Prusa KJ, Gabler NK, Patience JF. 2016. Does heat stress alter the pig's response to dietary fat?. *Journal of Animal Science* **94**:4688-4703.
- Kernerová N, Matoušek V, Novotný F, Vejčík A. 2004. Analýza výkrmnosti a jatečné hodnoty vybrané hybridní kombinace prasat s ohledem na složení krmné směsi a pohlaví. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice 161–169.
- Kerr BJ, Yen JT, Nienaber JA, Easter RA. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *Journal of Animal Science* **81**:1998-2007.
- Kikusato M, Toyomizu M. 2013. Crucial role of membrane potential in heat stress-induced overproduction of reactive oxygen species in avian skeletal muscle mitochondria. *PLOS ONE* **8**:e64412.
- Kikusato M, Yoshida H, Furukawa K, Toyomizu M. 2015. Effect of heat stress-induced production of mitochondrial reactive oxygen species on NADPH oxidase and heme oxygenase-1 mRNA levels in avian muscle cells. *Journal of Thermal Biology* **52**:8-13.
- Knudsen KEB, Lærke HN, Jørgensen H. 2022. Carbohydrates and Carbohydrate Utilization in Swine. *Sustainable Swine Nutrition* 109-138.
- Kodeš A, Mudřík Z, Hučko B, Kacerovská L. 2001. Základy moderní výživy prasat. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Kraimi N, Dawkins M, Gebhardt-Henrich SG, Velge P, Rychlik I, Volf J, Creach P, Smith A, Colles F, Leterrier Ch. 2019. Influence of the microbiota-gut-brain axis on behavior and welfare in farm animals: a review. *Physiology & Behavior* **210**:112658.

- Kulovaná E. 2001. Z historie chovu prasat. Mechanizaceweb. Available from <https://mechanizaceweb.cz/z-historie-chovu-prasat/> (accessed leden 2024).
- Labussière E, Dubois S, van Milgen J, Noblet J. 2013. Partitioning of heat production in growing pigs as a tool to improve the determination of efficiency of energy utilization. *Frontiers in Physiology* **146**.
- Labussière E, Achard C, Dubois S, Combes S, Castex M, Renaudeau D. 2022. *Saccharomyces cerevisiae* boulardii CNCM I-1079 supplementation in finishing male pigs helps to cope with heat stress through feeding behaviour and gut microbiota modulation. *British Journal of Nutrition* **3**:353-368.
- Labussière E, van Milgen J, de Lange CFM, Noblet J. 2011. Maintenance energy requirements of growing pigs and calves are influenced by feeding level. *The Journal of Nutrition* **141**:1855–1861.
- Lawrence T, Fowler V. 2002. Growth of farm animals. CABI Publishing, Wallingford.
- Le Bellego L, van Milgen J, Noblet J. 2002. Effects of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs. *Animal Science* **75**:85-96.
- Le HH, Shakeri M, Suleria HAR, Zhao W, McQuade RM, Phillips DJ, Vidacs E, Furness JB, Dunshea FR, Artuso-Ponte V, Cottrell JJ. 2020. Betaine and isoquinoline alkaloids protect against heat stress and colonic permeability in growing pigs. *Antioxidants* **9**:1024.
- Lewis C, Bunter K. 2011. Effects of seasonality and ambient temperature on genetic parameters for production and reproductive traits in pigs. *Animal Production Science* **51**:615-626.
- Li G, Ali IS, Currie RW. 2006. Insulin induces myocardial protection and Hsp70 localization to plasma membranes in rat hearts. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology* **291**:H1709–H1721.
- Liao SF, Nyachoti M. 2017. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Animal Nutrition* **3**:331-343.
- Lien TF, Yeh HS, Lu FY, Fu ChM. 2009. Nanoparticles of chromium picolinate enhance chromium digestibility and absorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **89**:1164-1167.
- Líkař K. 2006. Vliv různé úrovně teploty na výsledky chovu prasat. *Moderní technologie – prasata. Náš chov* **66**:80-83.
- Lin X, Azain M, Odle J. 2012. Lipids and Lipid Utilization in Swine. *Sustainable Swine Nutrition* 59-79.
- Liu F, Celi P, Chauhan SS, Cottrell JJ, Leury BJ, Dunshea FR. 2018. A short-term supranutritional vitamin E supplementation alleviated respiratory alkalosis but did not reduce oxidative stress in heat stressed pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **2**:263-269.
