

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Mikrobiální kontaminace vajec v různých systémech
ustájení**

Bakalářská práce

**Eliška Nemrichová
Živočišná produkce**

Prof. Ing. Eva Tůmová, CSc.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Mikrobiální kontaminace vajec v různých systémech ustájení" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 4. 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce prof. Ing. Evě Tůmové, CSc. za pomoc a trpělivost při vypracování této práce. Také bych chtěla poděkovat Ing. Darině Chodové PhD. a Ing. Lucii Malé za praktický náhled do tematiky. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat i mé rodině za trpělivost, oporu a poskytnuté zázemí.

Mikrobiální kontaminace vajec v různých systémech ustájení

Abstrakt

Práce se zabývá systémy ustájení nosnic a jejich vlivem na mikrobiální znečištění vajec. Systémy ustájení dělíme na klecové a podlahové. Chov nosnic v konvenčních klecích je v EU od roku 2012 zakázán. V České republice nebude od roku 2027 povolen už ani chov v obohacených klecích. Alternativní způsoby chovu nejsou zatím tolik rozšířené, jedná se o chov na podestýlce, ve voliérách a výběhový chov. Nejčastějším způsobem kontaminace vajec je vnější přenos bakterií přes skořápku sneseného vejce. Druhý způsob kontaminace je přenos infekce z reprodukčního traktu nosnice, tedy vnitřní přenos. Nejčastější vnější kontaminanty vaječné skořápky jsou koliformní bakterie a *Escherichia coli*, které jsou ukazatelem fekálního znečištění, *Enterococcus* a *Salmonella*. Vnitřním přenosem je vejce nejčastěji kontaminováno bakteriemi rodu *Salmonella* *Enteritidis*, méně často bakteriemi rodu *Campylobacter*. Nejvyšší hodnoty kontaminace skořápky byly naměřeny v alternativních systémech chovu. Při kontaminaci bakteriemi *Salmonella*, výzkum ukazuje nebezpečí zavlečení nákazy při výběhovém chovu nosnic, kde dochází ke kontaktu nosnic s divokými zvířaty.

Klíčová slova: klecový chov, podlahový chov, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Enterococcus*

Microbial contamination of eggs in various housing systems

Abstract

The bachelary thesis deals with laying housing systems and their influence on microbial contamination of eggs. We divide housing systems into cage and barn systems. Keeping of laying hens in conventional cages has been banned in the EU since 2012. Housing in enriched cages is allowed until 2027 in Czech republic. Alternative housing systems such as litter, aviary and outdoor are not so widespread yet. The most common way of contamination of eggs is the external transmission of bacteria through the shell. The second way of contamination is the transmission of infection from the reproductive tract of the laying hen, ie internal transmission. The most common external contaminants of the eggshell are *Escherichia coli*, which is an indicator of faecal contamination, *Enterococcus* and *Salmonella*. By internal transmission, eggs are most often contaminated with bacteria of the genus *Salmonella* Enteritidis, less often with bacteria of the genus *Campylobacter*. The highest values of shell contamination were measured in barn housing systems. When contaminated with *Salmonella*, research shows the risk of the disease being introduced during laying hens, where laying hens come into contact with wild animals.

Keywords: cage, floor systems, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Enterococcus*

Obsah

1 Úvod.....	- 1 -
2 Cíl práce.....	- 3 -
3 Literární rešerše	- 4 -
3.1 Způsob kontaminace vajec	- 4 -
3.1.1 Vnitřní přenos	- 5 -
3.1.2 Vnější přenos	- 6 -
3.2 Systémy ustájení slepic.....	- 8 -
3.2.1 Klece.....	- 8 -
3.2.2 Podlahové systémy	- 9 -
3.3 Vliv systému ustájení na mikrobiální kontaminaci vajec	- 13 -
3.3.1 Enterobacteriaceae.....	- 14 -
3.3.2 Salmonella.....	- 15 -
3.3.3 Campylobacter	- 17 -
3.3.4 Koliformní bakterie	- 18 -
3.3.5 Escherichia coli.....	- 20 -
3.3.6 Enterococcus.....	- 22 -
4 Závěr	- 24 -
5 Literatura.....	- 26 -
6 Seznam použitých zkratk a symbolů	- 32 -

1 Úvod

Je všeobecně známo, že kvalita vajec je ovlivněna různými faktory, spolu se systémem ustájení ji také ovlivňuje fyziologický stav nosnic, fáze snášky a podmínky skladování vajec. Nejběžnějším způsobem chovu jsou bateriové klece, které byly používány v tradiční produkci vajec od 50. let 20. století. Účelem tohoto systému bylo zajistit zdraví slepic a bezpečnost produktů, minimalizovat pracovní zátěž, maximalizovat zisk a produktivitu, ale to znamenalo ustájit slepice na malé ploše, což bylo často nedostačující pro přirozené chování ptáků. Z tohoto důvodu jsou od roku 2012 v Evropské unii konvenční klece zakázány. Nyní se v EU používají klece obohacené, které prošly vylepšeními zaměřenými na posílení welfare slepic, včetně většího životního prostoru pro slepice a prostoru pro vyjádření jejich přirozeného chování. Obohacené klece jsou ovšem povoleny jen do roku 2027. Kromě klecového systému chovu se začíná rozšiřovat chov alternativní. Ten zahrnuje chov nosnic na podestýlce, ve voliérách a výběhový chov.

V současné době je EU stále dominantní metoda chovu v obohacených klecových systémech s 49,9 %, následují systémy alternativní (32,5 %). Co se týká způsobu chovu v ČR, cca 77 % nosnic v rámci komerčního chovu se nachází v takzvaných obohacených klecových chovech, 23 % v neklecových halových chovech a 1 % v ostatních alternativních chovech. Podle statistik Ministerstva zemědělství se za rok 2019 nacházelo na českém území v průměru 9,44 milionů nosnic, z toho 5,26 milionů v komerčním zemědělském sektoru a 4,18 milionů v domácích chovech. Tyto nosnice za daný rok vyprodukovaly cca 2 362 milionů vajec, z toho v zemědělském sektoru šlo o 1 609 milionů a v domácích chovech o 753 milionů vajec. Soběstačnost České republiky v produkci vajec v roce 2019 dosáhla 86,6 %, což je o 0,9 % více než v roce předcházejícím, přičemž toto číslo je v posledních letech stabilní. Většina české produkce je spotřebována v ČR. Dlouhodobě počty nosnic v ČR stoupají, za posledních 10 let přibylo přibližně 900 000 nosnic celkem, přitom jen z roku 2018 do roku 2019 přibylo 245 000 nosnic.

Jedním z nejdůležitějších aspektů pro spotřebitele při výběru potravin je to, že produkt je bezpečný a zdravý, tedy neobsahuje látky, které by mohly ohrozit jejich zdraví (mikroorganismy, mykotoxiny, pesticidy, antibiotika atd.). Roste také zájem veřejnosti o vejce produkovaná alternativním způsobem (bez klecí, bez antibiotik, alternativní krmění). Největší význam při utváření preferencí spotřebitelů má však stále cena vajec, potom teprve následují

podmínky ustájení nosnic, zatímco další atributy, jako je velikost vajec a velikost balení se neukázaly v průzkumech jako důležité. Nicméně zájem veřejnosti o to, z jakých podmínek pochází kupovaná vejce, v jakých podmínkách chovu žijí nosnice, je rok od roku vyšší. Avšak účinky různých produkčních systémů na kvalitu vajec zůstávají kontroverzním tématem. Kromě toho mají spotřebitelé potíže s pochopením rozdílů mezi systémy ustájení slepic a dopady na výrobní náklady, kvalitu vajec, dobré životní podmínky zvířat a životní prostředí. S vyššími náklady na chov nosnic, bude cena vajec vzrůstat. Cenu mohou ovlivnit také další faktory jako nižší snáška, vyšší úmrtnost. Ještě důležitější roli by však měla mít kvalita vajec a zdravotní nezávadnost. Dodnes však kvalita vajec a míra, do jaké je ovlivněna různými systémy výroby zůstává sporným tématem, odborníci se i přes doposud provedené výzkumy nemohou shodnout.

2 Cíl práce

Mikrobiální kontaminace vajec je závislá na podmínkách, ve kterých jsou slepice chovány, a proto mohou být rozdíly podle systému ustájení. Liší se např. počtem slepic v hejnu, místem určeným ke snášení, přítomností podestýlky nebo možností kontaminace od divokých zvířat. Důležité je také posouzení vlivu prašnosti a produkce trusu na mikrobiální znečištění vajec. Cílem práce bylo posouzení rozdílů v kontaminaci vajec při ustájení slepic v klecích a podlahových chovech a jejich vztah k bezpečnosti produkce.

3 Literární rešerše

Konzumní vejce a vaječné výrobky jsou důležitou a nedílnou součástí moderní lidské stravy a jsou konzumovány všude na světě. Jsou levným zdrojem bílkovin, které jsou snadno dostupné a považované za bezpečnou potravinu (Chousalkar et al. 2021). Vejce obsahují více než 100 proteinů složených z 18 různých aminokyselin, z nichž devět je esenciálních. V posledních letech se několik studií zabývalo dopadem konzumace vajec na tělo člověka. Ze získaných výsledků vyplývá, že vejce obsahují řadu živin, které mají významně pozitivní účinek na lidské zdraví. Vejce jsou vysoce výživná potravina obsahující životně důležité vitamíny (A, D, E, B1, B2, B3, kyselina pantotenová, B6, kyselina listová, vitamin B12) a jsou velmi bohaté na minerální látky (Fe, Zn, Cu, Mg, I, Se, Ca, P, K). Na rozdíl od předchozí mylné představy o škodlivosti cholesterolu, výsledky nedávného výzkumu ukazují, že konzumací vajec se nezvyšují hladiny LDL cholesterolu nebo rizika souvisejících onemocnění. (Molnar a Szollosi 2020). Lidé čím dál více kladou důraz na vyvážené bezpečné a kvalitní potravinářské produkty prospěšné zdraví (Islam et al. 2021). Ve vyspělých zemích se ale také stále více klade důraz na dobré životní podmínky zvířat, tím se v posledních letech změnila poptávka spotřebitelů po vejcích. Stále se zvyšuje zájem o vejce z alternativních chovů (Molnar a Szollosi 2020). Nákup a spotřeba těchto vajec se staly zvláště populární, jelikož spotřebitelé věří, že vejce z výběhových chovů a bio vejce jsou kvalitnější (Sokołowicz et al. 2019). To vyplývá z vnímání, že produkty získané od „šťastných zvířat“ jsou lepší a zdravější pro lidskou spotřebu (Rakonjac et al. 2021). Nicméně kvalita vajec a míra, do jaké je ovlivněna různými systémy výroby zůstávají kontroverzním tématem a mezi výzkumníky stále nepanuje shoda (Pires et al. 2021).

3.1 Způsob kontaminace vajec

Jsou známy dva způsoby mikrobiální kontaminace vajec. Méně častá je kontaminace endogenního původu. Naopak převážná část kontaminací vaječného obsahu mikroorganismy je způsobena cestou exogenní (Tůmová et al. 2010). K endogennímu neboli vnitřnímu přenosu kontaminace dochází ještě v reprodukčním traktu nakažené slepice. Exogenní neboli vnější cestou nákazy je penetrace bakterií skrz skořápku sneseného vejce (Vlčková 2016).

3.1.1 Vnitřní přenos

V tomto případě je zdrojem kontaminace nemocná nosnice a krevní cestou je infikováno i vejce (Tůmová et al. 2010). Při vnitřním nebo také vertikálním přenosu je infikován žloutek, bílek či podskořápečné blány. K tomu dochází v reprodukčním traktu nosnice, podle lokalizace infekce. A to buď infekcí vaječníku v důsledku systémové infekce nebo vzestupnou infekcí z kontaminované kloaky do pochvy a dolní části vejcovodu. V důsledku bakteriální infekce je vejce, tedy žloutek, bílek nebo podskořápečné blány, infikováno ještě dříve, než je obaleno skořápkou. Studie naznačují, že vnitřní přenos je méně častý než kontaminace vaječného obsahu penetrací mikroorganismů přes skořáčku.

Tímto způsobem může být vejce kontaminováno bakteriemi rodu *Salmonella* nebo *Campylobacter*. Pro většinu sérotypů salmonely je přenos přes skořáčku pravděpodobně nejdůležitější cestou kontaminace. Zřejmě tomu tak není v případě *Salmonella* Enteritidis. Ta byla izolována z vaječného obsahu, nikoliv z vaječné skořáčky nebo ze vzorků slepičího trusu. Existují také významné důkazy o přenosu bakterií rodu *Campylobacter* od slepic na potomstvo prostřednictvím oplozeného vejce. Systémová infekce nosnic může vést ke kolonizaci vaječníku nebo vejcovodu. Oba orgány mohou být infikovány nezávisle na sobě, jeden po druhém nebo současně (Vlčková 2016).

Různé environmentální rezervoáry salmonely v drůbežárnách slouží jako zdroje přenosu infekce na nosnice během produktivního života každého hejna. Po orálním požití z okolních zdrojů je invaze přes slizniční epiteliální buňky gastrointestinálního traktu často následována systémovou diseminací do různých vnitřních orgánů (včetně vaječníků a vejcovodů). Dočasné snížení citlivosti T-buněk imunitního systému na salmonelu na začátku snášky může podpořit šíření do reprodukčního traktu. Invaze do vaječníku (místo zrání a uvolňování žloutku) nebo vejcovodu (místo sekrece bílku kolem sestupujícího žloutku) umožňuje bakteriální ukládání uvnitř vyvíjejících se vajec. V této studii byla frekvence kolonizace vaječníků významně vyšší než frekvence kolonizace horní nebo dolní části vejcovodu u všech tří izolátů *Salmonella*. Nebyl však pozorován žádný odpovídající rozdíl (pro žádný ze tří izolátů) mezi výskytem ukládání ve žloutku nebo bílku. Ačkoli se schopnost těchto izolátů *Salmonella* kolonizovat různé oblasti reprodukčního traktu u nosnic projevila usazováním bakterií ve žloutku i v bílku, nebyl nalezen žádný vzorec, podle kterého by se dalo předpokládat, jaké orgány budou infikovány a do jakých částí vejce se bude *Salmonella* ukládat (Gast et al. 2007).

3.1.2 Vnější přenos

Ihned po snesení je povrch i obsah vajec u zdravých nosnic většinou sterilní. Pak ale dochází k rychlé kontaminaci povrchu skořápky bakteriemi přítomnými ve výkalech, prachu nebo na zařízení hal. Mikrobiální znečištění vaječné skořápky hlavně závisí na systému ustájení, který je používán při chovu nosnic a jež předurčuje prostředí, do jakého je vejce sneseno. Záleží na úrovni znečištění prostředí, a to jak povrchu vybavení hal, tak i peří a běháků samotných nosnic, ale také i na koncentraci mikroorganismů nebo prachu ve vzduchu. Ke kontaminaci obsahu vejce tedy dochází penetrací mikroorganismů z vnějšího prostředí přes přirozené mechanismy ochrany vajec. Vaječný obsah je chráněn před exogenní kontaminací mikroorganismy několika bariérami. Za první bariéru je považována vrstva kutikuly na povrchu skořápky, dalším ochranným mechanismem je samotná skořápka s vnější a vnitřní podskořápečnou blánou. Dokonce i některé proteiny bílku mají inhibiční funkci vůči bakteriím. K průniku mikroorganismů do vejce exogenní cestou dochází nejprve po kontaminaci povrchu skořápky. Pravděpodobnost penetrace bakterií do vejce je ovlivňována mnoha různými faktory. Mezi vnější faktory patří vliv druhu bakterie, počet mikroorganismů, teplota, vlhkost a podmínky skladování (Tůmová et al. 2010). Gram-pozitivní bakterie jsou na povrchu skořápky přítomny jako dominantní mikroorganismy, a to pravděpodobně pro jejich toleranci k suchým podmínkách. Pocházejí především z prachu, půdy a trusu. Naproti tomu gram-negativní bakterie jsou hlavními viníky zkažených vajec. Zkažená vejce obvykle obsahují gram-negativní bakterie a příležitostně je přítomno i několik gram-pozitivních bakterií. Mezi nejčastěji se vyskytující gram-negativní bakterie patří *Escherichia coli* a *Salmonella* (Vlčková 2016). Z gram-pozitivních bakterií nejčastěji pronikají do vaječného obsahu především *Staphylococcus* a *Bacillus sp.* (Englmaierová 2016).

Přímý přenos mezi slepicemi, požití kontaminovaného krmiva nebo trusu, pohyb personálu, vybavení a ve vzduchu cirkulace kontaminovaného prachu a aerosolů, to vše usnadňuje rychlé a rozsáhlé horizontální šíření bakterií v hejnech nosnic. Stres způsobený nedostatkem krmiva nebo vody nebo okolním teplem může zvýšit jak vnímavost slepic k *Salmonella enteritidis*, tak horizontální přenos infekce mezi slepicemi (Gast et al. 2014). Obecně na začátku snášky má imunitní systém nosnic sníženou vnímavost k bakteriím např. rodu *Salmonella* (Gast et al. 2007). Přetrvávání bakterií v prostředí v drůbežárnách vytváří pro nosnice neustálou příležitost nakazit se orálním požitím. Horizontální šíření infekce v hejnech drůbeže může být potom rychlé i rozsáhlé (Gast et al. 2011).

Hannah et al. (2011, B) prováděla studii na horizontální přenos bakterie *Campylobacter*. Nosnice byly infikovány bakteriemi a následně smíchány s neinfikovanými slepicemi v klecích nebo v podlahových systémech ustájení, přičemž podestýlku tvořily hobliny. Po 12 dnech byl horizontální přenos *Campylobacter* mezi slepicemi v klecích 28 % a u slepic na hoblinách 47 %.

3.2 Systémy ustájení slepic

Přestože se drůbežářský průmysl za posledních několik desetiletí vyvinul v intenzivní systém řízení, současné trendy směřují k extenzivním systémům se sníženou hustotou chovu (Brannan a Anderson 2021). V současnosti systém ustájení slepic nosného typu rozdělujeme do dvou způsobů. První jsou klece, které můžeme rozdělit na klece konvenční a klece obohacené. Druhou jsou podlahové systémy. Ty můžeme rozdělit na tři hlavní typy ustájení: chov na podestýlce, voliéry a výběhové chovy.

3.2.1 Klece

Největší zastoupení mají vertikální tři až čtyřpodlažní klecové baterie charakterizované tím, že jednotlivé řady klecí jsou umístěny nad sebou a trus propadává do trusného kanálu nebo na pás pro jeho odklizení, umístěný pod každou etážní klecí. Druhou možností jsou polokaskádové baterie, které jsou na sebe naskládány tak, že jednotlivé řady klecí se částečně překrývají a tím pod nižšími řadami klecí vzniká stále se rozšiřující mezera. Klece jsou zpravidla z bodově svařované sítě s povrchovou úpravou zinkováním. Velikost klecí je dána počtem nosnic, který se pohybuje v rozmezí nejčastěji čtyř až pěti kusů. Vyskytují se však i klece pro šest až deset, nebo skupinové klece s hnízdem pro dvacet pět až čtyřicet nosnic (Heindl 2011). Klece jsou vybaveny snáškovými hnízdy. Prostory pro hnízda se nepovažují za využitelný prostor (Anonym 2004).