- Liu F, Cottrell JJ, Furness JB, Rivera LR, Kelly FW, Wijesiriwardana U, Pustovit RV, Fothergill LJ, Bravo DM, Celi P, Leury BJ, Gabler NK, Dunshea FR. 2016. Selenium and

- vitamin E together improve intestinal epithelial barrier function and alleviate oxidative stress in heat-stressed pigs. *Experimental Physiology* **101**:801-810.
- Liu F, Zhao W, Le HH, Cottrell JJ, Green MP, Leury BJ, Dunshea FR, Bell AW. 2022. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry?. *Animal* **16**:100349.
- Liu H, Hu J, Mahfuz S, Piao X. 2020. Effects of Hydrolysable Tannins as Zinc Oxide Substitutes on Antioxidant Status, Immune Function, Intestinal Morphology, and Digestive Enzyme Activities in Weaned Piglets. *Animals* **10**:757.
- Lv CH, Wang T, Regmi N, Chen X, Huang K, Liao SF. 2015. Effects of dietary supplementation of selenium-enriched probiotics on production performance and intestinal microbiota of weanling piglets raised under high ambient temperature. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **99**:1161–1171.
- Markowiak P, Śliżewska K. 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens* **10**:21–21.
- Martin MA. 2010. First generation biofuels compete. *New Biotechnology* **27**:596–608.
- Matthews JO, Southern LL, Pontif JE, Higbie AD, Binder TD. 1998. Interactive effects of betaine, crude protein, and net energy in finishing pigs. *Journal of Animal Science* **76**:2444-2455.
- Mayorga EJ, Kvidera SK, Horst EA, Al-Qaisi M, Dickson MJ, Seibert JT, Lei S, Keating AF, Ross JW, Rhoads RP, Rambo ZJ, Wilson ME, Baumgard LH. 2018. Effects of zinc amino acid complex on biomarkers of gut integrity and metabolism during and following heat stress or feed restriction in pigs. *Journal of Animal Science* **96**:4173–4185.
- Montila SIR, Johnson TP, Pearce SC, Gardan-Salmon D, Gabler NK, Ross JW, Rhoads RP, Baumgard LH, Lonergan SM, Selsby JT. 2014. Heat stress causes oxidative stress but not inflammatory signaling in porcine skeletal muscle. *Temperature* **1**:42-50.
- Morales A, Chávez M, Vásquez N, Htoo JK, Buenabad L, Espinoza S, Cervantes M. 2018. Increased dietary protein or free amino acids supply for heat stress pigs: effect on performance and carcass traits. *Journal of Animal Science* **96**:1419-1429.
- Morales A, Ibarra N, Chávez M, Gómez T, Suárez A, Valle JA, Camacho RL, Cervantes M. 2018. Effect of feed intake level and dietary protein content on the body temperature of pigs housed under thermo neutral conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **102**:e718-e725.
- Morales A, Valle JA, Castillo G, Antoine D, Avelar E, Camacho RL, Buenabad L, Cervantes M. 2019. The dietary protein content slightly affects the body temperature of growing pigs exposed to heat stress. *Translational Animal Science* **4**:1326-1334.
- Mrosovsky N. 2009. Masking: History, definitions, and measurement. *Chronobiology International* **16**:415–429.
- Nehasilová D. 2006. Intenzita osvětlení ve stájích pro prasata. *Agris*. Available from [http://www.agris.cz/zemedelstvi?id\\_a=150293](http://www.agris.cz/zemedelstvi?id_a=150293) (accessed leden 2024).

- Noblet J, Fortune H, Dupire C, Dubois S. 1993. Digestible, metabolisable and net energy values of 13 feedstuffs for growing pigs: effect of energy system. *Animal Feed Science and Technology* **42**:131–49.
- Novák P, Odehnal J, Zabloudil F, Šoch M. 2001. Vliv klimatických extrémů na produkci hospodářských zvířat. Bioklimatologické pracovní dny 2001 "Extrémy prostředí – limitující faktory bioklimatických procesů". Račková dolina.
- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. The National Academies Press, Washington, D.C. 10th ed. Washington, DC.
- Nyachoti CM, Zijlstra RT, de Lange CFM, Patience JF. 2004. Voluntary feed intake in swine: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Canadian Journal of Animal Science* **84**:549–66.
- Ogle B. 2006. Forages for pigs: nutritional, physiological and practical implications. Department of Animal Nutrition and Management 21-24.
- Ogoh S, Sato K, Okazaki K, Miyamoto T, Hirasawa A, Morimoto K, Shibasaki M. 2013. Blood flow distribution during heat stress: cerebral and systemic blood flow. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism* **33**:1915-1920.