3.2.1.1 Neobohacené klece

Ve světě se více než 90 % produkce konzumních vajec uskutečňuje v neobohacených čili konvenčních, klecích (Tůmová 2018). Nicméně tento způsob ustájení neumožňuje volný pohyb nosnic a s ním spojené biologické projevy, jako např. popelení, hrabání, hřadování, snášku vajec do snáškových hnízd aj. (Stluka 2011). Tato skutečnost je hlavním důvodem, proč je tento systém ustájení v EU od roku 2012 zakázaný. V rámci celosvětové produkce je však tento systém chovu nosnic stále nejvyužívanější.

3.2.1.2 Obohacené klece

Obohacené klece byly vyvinuty v polovině 90. let, aby splňovaly požadavky směrnice Rady EU 1999/74EC o volném výběhu, která byla uzákoněna kvůli obavám veřejnosti o dobré životní podmínky slepic chovaných v konvenčních klecích. Obohacené klece se vyznačují

nízkou úmrtností (<3 %) ustájených slepic, vysokou produkcí vajec a dobrým opeřením (Hamilton a Bryden 2021). V kleci musí být nejméně 750 cm² prostoru na jednu nosnici, z toho 600 cm² využitelné plochy. Výška klece jiná než ta, která je nad využitelnou plochou, musí být alespoň 20 cm v každém bodě a žádná klec nesmí mít celkovou plochu menší než 2000 cm² (Anonym 2004). Boční stěny jednotlivých sekcí jsou vyrobené z pozinkovaného plechu jako prevence proti ozobávání se slepicemi ze sousední klece. Nosnice jsou pak klidnější a současně mohou udržovat vizuální kontakt s nosnicemi v ostatních sekcích. Snáškové hnízdo umístěné v kleci je od okolního prostoru odděleno plastovými závěsy, což přispívá ke klidu nosnic při snášce. Dno hnízda je vybaveno plastovým roštem proti rozbití vejce a současně pro snazší vykutálení na sběrný pás, což má vliv i na jejich minimální znečištění (Heindl 2011). Musí být zajištěno žlábkové krmítko, které je možno používat bez omezení. Délka krmného prostoru musí být nejméně 12 cm na jednu nosnici v kleci. Každá klec musí mít napájecí systém přiměřený velikosti skupiny. Tam, kde jsou kapátkové napáječky, musí mít každá nosnice v dosahu nejméně dvě kapátkové nebo kalíškové napáječky (Anonym 2004). Součástí obohacených klecí jsou snášková hnízda, hřady, popeliště a zařízení na obušování drápů (Englmaierová 2016). V EU je chov nosnic v obohacených klecích povolen do roku 2027.

Problémy v klecových systémech často zahrnují omezení chování nosnic. Nicméně výzkum ukázal, že slepice v konvenčních a obohacených klecích mají nižší (nebo podobné), ale ne vyšší úroveň stresu na základě koncentrací glukokortikoidů než slepice v podlahových systémech. Repertoár chování nosnic chovaných v konvenčních klecích je však zjevně horší než repertoár nosnic v podlahových systémech. Na rozdíl od konvenčních klecí mohou alespoň obohacené klece poskytovat příležitosti pro pozitivní emocionální zážitky vyplývající z hřadování, popelení a snášení v hnízdě (Hemsworth 2021).

3.2.2 Podlahové systémy

Během posledního desetiletí, se zvýšilo používání alternativních produkčních systémů v intenzivní produkci konzumních vajec. Tyto změny jsou z velké části způsobeny zvýšeným tlakem ze strany spotřebitelů. Ten vyplývá z jejich vnímání welfare slepic v prostředí klecového ustájení ve srovnání s alternativními systémy, které poskytují slepicím větší prostor (Brannan a Anderson 2021). Neklecové systémy jsou v mnoha případech označovány jako alternativní nebo podlahové systémy ustájení. Tyto termíny označují chov na podestýlce a voliéry (Molnar a Szollosi 2020). V těchto systémech ustájení musí být nosnicím zajištěno

žlábkové krmítko poskytující nejméně 10 cm délky krmného prostoru na jednu nosnici. Nepřetržitou žlábkovou napáječku poskytující 2,5 cm délky napájecího prostoru na nosnici. Nejméně jedno hnízdo pro každých sedm nosnic. Přiměřené hřady, bez ostrých okrajů, skýtající nejméně 15 cm na jednu nosnici. Hřady nesmí být instalovány nad stelivem a vodorovná vzdálenost mezi hřady a stěnou musí být nejméně 20 cm. Podlaha musí být konstruována tak, aby poskytovala přiměřenou oporu každému z dopředu směřujících prstů obou běháků. Hustota osazení nesmí překročit 9 nosnic na 1 m² využitelné plochy (Anonym 2004).

Zatímco v klecových systémech často dochází k omezenému projevu chování nosnic, problémy v podlahových systémech zahrnují spíše zdraví nosnic a hygienu ustájení (Hemsworth 2021). Aerni et al. (2005) shrnuli studie publikované mezi rokem 1980 a 2003 a nenašli žádný vztah mezi produkcí a úmrtností nebo kanibalismem (Pires et al. 2021). Následně ve studii, kterou zmiňuje také Pires et al. (2021) pro důsledky na welfare, produkci, udržitelnost a úmrtnosti nosnic chovaných v různých systémech ustájení, zjistili vyšší úmrtnost v raném věku ptáků chovaných v alternativních systémech. Stejně tak i z článku Tůmové (2018) vyplývá, že mají slepice chované v klecích obecně nižší úmrtnost než slepice v podlahových systémech. Úmrtnost hejna byla některými odborníky považována za jeden z nejdůležitějších ukazatelů zdraví nosnic, protože vyšší úmrtnost by naznačovala horší zdravotní stav (Schuck-Paim et al. 2021)

V alternativních systémech jako jsou voliéry, podestýlkový nebo výběhový chov, mohou však slepice ještě lépe vyjadřovat své přirozené chování jako například popelení, stavění si hnízda, hledání potravy, hrabání nebo protahování křídel a létání. Na druhou stranu se v alternativních chovech snižuje užitečnost slepic, jelikož věnují méně času přijímání potravy, vody a odpočinku (Pires et al. 2021). Kontrola a hygiena chovu je v alternativních chovech mnohem složitější než v chovech klecových. Trvalým problémem v bezklecových systémech je manipulace s podestýlkou a její udržování ve vhodném stavu. Když se podestýlka stává studenou a mokrou, nastává prudký nárůst infekce, parazitární a bakteriálních onemocnění. Nemalé těžkosti způsobuje sociální struktura hejna s výskytem kanibalismu, hlavně na začátku snášky (Brouček et al. 2011). V jedné ze studií zjistili, že pracovníci v podlahových systémech chovu na podestýlce jsou vystaveni více prachu a vyšším koncentracím amoniaku než lidi pracující v klecových chovných systémech (Molnar a Szollosi, 2020), stejně tak tedy i zvířata samotná.

3.2.2.1 Chov na podestýlce

Nosnice jsou chovány v halách na podestýlce, ale bez venkovního přístupu (Pires et al. 2021). Vždy se jedná o jednoúrovňové systémy, ve kterých je celá nebo alespoň část podlahy pokryta stelivem (Molnar a Szollosi 2020). Podestýlkou musí být kryta min. 1/3 podlahové plochy haly. Nejčastěji se jako stelivo používají dřevěné piliny, hobliny, popř. řezaná sláma. Podestýlka se vrství do výšky 10–15 cm a zůstává v hale po celou délku chovu nosnic (Stluka 2011). Hnízda jsou ve většině případů umístěna u vnějších stěn. Zařízení na krmení a napájení může být uspořádáno v různých formách (Windhorst 2017).

Srovnáme-li tento systém chovu s chovem nosnic v klecích a aviarech, je zde nižší snáška vajec, vyšší spotřeba krmiva, vyšší úhyn nosnic, vyšší podíl znečištěných vajec v důsledku snášky vajec na podestýlku. Horší zdravotní stav nosnic, jejich kontrola a též vyšší výskyt endo a ektoparazitů. Vyšší úhyn je především způsoben výskytem kanibalismu a stresu ze sociálního složení hejna (Stluka 2011).

3.2.2.2 Voliéry

Voliéry byly vyvinuty v 70. letech minulého století ve Velké Británii jako systém vycházející z klecí, ale umožňující slepicím volný pohyb (Tůmová 2007). Voliéry jsou vždy víceúrovňové systémy skládající se z podlahy a kovové konstrukce, což zvětšuje plochu pro pohyb nosnic (Damaziak et al. 2021). Podlahy kromě přízemí jsou perforované, aby na nich nezůstával trus. Tento systém může být buď čistě vnitřní, nebo vybavený venkovním přístupem (Molnar a Szollosi 2020). Venkovní přístup poskytuje krytá a uzavřená zimní zahrada, která zakazuje přístup volně žijících ptáků nebo predátorů do systému ustájení (Windhorst 2017). V uličkách mezi řadami klecí je na podlaze podestýlka umožňující hrabání a popelení (Stluka 2011). Při používání systémů chovu, kde se nosnice mohou volně pohybovat mezi různými podlažími, nesmějí být umístěna více než čtyři podlaží. Výška (světlost) mezi podlažími musí být nejméně 45 cm. Napájecí a krmná zařízení musí být rozmístěna tak, aby poskytovala stejný přístup všem nosnicím (Anonym 2004). Snášková hnízda mohou být uspořádána buď samostatně podél stěn, nebo integrované do bloků perforovaných podlah (Windhorst 2017). Podlaží musí být uspořádána tak, aby se zabraňovalo padání trusu do nižších vrstev (Anonym 2004). Díky tomu, že se slepice mohou rozptýlit na několika úrovních, patra zvyšují celkovou užitečnou plochu, čímž umožňují vyšší hustotu osazení na m² plochy přízemí (až cca 20 slepic/m²) ve srovnání s podlahovým ustájením (Brouček et al. 2011).

Podle Damaziaka et al. (2021) má tento systém největší potenciál nahradit chov nosnic v klecích. Zároveň je však chov slepic ve voliérovém systému obtížný ve srovnání s chovem v klecích z důvodu vyšších nároků na pracovní sílu a dalších jiných nebezpečí. Např. ve srovnání s chovem nosnic v klecích je v tomto systému vyšší spotřeba krmiva a vyšší podíl znečištění vajec, neboť část slepic snáší vejce na podestýlku. Je zde také vyšší výskyt kanibalizmu a horší možnost optické kontroly hejna a zdravotního stavu nosnic (Stluka 2011).

3.2.2.3 Výběhový chov

V systému volného výběhu jsou slepice umístěné ve vnitřních prostorech, a to buď v halách na podestýlce nebo ve voliérách, zároveň mají nosnice přístup do výběhu. Pokud mají nosnice přístup k volným otevřeným výběhům, musí být k dispozici několik otvorů umožňujících přímý přístup do venkovního prostoru, nejméně 35 cm vysokých a 40 cm širokých, a táhnoucích se podél budovy po celé její délce; v každém případě musejí být na skupinu čítající 1000 nosnic dostupné celkem 2 m otvorů. Výběhy musí být na ploše rozměrem vyhovující hustotě osazení a povaze pozemku, aby nedocházelo ke kontaminaci (Anonym 2004). Dostupný venkovní prostor je 4 m² na nosnici nebo maximálně 2 500 kusů na hektar (Windhorst 2017). Výběhy musí být vybaveny přístřeškem na ochranu před nepříznivými klimatickými vlivy a predátory a v případě potřeby vhodnými napáječkami (Anonym 2004).

Při srovnání s předchozími systémy chovu je zde nejnižší snáška, nejvyšší spotřeba krmiva, nejvyšší úhyn nosnic v důsledku kanibalizmu a stresu. V tomto systému chovu je také nejvyšší podíl znečištěných vajec. Je zde též horší kontrola zdravotního stavu nosnic. (Stluka 2011). Nevýhodou intenzivního výběhového chovu je vysoké riziko vzniku onemocnění, včetně parazitárních, z důvodu kontaktu nosnic s trusem a volně žijícími ptáky. Slepice jsou vystavené působení extrémních klimatických podmínek. A také je tu poměrně vysoká náročnost na pracovní sílu (Brouček et al. 2011). Na druhé straně tento systém umožňuje v plné míře volný pohyb nosnic a projevy všech biologických potřeb (Stluka 2011).

3.3 Vliv systému ustájení na mikrobiální kontaminaci vajec

Přestože konvenční bateriové klece pro slepice na globálním trhu stále převládají, pohyb směrem k alternativnějším metodám nabývá na síle i mimo Evropu. Bez ohledu na systém ustájení se vejce při snášení vždy dostanou do kontaktu s bakteriemi z prostředí a v různé míře se bakteriemi kontaminují. Obecně platí, že většina vajec je při průchodu vejcovodem a kloakou sterilní a hlavní bakteriální kontaminace nastává během krátké doby po snesení. Několik studií ukázalo, že s výjimkou silně znečištěných vajec je korelace mezi vizuální kontaminací skořápky a bakteriální kontaminací špatná, a proto není možné hodnotit bakteriální kontaminaci vaječných skořápek vizuálním vyšetřením (Wall et al. 2008). Podle Molnar a Szollosi (2020) systém ustájení významně ovlivňuje počet bakterií na povrchu vajec a hladinu mikrobiálních kontaminantů. Nicméně vliv systému ustájení na kontaminaci vaječných skořápek specifickými skupinami bakterií je variabilní. O vlivu systému ustájení na vejce jsou k dispozici omezené informace (De Reu et al. 2008). Avšak mezi výzkumníky stále nepanuje shoda a kvalita vajec a míra, do jaké je ovlivněna různými systémy výroby zůstávají stále kontroverzním tématem (Pires et al. 2021).

De Reu et al. (2009) analyzoval bakteriální kontaminaci vzduchu a také kvalitu vajec a vaječných skořápek a zjistil pouze malý rozdíl mezi obohacenými klecovými a neklecovými systémy, stejně tak rozdíly mezi systémy ustájení v halách a voliérách byly zanedbatelné (Molnar a Szollosi 2020). V dalších experimentálních studiích bylo zjištěno, že vejce z voliér byla více kontaminovaná aerobními bakteriemi než vejce z klecových systémů. Rozdíl byl více než 1 log jednotka s mnohem vyšším počtem snesených vajec na podlaze voliér. U gramnegativních bakterií žádné systematické rozdíly mezi třemi systémy ustájení nebyly nalezeny (De Reu et al. 2008). Stejně tak Parisi et al. (2015) zjistil, že vejce z alternativních chovů, kde slepice mají větší kontakt s vejci po snesení, mají větší mikrobiologickou kontaminaci povrchu vaječné skořápky než vejce produkovaná v konvenčních klecových systémech (Molnar a Szollosi 2020).

Vejce je jednou z mála potravin, která je při přepravě z farmy ke spotřebiteli minimálně ošetřena, jde o potravinu podléhající zkáze a může obsahovat širokou škálu patogenních mikroorganismů, jako je *Salmonella enteritidis* a *Escherichia coli*. Tyto střevní patogenní bakterie byly příčinou mnoha ohnisek gastroenteritidy po celém světě v důsledku konzumace syrových nebo špatně vařených vajec (Guier-Serrano et al. 2021). Proto je také velká část

výzkumu na kontaminace vaječných skořápek a obsahu vajec zaměřena na bakterie rodu *Salmonella*. Dostupné informace o jiných patogenech jsou omezené, nicméně ukazují, že jsou výlučně izolované z vaječné skořápky a nikoli z vnitřního obsahu (De Reu et al. 2008).

Pokud jde o mikrobiologii vejce a jeho skořápky, jeho kvalitu a bezpečnost lze hodnotit pomocí celkové analýzy koliformních bakterií, počtu *E. coli* a *Enterococcus* a analýzy přítomnosti/absence *Salmonella* a *Campylobacter*. Národní a mezinárodní předpisy udávají limity těchto parametrů u vajec vhodných pro lidskou spotřebu (Guier-Serrano et al. 2021).

3.3.1 Enterobacteriaceae

Enterobakterie žijí přirozeně ve střevech lidí a zvířat. S výkaly se dostávají do vnějšího prostředí, proto jsou považovány za indikátory fekálního znečištění. Některé druhy jsou původci střevních onemocnění. Patří sem např.: *Escherichia coli* nebo *Salmonella*. *Enterobacteriaceae* lze použít jako indikátor potravinové bezpečnosti vajec. Bakterie mají schopnost pohybovat se z povrchu vejce, přes kutikulu, do pórů skořápky, přes membrány skořápky a do vnitřního obsahu vejce. Protože k tomu může dojít, je důležité studovat počet bakterií ve všech částech vejce, nejen na povrchu a v obsahu vejce. Existuje nedostatek výzkumu ohledně úrovně kontaminace pórů vaječných skořápek *Enterobacteriaceae*. Čeleď *Enterobacteriaceae* zahrnuje mnoho rodů bakterií, jedním z nich je právě třeba *Salmonella* (Moyle et al. 2016).

Wall et al. (2008), porovnávající konvenční a zařízené klece v experimentální studii, zjistili *Enterobacteriaceae* na významně vyšším podílu vajec ve vybavených klecích (12,3 % v průměru) než v konvenčních klecích (5,8 % v průměru). Při porovnání chovu výběhového a v klecích byly počty *Enterobacteriaceae* v průměru o 1,0 log KTJ/ml vyšší (o 90 % vyšší) na vejcích z výběhového chovu než na vejcích od slepic z konvenčních klecí (Parisi et al. 2015).

V rozporu s těmito studii bylo dle výsledků od De Reu et al. (2009) nalezeno *Enterobacteriaceae* na 12 % vajec z klecí a pouze na 6 % vajec z neklecových systémů. Pozoroval tendenci k nižší kontaminaci gramnegativními bakteriemi obecně a *Enterobacteriaceae* specificky na neklecových vejcích ve srovnání s klecovými vejci. Předpokládal, že vyšší množství grampozitivních bakterií na skořápce neklecových vajec pravděpodobně potlačuje přítomnost gramnegativních bakterií a *Enterobacteriaceae*. Při srovnání průměrné kontaminace vaječných skořápek mezi hejny v podlahovém ustájení a hejny

ve voliérách nebyly pro *Enterobacteriaceae* získány žádné významné rozdíly. Stejně tak nebyl prokázán žádný významný rozdíl v průměrné kontaminaci vaječných skořápek mezi obohaceným klecovým systémem a neklecovými systémy.

3.3.2 Salmonella

Vnitřní kontaminace vajec sérovarem *Salmonella* Enteritidis je již dvě desetiletí mezinárodně významným zdrojem lidských onemocnění. Ačkoli se celková prevalence *Salmonella* Enteritidis v komerčně vyráběných konzumních vejcích ve Spojených státech odhaduje pouze na 0,005 %, epidemiologové odhadli, že více než 100 000 onemocnění každý rok ve Spojených státech lze připsat praxe vejcím kontaminovaným *Salmonella* Enteritidis (Gast et al. 2011).