- Oliveira MJK, Valk M, Melo ADB, Marcal DA, Silva CA, da Cunha Valini GA, Arnaut PR, Goncalves JPR, Andretta I, Hauschild L. 2023. Feeding Behavior of Finishing Pigs under Diurnal Cyclic Heat Stress. *Animals* **5**:908.
- Ortega ADSV, Szabó C. 2021. Adverse Effects of Heat Stress on the Intestinal Integrity and Function of Pigs and the Mitigation Capacity of Dietary Antioxidants: A Review. *Animals* **11**:1135.
- Patience JF, Rossoni-Serão MC, Gutiérrez. 2015. A review of feed efficiency in swine: biology and application. *Journal of Animal Science and Biotechnology z NA* **6**:33.
- Patience JF. 2012. The Influence of Dietary Energy on Feed Efficiency in Grow-Finish Swine. *Feed Efficiency in Swine*. 101–129.
- Pearce S. 2011. The Effects of Heat Stress and Nutritional Status on Metabolism and Intestinal Integrity in Growing Pigs. *Animal Science Commons*. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Pearce SC, Gabler NK, Ross JW, Escobar J, Patience JF, Rhoads RP, Baumgard LH. 2013. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science* **91**:2108–2118.
- Pearce SC, Mani V, Weber TE, Rhoads RP, Patience JF, Baumgard LH, Gabler NK. 2013. Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. *Journal of Animal Science* **91**:5183-5193.
- Pearce SC, Sanz-Fernandez MV, Hollis JH, Baumgard LH, Gabler NK. 2014. Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. *Journal of Animal Science* **92**:5444-5454.



- Pesta DH, Samuel VT. 2014. A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats. *Nutrition & Metabolism* **11**:53.
- Pražák Č. 2006. Správná praxe už při šlechtění prasat. *Náš chov* **66**:10.
- Prunier A, Heinonen M, Quesnel H. 2010. High physiological demands in intensively raised pigs: impact on health and welfare. *Animal* **4**:886-898.
- Pulkrábek J, Čřovský J, Drábek J, Dubanský V, Hájek J, Kernerová N, Kvapilík J, Matoušek V, Novák P, Pražák Č, Pytloun J, Rozkot M, Špinka M, Toufar O, Vališ L, Zeman L, Dolejš J. 2005. *Chov prasat*. Profi Press, Praha.
- Quiniou N, Dubois S, Noblet J. 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science* **63**:245-253.
- Quiniou N, Massabie P, Granier R. 2000. Diurnal variation of ambient temperature around 24 or 28 C: Influence on performance and feeding behavior of growing pigs. *Swine Housing*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Quiniou N, Noblet J, van Milgen J, Dubois S. 2001. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to cold or hot ambient temperatures. *British Journal of Nutrition* **85**:97–106.
- Randle PJ. 1998. Regulatory interactions between lipids and carbohydrates: the glucose fatty acid cycle after 35 years. *Diabetes/Metabolism Reviews* **14**:263–283.
- Renaudeau D, Anais C, Te LI, Gourdine JL. 2010. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science* **88**:3715-3724.
- Renaudeau D, Frances G, Dubois S, Gilbert H, Noblet J. 2013. Effect of thermal heat stress on energy utilization in two lines of pigs divergently selected for residual feed intake. *Journal of Animal Science* **91**:1162–1175.
- Renaudeau D, Gilbert H, Noblet J. 2012. Effect of Climatic Environment on Feed Efficiency in Swine. *Feed Efficiency in Swine*. Academic Publishers, Wageningen. 183–210.
- Renaudeau D, Gourdine JL, St-Pierre NR. 2011. A meta – analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing – finishing pigs. *Journal of Animal Science* **89**:2220–2230.
- Renaudeau D, Kerdoncuff M, Anais C, Gourdine JL. 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. *Animal* **2**:1619–1626.
- Renaudeau D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively fed growing pigs. *Animal Research* **54**:81-93.
- Rooke JA, Robinson JJ, Arthur JR. 2004. Effects of vitamin E and selenium on the performance and immune status of ewes and lambs. *The Journal of Agricultural Science* **142**:253–262.

- Sales J, Jančík F. 2011. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: A meta-analysis. *Journal of Animal Science* **89**:4054-4067.
- Santos LS, Pomar C, Campos PHRF, da Silva WC, de Paula Gobi J, Veira AM, Fraga AZ, Hauschild L. 2018. Precision feeding strategy for growing pigs under heat stress conditions. Oxford University Press on behalf of the American Society of Animal Science **96**:4789-4801.
- Selye H. 1936. A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature* **138**:32.