Přetrvávání salmonel v prostředí v drůbežárnách vytváří pro nosnice neustálou příležitost nakazit se orálním požitím. Horizontální šíření infekce salmonelou v hejnech drůbeže může být potom rychlé i rozsáhlé (Gast et al. 2011). *Salmonella* Enteritidis ve vejcích je důsledkem kolonizace reprodukčních tkání u systémově infikovaných slepic. Experimentální orální inokulace nosnic *Salmonella* Enteritidis vedla k invazi různých vnitřních orgánů, včetně vaječnicků a vejcovodů, a produkci kontaminovaných vajec několik týdnů po infekci (Gast et al. 2011). Často se ukázalo, že jednotlivé kmeny *Salmonella* se od sebe velmi významně liší svým sklonem k ukládání uvnitř vajec a svými růstovými vlastnostmi ve žloutku nebo bílku (Gast et al. 2007; Gast et al. 2011). Ve studii od Gast et al. (2011). byly skupiny nosnic ve dvou pokusech experimentálně infikovány velkými orálními dávkami kmenů *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Heidelberg nebo *Salmonella* Hadar a následně testovány na kontaminaci. Významně více vnitřně kontaminovaných vajec snesly slepice infikované *Salmonella* Enteritidis (3,58 %) než kmeny *Salmonella* Heidelberg (0,47 %) nebo *Salmonella* Hadar (0 %). Při odběru vzorků z tkání nosnic se izolace salmonel pohybovala od 20,8 % do 41,7 % u vaječnicků a od 8,3 % do 33,3 % u vejcovodů. Ukázalo se, že vysoké frekvence kolonizace reprodukční tkáně nevedou vždy k odpovídajícím vysokým frekvencím kontaminace vajec. Podobnou studii prováděl Gast et al. (2019, A) o několik let později. *Salmonella* Enteritidis byla získána z 27,8 % až 44,4 % vaječnicků a 33,3 % až 47,2 % vejcovodů z různých linií slepic v konvenčních klecích, stejně jako od 33,3 % do 50,0 % vaječnicků a 27,8 % až 33,3 % vejcovodů ze slepic v obohacených koloniích. Nebyly zjištěny žádné významné rozdíly mezi čtyřmi liniemi slepic nebo mezi dvěma systémy ustájení ve frekvenci izolace *Salmonella* Enteritidis žádného z těchto vnitřních orgánů. Co ovlivňuje ukládání salmonely ve vnitřních

orgánech ani ve vejcích tedy pořád není jasné, zatím nejsou objeveny žádné souvislosti. V koordinované sérii experimentálních infekčních studií byla *Salmonella* Enteritidis izolována častěji z vnitřních orgánů a vylučována výkaly slepic v konvenčních klecích (při vyšší hustotě osazení) než v obohacených koloniích (při nižší hustotě osazení), ačkoli nebyly pozorovány žádné rozdíly ve frekvenci horizontálního přenosu infekce, délce fekálního vylučování nebo produkci kontaminovaných vajec (Gast et al. 2019, A)

Ve stejném roce prováděl Gast et al. (2019, B) ještě jednu studii ve které opět nezjistil žádné významné rozdíly ve frekvencích kontaminace vajec mezi 2 systémy ustájení pro žádnou ze 4 linií slepic. Vnitřní kontaminace *S. Enteritidis* byla zjištěna u vajec snesených od 7. do 21. dne po orální inokulaci slepic. Celková frekvence kontaminace vajec od všech infikovaných slepic byla 2,47 %. Ve studii, kde porovnával Jones et al. (2015) vzorky z obohacené klece a voliéry, zjistil, výrazně vyšší kontaminaci na stíracích škrabkách na trus z voliér (100 %) než v obohacených klecích (89 %). Kontaminace snáškových hnízd byla také vyšší ve voliérách (28 %) než v obohacených klecích (16 %). Stěry z klece ukázali opět nepatrně vyšší kontaminaci ve voliérách (18 %) než v obohacených klecích (16 %). De Vylder et al. (2011) ve své studii pozoroval přenos infekce z nemocné nosnice na zdravé jedince. Trend směrem k rostoucímu počtu přenosů byl detekován ve voliérovém a podlahovém systému ve srovnání s klecovými systémy. Také bylo ve voliéře nalezeno podstatně více kontaminovaných vajec ve srovnání s klecovými systémy a podlahovým systémem. Výzkum ukázal, že po infekci slepice konzumací kontaminované potravy, *S. Enteritidis* napadla reprodukční trakt slepice a dostala se do vejce in utero před tvorbou skořápky nebo skrz póry skořápky během putování vejce vejcovodem do kloaky (Holt 2021). Z toho vyplývá, že přetrvávající infekce a vylučování stolice do prostředí nosnic podporuje horizontální přenos salmonel v hejnech (Gast et al. 2021).

Holt (2021) ve své studii sledoval šíření *Salmonella* ve výběhovém systému ustájení. Bylo prokázáno, že divoká zvěř je dostatečným přenašečem salmonelové nákazy. Hlodavci, ptáci, lišky, skunci, vačice, kočky a hmyz jsou přenašeči bakterie rodu *Salmonella*. Snížení interakce slepic s volně žijícími zvířaty je zásadní pro prevenci infekce slepic salmonelou. Povoláním přístupu slepicím do venkovního prostředí je biologická bezpečnost budovy ohrožena, protože slepice mohou volně interagovat s divokou zvěří a zavléct nákazu do budovy. Dále poskytnutím otvorů umožňujících slepicím přístup ven, je opět ohrožena biologická bezpečnost budovy, jelikož umožňuje vstup ptáků, hmyzu, hlodavců a dalším volně žijícím zvířatům do budovy. Ve studii porovnávací chovy výběhové a klecové bylo 8 % vzorků vajec od nosnic s přístupem

do výběhu pozitivních na *Salmonella sp.*, přičemž z vajec z klecového systému nebylo možné tento patogen izolovat (Guier-Serrano et al. 2021).

3.3.3 *Campylobacter*

Campylobacter je běžně spojován s brojlerovými kuřaty a je hlavní příčinou bakteriálních onemocnění přenášených potravinami, ale v souvislosti s kontaminací vajec *Campylobacter* bylo provedeno jen málo výzkumů (Moyle et al. 2016).

Cox et al. (2012) uvedli, že kolonizace *Campylobacter* není omezena na gastrointestinální trakt drůbeže, což je vidět i v aktuální studii. Byly odebrány vzorky z tkání nosnic chovaných v konvenčních klecích, obohacených klecích a voliérách. Vysoké procento nosnic (> 85 %) mělo alespoň jednu tkáň pozitivní na *Campylobacter* napříč všemi systémy ustájení. Výrazně vyšší podíl nakažení vykazovaly nosnice z konvenčního chovu (95 %) ve srovnání s nosnicemi z obohacené klece (91 %) a voliéry (85 %). Při testování folikulů bylo, ale naopak výrazně vyšší procento kontaminovaných nosnic z voliéry (9,17 %) ve srovnání s konvenční (4,17 %) a obohacenou klecí (1,67 %). Prevalence *Campylobacter* v reprodukčním traktu se pohybovala od 5,83 do 12,5 % napříč systémy ustájení a nebyla významně odlišná (Jones et al. 2016). Ve studii, kde porovnával Jones et al. (2015) vzorky z obohacené klece a voliéry, zjistil, že na stíracích škrabkách na trus byl pozitivní nález srovnatelný v obou systémech ustájení. Avšak kontaminace snáškových hnízd byla výrazně vyšší v obohacených klecích (64 %) než ve voliérách (10 %). Naopak stěry z klece ukázali nepatrně vyšší kontaminaci ve voliérách (74 %) než v obohacených klecích (65 %).

Prevalence *Campylobacter* získaných z vajec odebraných z výběhového chovu (26,1 % pozitivních nebo 46 ze 176 pozitivních) byla významně vyšší než prevalence *Campylobacter* získaných z vajec od slepic z klecového systému (7,4 % pozitivních nebo 13 ze 176 pozitivních) (Parisi et al. 2015). Stejně tak ve studii Rama et al. (2018) se pohybovala prevalence *Campylobacter* od 11,1 % v obohacených klecích do 19,7 % v alternativních systémech. Větší prevalence *Campylobacter* byla zjištěna ve vzorcích fekálních výtěrů ptáků z volného výběhu ve srovnání s ptáky chovanými v intenzivnějších systémech ustájení. Celkem bylo potvrzeno 72 z 425 izolátů jako *Campylobacter*.

U 25 % izolátů ze snáškových hnízd a 3 % izolátů z porostu výběhu ve výběhovém systému ustájení pozoroval Jones et al. (2012) signifikantně vyšší výskyt detekce *Campylobacter*. Na

rozdíl od přechozích výzkumů ale v klecovém chovu, nebyla při této studii *Campylobacter* detekována vůbec. Také Gondek et al. (2013) nenalezl *Campylobacter* v klecovém ustájení. Mikroorganismy rodu *Campylobacter* byly při této studii nalezeny na 4 vejcích (13,13 %) ze systému ustájení s hlubokou podestýlkou a na 3 vejcích (10 %) ze systému výběhového ustájení. Přičemž výzkumný materiál sestával ze 120 vajec, zahrnujících 30 vajec z každé ze čtyř farem používajících různé systémy ustájení: klecový systém, systém s hlubokou podestýlkou, výběhový systém a ekologický chov. Tyto údaje ukazují, že vejce z výběhového chovu, kde mají slepice větší kontakt s vejci po snesení, mají větší mikrobiologickou kontaminaci na povrchu skořápky než vejce produkovaná v klecových systémech. (Parisi et al. 2015).

Hannah et al. (2011. B) prováděla studii na horizontální přenos bakterie *Campylobacter*. V každém z pěti po sobě jdoucích pokusů byly nosnice infikovány bakteriemi *Campylobacter* a 1 týden po inokulaci byly infikované slepice smíchány s neinfikovanými slepicemi v klecích nebo v podlahových systémech ustájení, přičemž podestýlku tvořily hobliny. Po 12 dnech byly exponované a neinfikované slepice usmrceny pro odběr vzorků. Horizontální přenos *Campylobacter* mezi slepicemi v klecích, které nebyly vystaveny infekci, byl významně nižší a to 28 % než u slepic na hoblinách, a to 47 %. Studie ukázaly, že prevalence *Campylobacter* mezi konzumními vejci je nízká. *Campylobacter* spp. představovalo 0,6 % mezinárodních ohnisek alimentárních onemocnění souvisejících s vejci, zatímco *Salmonella* spp. tvořilo 97,4 %.

3.3.4 Koliformní bakterie

Skupina celkových koliformních bakterií je považována za indikátor hygieny a obecné bezpečnosti potravin. (Guier-Serrano et al.2021).

Guier-Serrano et al. (2021) porovnával kontaminaci vajec a prostředí v klecovém a výběhovém systému ustájení. V klecovém systému nebyl zjištěn žádný významný rozdíl v počtech celkových koliformních bakterií pro různá místa odběru vzorků. Ve výběhovém systému byl zjištěn významný rozdíl v počtech celkových koliformních bakterií, které se pohybovaly mezi 1 až 6 log KTJ/cm². V obou případech byla sláma ze snáškových hnízd vzorkem s nejvyšší kontaminací a odlišným od ostatních lokalit. V klecovém systému byly celkové koliformní bakterie, obecně zdravotní indikátory, v řádu 1-2 log KTJ/cm², což ukazuje na čisté prostředí. Ve výběhovém systému, na rozdíl od klecového, hladiny celkových koliformních bakterií

naznačovaly zhoršení zdravotních podmínek. Jak je vidět, počty 2 a 3 log KTJ celkových koliformních bakterií na vejce z klecového nebo výběhového chovu, byly získány ze skořápek analyzovaných vajec. Ve srovnání výsledků s povolenými národními předpisy lze říci, že analyzovaná vejce nevykazovala nepřijatelné počty celkových koliformních bakterií ve skořápce, protože hodnoty nebyly větší než limity povolené pro obsah vejce.

Podobná studie byla provedena už v roce 2012, aby se zjistilo, zda existují rozdíly v prevalenci koliformních bakterií na vejcích, uvnitř nich a v prostředí hejna nosnic v konvenčních klecových chovech a nosnic ve výběhovém ustájení. Celkem 359 koliformních izolátů bylo biochemicky identifikováno jako pozitivní. Nejvíce izolátů (299 izolátů; 75 %) bylo získáno celkem ze vzorků z výběhového chovu. Nejméně izolátů (28 izolátů; 8 %) bylo ze směsí vaječného obsahu. Celkem bylo odebráno 224 kontaminovaných vajec, z toho 84 (37 %) snesených na podlaze od nosnic z výběhového chovu, 107 (48 %) vajec snesených ve snáškových hnízdech ve výběhovém chovu a 33 (15 %) vajec snesených v klecovém chovu (Jones et al. 2012). Ještě o rok dříve Jones et al. (2011) prováděl studii taktéž zaměřenou na klecové a výběhové systémy. Hladiny koliformních bakterií ve výběhovém chovu byly v průběhu studie významně vyšší než hladiny koliformních bakterií v klecích. Počty koliformních bakterií ze vzorků podlahy výběhového chovu byly 4,31 až 5,36 log KTJ/ml, zatímco počty bakterií ze vzorků klecového systému se pohybovaly od žádné detekce do 0,64 log KTJ/ml. Hladiny koliformních bakterií ze snáškových hnízd výběhového systému byly podobné hladinám koliformních bakterií z podlahy výběhového systému během všech ročních období kromě zimy, kdy byla hladina nejnižší (1,98 log KTJ/ml). Výběhový a klecové systémy chovu studovala také Sharma et al. (2022), pozorovala souvislosti prostředí společně s různými genotypy nosnic a jejich vliv na mikrobiologii vajec. Vyšší počty koliformních bakterií ve výtěrech z kloaky měly slepice z volného výběhu než slepice z konvenčních a obohacených klecových systémů ustájení. Vyšší bakteriální kontaminace skořápky byla taktéž pozorována u vajec z výběhového chovu oproti vejcům z obou chovů klecových. Výsledky výtěrů z kloaky vyšli 0,87; 0,34; 1,53 log KTJ/ml z konvenční, obohacené klece a výběhového chovu. Počty bakterií ze vzorků skořápek byly 0,00; 0,00; 1,29 log KTJ/ml z konvenční, obohacené klece a výběhového chovu, opět v tomto pořadí.

Jones et al. (2015) pozoroval mikrobiální znečištění vajec a prostředí tří systémů ustájení (konvenční a obohacené systémy chovu a voliérovy chov). Průměrné počty koliformních bakterií byly nejvyšší v izolátech ze stěrů z voliéry (4,0 log KTJ/ml) a z obohacených klecí

(3,8 log KTJ/ml). Nejnižší úroveň koliformní kontaminace prostředí byly zjištěny ve výtěrech ze snáškových hnízd z voliér a obohacených klecí (1,6 a 2,7 log KTJ/ml). Stěry z klecí ve voliérách ukázali 2,1 log KTJ/ml a z konvenčního klecového systému byly výsledky o něco vyšší 2,3 log KTJ/ml, nejnižší hodnoty však byly získány z obohaceného klecového systému 1,7 log KTJ/ml. U koliformních bakterií byla zjištěna významná závislost stěrů z prostředí na produkčním období nosnic. Hladiny koliformních bakterií se postupně zvyšovaly ve vzorcích ze snáškových hnízd klecí s produkčním věkem nosnic. Výtěry z voliér a obohacených klecí měly trvale vyšší úroveň kontaminace koliformními bakteriemi ve srovnání s jinými vzorky z prostředí.

Pro všechny vzorky skořápek byly průměrné hladiny koliformních bakterií 1 log KTJ/ml nebo méně. Největší průměrný počet koliformních bakterií ve skořápce byl spojen s vejci snesenými na podlaze voliéry (1,0 log KTJ/ml). U hladin koliformních bakterií na skořápce byla také zjištěna významná interakce mezi systémem ustájení a obdobím produkce. Hladiny koliformních bakterií izolovaných ze skořápek byly nízké pro všechny systémy ustájení/typy vajec (1–5 %), ale největší počet měla vejce snesená na podlahu voliér a vejce v klecovém systému (Jones et al. 2015).

Ve studii Hannah et al. (2011, A) byla prevalence koliformních bakterií mezi bílými vejci produkovanými na hoblinách, na roštích nebo v klecích 16,3, 12,5 a 12,5 % v tomto pořadí. Celkově byla prevalence koliformních bakterií mírně vyšší mezi hnědými vejci produkovanými na hoblinách (28,8 %) a na roštích (22,5 %) než v klecích (12,5 %). Výsledky ve všech uvedených studiích se shodují, že největší kontaminaci vykazují vejce z chovu výběhového a podestýlkového, naopak nejméně kontaminovaná vejce jsou z klecových systémů ustájení.

3.3.5 *Escherichia coli*

Escherichia coli je jedním z běžných mikroorganismů gastrointestinálního traktu zvířat a lidí a je považována za indikátory fekální kontaminace v potravinách. Ačkoli většina izolátů je nepatogenních a jsou považovány pouze za indikátory fekální kontaminace v potravinách, 10 až 15 % kmenů *E. coli* je oportunních a patogenních. *E. coli* a *Enterococcus spp.* jsou také považovány za indikátory rezistence na antibiotika (Alvarez-Fernandez et al. 2012).

Vlčková et al. (2018) ve studii použila slepice snáškového hybridu ISA Brown s cílem vyhodnotit kvalitu vaječných skořápek, mikrobiální kontaminaci vaječných skořápek

a pronikání mikroorganismů do obsahu vajec ve výběhovém systému ustájení a v obohaceném klecovém systému. Počty *E. coli* (4,51 vs 2,75 log KTJ/vaječná skořápka) byly vyšší ve vejcích z volného výběhu ve srovnání s vejci z obohacených klecí.

Englmaierová et al. (2014) prováděla studii, při které porovnávala, jak oba klecové systémy ustájení, tak ustájení na podestýlce a ve voliérách. Vejce z obou klecových systémů měly významně nižší hodnoty kontaminace vaječných skořápek *E. coli*; konvenční klece měly 3,40 log KTJ/vejce, a obohacené klece měly 3,50 log KTJ/vejce. Rozdíl mezi vejci z podestýlky (5,68 log KTJ/vejce) a vejci z voliér (5,22 log KTJ/vejce) nebyl tak markantní. Ale v porovnání klecových a alternativních chovů je značný rozdíl. Skořápky vajec z alternativních systémů ustájení (podestýlky a voliéry) byly 100krát více kontaminované než vajec z klecí. Podle výzkumu Molnar a Szollosi (2020) v případě konvenčních a obohacených klecových systémů byly hodnoty kontaminace vaječných skořápek z hlediska celkového počtu bakterií a kontaminace bakterií *E. coli* výrazně nižší ve srovnání s vejci z alternativních systémů ustájení (voliéra, podestýlkový chov), přičemž nejvyšší znečištění bylo zjištěno v ustájení na podestýlce. Studie Vlčková et al. (2018), potvrdila, že mikrobiální kontaminace je ovlivněna především systémem ustájení a také dobou skladování vajec. Počty *E. coli* byly vyšší u vajec z volného výběhu (4,51 log KTJ/vaječná skořápka) ve srovnání s vejci z obohacených klecí (2,75 log KTJ/vaječná skořápka).