- Schneeberg E, Nováková J. 2005. Aminokyseliny ve výživě prasat. *Náš chov* **65**:40–41.
- Smital J., Fiedler J. 2003. Aspekty růstu svaloviny u prasat. *Náš chov* **63**:47–48.
- Steinhauser L, Steinhauserová I, Černý H, Večerek V, Ingr I, Simeonová J, Beňovský R, Šubrt J, Suchý P, Straková E, Novák P, Kubíček K, Zabloudil F, Vrchlabský J, Cabada R, Pipek P, Nagy J, Minks J, Sovjak R, Bytrický P, Švický E, Mathé D, Kerekréty J. 2000. Produkce masa, Tišnov.
- St-Pierre NR, Cobanov B, Schmitkey G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science* **86**:E52 – E77.
- Šapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Šumperk.
- Šimek J, Kočib J, Grolichová M. 2002. Kvalita jatečně upraveného těla a masa u vybraných finálních hybridů prasat. *Maso* **13**:9–12.
- Šimek J, Vorlová L, Steinhauser L. 2002. Jakostní odchylky masa a jejich identifikace. *Maso* **13**:24-27.
- Škroba V, Mareček J. 1996. "Řízení klimatu ve stájích prasat." *Náš chov* **7**:11-13.
- van Milgen J, Noblet J, Dubois S, Bernier JF. 1997. Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. *British Journal of Nutrition* **78**:397–410.
- van Milgen J, Noblet J, Dubois S. 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *The Journal of Nutrition* **131**:1309–1318.
- Velarde A, Geers R. 2007. On Farm Monitoring of Pig Welfare. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.
- Verstegen MW, Close WH, Start IB, Mount LE. 1973. The effects of environmental temperature and plane of nutrition on heat loss, energy retention and deposition of protein and fat in groups of growing pigs. *British Journal of Nutrition* **30**:21-35.
- Veselovský Z. 2005. Etologie: biologie chování zvířat. Academia, Praha.
- Voříšková J, Frelich J, Debrecní O. 2001. Etologie hospodářských zvířat. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Wealleans AL, Bierinckx K, di Benedetto M. 2021. Fats and oils in pig nutrition: Factors affecting digestion and utilization. *Animal Feed Science and Technology* **277**.

- Wenk C. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology* **90**:21-33.
- Westerterp KR. 2004. Diet induced thermogenesis. *Nutrition & Metabolism* **1**:5.
- Whittemore C, Kyriazakis I. 2006. Growth and Body Composition Changes in Pigs. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*.
- Whittemore CT. 1986. An approach to pig growth modeling. *Journal of Animal Science* **63**:615–621.
- Wilfart A, Montagne L, Simmins H, Noblet J, van Milgen J. 2007. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British Journal of Nutrition* **98**:54-62.
- Wilkins IA, Wheeler DW. 2004. Regulation of temperature. *Surgery* **22**:168a-168e.
- Wolp RC, Rodrigues NEB, Zangeronimo MG, Cantarelli VS, Fialho ET, Philomeno R, Alvarenga RR, Rocha LF. 2012. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. *Livestock Science* **147**:148-153.
- Yan XC. 2001. Effects of betaine on growth hormone releasing factor (GRF) and approach to the mechanism in the hypothalamus of finishing pig. MD Dissertation. Zhejiang University, Hangzhou.
- Young JM, Dekkers JCM. 2012. The Genetic and Biological Basis of Residual Feed Intake as a Measure of Feed Efficiency. *Feed Efficiency in Swine* 153–166.
- Yun W, Song M, Lee J, Oh H, An J, Kim G, Lee S, Lee S, Kim Bum H, Cho J. 2020. Arginine addition in a diet for weaning pigs can improve the growth performance under heat stress. *Journal of Animal Science and Technology* **62**:460-467.
- Zeman L, Doležal P, Kopřiva A, Mrkvicová E, Procházková J, Pyant P, Skládanka J, Straková E, Suchý P, Veselý P, Zelenka J. 2006. *Výživa a krmění hospodářských zvířat*. Profi Press, Praha.
- Zhang L, Kimball SR, Jefferson LS, Shenberger JS. 2009. Hydrogen peroxide impairs insulin-stimulated assembly of mTORC1. *Free Radical Biology and Medicine* **46**:1500–1509.
- Zhao L, McMillan RP, Xie G, Giridhar SGLW, Boumgard LH, El-Kadi S, Selsby J, Ross J, Gabler N, Hulver MW, Rhoads RP. 2018. Heat stress decreases metabolic flexibility in skeletal muscle of growing pigs. *American Journal of Physiology* **6**:1096-1106.