Alvarez-Fernandez et al. (2012) prováděla studii kontaminace vaječné skořápky v klecových, podestýlkových, výběhových a domácích chovech. Z 240 testovaných vzorků bylo 45 % pozitivních na *E. coli*, s rozsahem 20 % (klecové systémy) až 85 % (domácí produkce). Vejce od nosnic z podestýlkového a výběhového chovu měla prevalenci *E. coli* 35 a 25 %, v tomto pořadí. Celkem 42 (17,5 %) z 240 analyzovaných vajec obsahovalo nečistoty na skořápce. Žádné vzorky z klecových ani výběhových chovů neobsahovaly nečistoty skořápky, zatímco 10 % vajec z podestýlkového chovu nečistoty obsahovalo. Jednu z nejnovějších studií prováděl Guier-Serrano et al. (2021), kde porovnával dva systémy ustájení, výběhový a klecový. Na každé z testovaných farem bylo odebráno pět různých povrchů. Vzorek povrchu je chápán jako vzorek, který představuje plochu povrchu v prostředí, ve kterém slepice žije a tyto povrchy běžně přicházejí do přímého kontaktu se slepicí a vejci. Ze zařízení v klecovém chovu nosnic byly odebrány vzorky začátku a konce pásu pro sběr vajec, krmítka a podlahové mřížky klece. Na farmě s výběhovým chovem nosnic byly odebrány vzorky z krmítka, koše pro sběr vajec, ze slámy a podlahy snáškových hnízd a vchodu do hnízd. V klecovém systému ustájení nebyl

zjištěn žádný významný rozdíl v počtech *E. coli* pro různá místa odběru vzorků. Ve výběhovém systému byl zjištěn významný rozdíl v počtech *E. coli*, které se pohybovaly mezi 1 až 5 log KTJ/cm², v daném pořadí. V obou případech byla sláma ze snáškových hnízd vzorkem s nejvyšším počtem a odlišným od ostatních lokalit.

V konvenčním klecovém systému byly počty *E. coli* považovány za nízké (v řádu 1 log KTJ/cm²) a za normální v případě prostředí, které je v kontaktu se zvířetem a jeho výkaly. Ve výběhovém systému, na rozdíl od konvenčního systému, úrovně *E. coli* naznačovaly zhoršení zdravotních podmínek (Guier-Serrano et al. 2021).

Výsledky se shodují s tím, co uvedl De Reu et al. (2008), tedy že chovy se slaměnou nebo roštovou podlahou mají až devětkrát více bakterií než chovy s klecovými, drátěnými podlahami, vzhledem k nahromadění prachu, hmyzu, nečistot obecně a výkalů slepic. Také v jiné studii bylo analyzováno prostředí obou typů systémů a byly získány vyšší celkové aerobní a koliformní počty v alternativních systémech (voliéra a obohacené klece) než v konvenčních klecových systémech (Jones et al. 2015). Při výzkumu těchto stejných autorů bylo prokázáno, že prostředí výběhového systému obsahuje větší počet mikroorganismů a jejich rozmanitost v důsledku větší expozice vnějšímu prostředí, kde jsou mimo jiné výkaly, půda a hlodavci. (Jones et al. 2012; Guier-Serrano et al. 2021). Toto tvrzení tedy souhlasí s předchozí studií Jones et al. (2012), kdy primárním izolátem, odebraným při výzkumu vajec z výběhového a klecového chovu (196 izolátů; 55 %) byla *E. coli*, přičemž největší počet těchto izolátů pocházel ze vzorků skořápek vajec odebraných ze snáškových hnízd výběhového chovu. Celkový počet infikovaných vzorků skořápek byl 138. Z toho 63 % připadá na skořápky vajec snesených do snáškových hnízd ve výběhovém chovu, 25 % vzorků pochází z vajec snesených mimo hnízda, na podlahu v témž systému ustájení a pouze 12 % kontaminovaných vajec pocházelo z klecového chovu. Stejně tak studie Moyle et al. (2016) potvrzuje, že *E. coli* byly nejčastějším kontaminantem vajec z výběhového systému ustájení.

3.3.6 Enterococcus

De Reu et al. (2008), prováděl výzkum kontaminace vajec mezi konvenčními a obohacenými klecemi. Výsledky byly téměř srovnatelné. Podobný výzkum prováděl i Wall et al. (2008), v němž nenalezl žádné významné rozdíly v podílech špinavých vajec mezi vybavenými a konvenčními klecemi. Vejce produkovaná ve vybavených klecích měla ale lehce vyšší bakteriální kontaminaci než vejce v konvenčních klecích. Úrovně však lze považovat za střední

v obou systémech ustájení. Vejce produkovaná v obohacených klecích měla vyšší počty *Enterococcus* než vejce z konvenčních klecí. Procento izolátů *Enterococcus* bylo 55 % v obohaceném klecovém systému ustájení a 50 % v konvenčním klecovém systému při testování nosnic na začátku snášky, při druhém testování nosnic ke konci snášky se výsledky více rozcházely. Pro obohacený klecový systém byla kontaminace vajec Enterokoky 59 % a pro konvenční klecový systém 41 %.

Ve studii sledující kontaminaci vajec v klecovém a podestýlkovém systému byl zjištěn významný rozdíl v počtu bakterií typu *Enterococcus*. Nejnižší hodnoty byly izolovány z klecí, následoval výběh a nejhůř dopadl podestýlkový chov. Počet bakterií typu *Enterococcus* v případě klecového systému byl 1,08 log KTJ, podestýlkového chovu 3,10 log KTJ a 2,34 log KTJ v případě výběhového systému ustájení. (Belkot a Gondek 2014). Ve studii Vlčková et al. (2018), byly získány podobné závěry jako pro *E. coli* i pro *Enterococcus* 2,56 vs. 1,11 log KTJ/vaječná skořápka, taktéž byly výsledky vyšší u vajec z volného výběhu ve srovnání s vejci z obohacených klecí. Podle výzkumu Englmaierová et al. (2014), měly vejce z obou klecových systémů významně nižší hodnoty kontaminace vaječných skořápek; konvenční klece měly 1,50 log KTJ/vejce, a obohacené klece měly 1,46 log KTJ/vejce. Nejvyšší kontaminace byla zjištěna u vajec z podestýlky (3,58 log KTJ/vejce), kontaminace vajec z voliér nebyla o tolik nižší (3,33 log KTJ/skořápka). Rozdíl mezi klecovými a alternativními systémy ustájení nevycházel příliš velký, zatímco rozdíl uvnitř obou kategorií byl téměř zanedbatelný. Při porovnání obohacených a výběhových systémů chovu hybridních nosnic byly výsledné počty *Enterococcus* (2,56 vs 1,11 log KTJ/vaječná skořápka) vyšší ve vejcích z volného výběhu ve srovnání s vejci z obohacených klecí (Vlčková et al. 2018).

Naproti tomu ve výzkumu Alvarez-Fernandez et al. (2012) nenalezla mezi testovanými systémy ustájení žádný rozdíl v kontaminaci skořápek. Z testovaných vzorků vyšlo 25 % pozitivních na *Enterococcus* v jednotlivých systémech ustájení, s rozsahem ¼ testovaných vajec v konvenčních klecích, tak i v halovém chovu na podestýlce a také ve výběhovém chovu.

4 Závěr

Kvalita vajec je ovlivněna různými vnitřními i vnějšími faktory. Velmi významný vliv na mikrobiální kvalitu vajec má prostředí, kde je nosnice chována a odkud jsou vejce získávána. Vejce je kontaminováno materiály, se kterými přijde po snesení do styku, a to jak s materiály podlahy, snáškového hnízda, tak i vzduchem nebo i pařáty a těly nosnic. Postupem času vznikaly různé systémy ustájení nosnic, které zohledňovaly nejdříve především ekonomickou výhodnost chovu, následně se začaly vytvářet systémy s podmínkami zahrnujícími přirozenější způsoby chovu, zohledňující pohodu zvířat. Dělíme systémy ustájení na klecové a podlahové (chov na podestýlce, aviary a výběhový chov) systémy. Cílem práce bylo posouzení rozdílů v kontaminaci vajec při ustájení slepic v různých systémech chovu a jejich vztah k bezpečnosti produkce.

Ze studií vyplývá, že vejce z klecových systémů jsou mnohem méně mikrobiologicky znečištěna než vejce z podlahových chovů. Co se týká bakterií fekálního znečištění, byly zjištěny hodnoty v řádech až o 2 log KTJ/ skořápku vyšší v podlahových systémech než v systémech klecových. Kontaminace skořápky vejce *Escherichia coli* i *Enterococcus* byla nejvyšší v podestýlkovém chovu, následně ve voliérách. Mezi klecovými chovy byl jen malý rozdíl. Kontaminace vajec bakteriemi rodu *Salmonella* probíhá, jak vnitřním, tak vnějším přenosem. Výzkumy ukazují, že šíření nákazy mezi nosnicemi probíhá rychleji v podlahových systémech chovu. Také bylo dokázáno, že přístup nosnic do venkovního výběhu a kontakt s divokými zvířaty je velkým rizikem nákazy nosnic. Výsledky kontaminace všech zkoumaných materiálů (snášková hnízda, trus atd.) ukazují nejnižší hodnoty opět v klecích a nejvyšší hodnoty ve voliérách nebo v podestýlkových chovech. Mírně odlišné byly výsledky kontaminace rodu *Campylobacter*, kde výrazně vyšší podíl nakažení vykazovaly nosnice z voliéry ve srovnání s konvenční a obohacenou klecí. Výsledky ze stěrů z vybavení ustájení byly různé. Výrazně vyšší hodnoty ukazovaly stěry hnízdních budek v konvenčních klecích oproti voliérám. Naopak hodnoty získané ze škrabek na trus byly vyšší z voliér než z konvenčních klecí. Což ukazuje, že prevalence nákazy nosnic žijících ve voliérách je vyšší, nicméně když mají více prostoru, jsou čistotnější a nekálejí do hnízda. I když nákaza nosnic byla prokázána ve více vzorkách, kontaminace vajec se ukázala jako nízká, ve vaječném obsahu nebyla tato bakterie nalezena téměř vůbec.

Výsledky naznačují, že chovy se slaměnou nebo roštovou podlahou mají až devětkrát více bakterií než chovy s klecovými systémy ustájení. Dochází k mnohem většímu nahromadění prachu, hmyzu, nečistot obecně a výkalů slepic a v alternativních systémech ustájení není možné dosáhnout takové hygieny a oddělení nosnic od nečistot a výkalů jako v systémech klecových. Na druhou stranu by mohlo být určitým řešením zlepšení snáškových hnízd v alternativních systémech, tak aby vejce nezůstávalo v kontaktu s nosnicemi a najít vhodný materiál, jak z pohledu nízké kontaminace, tak ochoty nosnic, snášet sem vejce, protože ze studií vyplývá, že bezpečnost vajec je zvýšena, když slepice v alternativních systémech ustájení používají snášková hnízda. Ve výběhovém chovu je mikrobiální kontaminace rozmanitější, jelikož nosnice mají přístup ven do prostor, kde se pohybují divoká zvířata a potom zanášejí bakterie s sebou do vnitřních prostor a snáškových hnízd. Tento systém je tedy mnohem více odkázán na to, v jakém místě a prostředí je realizován a jaká je v oblasti nálezová situace atd.

5 Literatura

Aerni V, Brinkhof MWG, Wechsler B, Oester H, Frohlich E. 2005. Productivity and mortality of laying hens in aviaries: a systematic review. *Worlds Poultry Science Journal* 61: 130–142.

Alvarez-Fernandez E, Dominguez-Rodriguez J; Capita R, Alonso-Calleja C. 2012. Influence of Housing Systems on Microbial Load and Antimicrobial Resistance Patterns of *Escherichia coli* Isolates from Eggs Produced for Human Consumption 75 (5): 847–853.

Belkot Z, Gondek M. 2014. Bacterial pollution of consumer egg surfaces with regards to the maintenance system of laying hens. *Medycyna Weterynaryjna-Veterinary Medicine-Science and Practice* 70(6): 378-382.

Brannan KE, Anderson KE. 2021. Examination of the impact of range, cage-free, modified systems, and conventional cage environments on the labor inputs committed to bird care for three brown egg layer strains. *Journal of Applied Poultry Research* (e100118) DOI: 10.1016/j.japr.2020.100118.

Brouček J, Benková J, Šoch M. 2011. Technologie a technika chovu drůbeže při splnění podmínek welfare [certifikovaná metodika]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Cox NA, Richardson LJ, Maurer JJ, Berrang ME, Fedorka-Cray PJ, Buhr RJ, Byrd JA, Lee MD, Hofacre CL, O’Kane PM, Lammerding AM, Clark AG, Thayer SG, Doyle MP. 2012. Evidence for horizontal and vertical transmission in *Campylobacter* passage from hen to her progeny. *Journal of Food Protect* 75:1896–1902.

Damaziak K, Musielak M, Musielak C, Riedel J, Gozdowski D. 2021. Reproductive performance and quality of offsprings of parent stock of layer hens after rearing in open and closed aviary system. *Poultry Science* 100(2): 1120-1131.

De Reu K, Messens W, Heyndrickx M, Rodenburg TB, Uyttendaele M, Herman L. 2008. Bacterial contamination of table eggs and the influence of housing systems. *Worlds Poultry Science Journal* 64(1): 5-19.

De Reu K, Rodenburg TB, Grijspeerdt K, Messens W, Heyndrickx M, Tuytens FAM, Sonck B, Zoons J, Herman L. 2009. Bacteriological contamination, dirt, and cracks of eggshells in furnished cages and noncage systems for laying hens: An international on-farm comparison. *Poultry Science* 88(11): 2442-2448.

De Vylder J, Dewulf J, Van Hoorebeke S, Pasmans F, Haesebrouck F, Ducatelle R, Van Immerseel F. 2011. Horizontal transmission of *Salmonella* Enteritidis in groups of experimentally infected laying hens housed in different housing systems. *Poultry Science* 90(7):1391-1396.

Englmaierová, M. 2016. Kvalita vajec slepic z různých systémů ustájení. *Drůbežář-hydinář* 16(1): 4-5.

Englmaierová M., Tůmová E., Charvátová V., Skřivan M. 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech Journal Animal Science* 59: 345-352.

Gast RK., Guraya R, Guard J, Holt PS. 2011. The Relationship Between the Numbers of *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Heidelberg, or *Salmonella* Hadar Colonizing Reproductive Tissues of Experimentally Infected Laying Hens and Deposition Inside Eggs. *Avian Diseases* 55(2): 243-247.

Gast RK, Guraya R, Guard-Bouldin J, Holt PS, Moore RW. 2007. Colonization of Specific Regions of the Reproductive Tract and Deposition at Different Locations Inside Eggs Laid by Hens Infected with *Salmonella* Enteritidis or *Salmonella* Heidelberg. *Avian Diseases* 51(1): 40-44.

Gast RK, Guraya R, Jones DR, Anderson KE. 2014. Horizontal transmission of *Salmonella* Enteritidis in experimentally infected laying hens housed in conventional or enriched cages. *Poultry Science* 93(12): 3145-3151.

Gast RK, Jones DR, Guraya R, Anderson KE, Karcher DM. 2021. Applied Research Note: Internal organ colonization and horizontal transmission of experimental *Salmonella* Enteritidis and *Salmonella* Kentucky infection in vaccinated laying hens in indoor cage-free housing. *Journal of Applied Poultry Research* (e100132) DOI: 10.1016/j.japr.2020.100132.

Gast RK, Regmi P, Guraya R, Jones DR, Anderson EA, Kercher DM. 2019A. Colonization of internal organs by *Salmonella* Enteritidis in experimentally infected laying hens of four commercial genetic lines in conventional cages and enriched colony housing. *Poultry Science* 98(4): 1785-1790.

Gast RK, Regmi P, Guraya R, Jones DR, Anderson EA, Kercher DM. 2019B. Contamination of eggs by *Salmonella* Enteritidis in experimentally infected laying hens of four commercial genetic lines in conventional cages and enriched colony housing. *Poultry Science* 98(10): 5023-5027.

Gondek M, Szkucik K, Belkot Z. 2013. Presence of pathogenic microorganisms on the surface of eggs from different hen-housing systems. *Medycyna Weterynaryjna-Veterinary Medicine-Science and Practice* 69(6): 374-377.

Guier-Serrano M, Davidovich-Young G, Wong-González E, Cubero-Castillo E. 2021. Calidad microbiológica y fisicoquímica y sabor de huevos de gallina de producción convencional o pastoreo. *Agronomía Mesoamericana* (e46140) DOI:10.15517/am.v33i1.46140.

Hannah JF, Wilson JL, Cox NA, Cason JA, Bourassa DV, Musgrove MT, Richardson LJ, Rigsby LL, Buhr RJ. 2011A. Comparison of shell bacteria from unwashed and washed table eggs harvested from caged laying hens and cage-free floor-housed laying hens. *Poultry Science* 90(7): 1586-1593.

Hannah JF, Wilson JL, Cox NA, Richardson LJ, Cason JA, Bourassa DV, Buhr RJ. 2011B. Horizontal Transmission of *Salmonella* and *Campylobacter* Among Caged and Cage-Free Laying Hens. *Avian Diseases* 55(4): 580-587.

Hamilton RMG, Bryden WL. 2021. Relationship between egg shell breakage and laying hen housing systems – an overview. *Worlds Poultry Science Journal* 77(2): 249-266.

Heindl J. 2011. Problematika chovu nosnic z pohledu zavádění obohacených klecí [bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Hemsworth PH. 2021. Cage production and laying hen welfare. *Animal Production Science* 61(10): 821-836.

Holt PS. 2021. Centennial Review: A revisiting of hen welfare and egg safety consequences of mandatory outdoor access for organic egg production. *Poultry Science* (e101436) DOI: 10.1016/j.psj.2021.101436.

Chousalkar KK, Khan S, McWhorter AR. 2021. Microbial quality, safety and storage of eggs. *Current Opinoin in Food Science* 38: 91-95.

Islam Z, Sultan A, Khan S, Alhidary IA, Abdelrahman MM, Khan RU. 2021. Impact of varying housing systems on egg quality characteristics, fatty acid profile, and cholesterol content of Rhode Island Red x Fyoumi laying hens. *Tropical Animal Health and Production* 53(5): 456.

Jones DR, Anderson KE, Guard JY. 2012. Prevalence of coliforms, Salmonella, Listeria, and Campylobacter associated with eggs and the environment of conventional cage and free-range egg production. *Poultry Science* 91(5): 1195-1202.

Jones DR, Anderson KE, Musgrove MT. 2011. Comparison of environmental and egg microbiology associated with conventional and free-range laying hen management. *Poultry Science* 90(9): 2063-2068.

Jones DR, Cox NA, Guard J, Fedorka-Cray PJ, Buhr RJ, Gast RK, Abdo Z, Rigsby LL, Plumlee JR, Karcher DM, Robison CI, Blatchford RA, Makagon MM. 2015. Microbiological impact of three commercial laying hen housing systems. *Poultry Science* 94(3): 544-551.

Jones DR, Guard J, Gast RK, Buhr RJ, Fedorka-Cray PJ, Abdo Z, Plumlee JR, Bourassa DV, Cox NA, Rigsby LL, Robison CI, Regmi P, Karcher DM. 2016. Influence of commercial laying hen housing systems on the incidence and identification of Salmonella and Campylobacter. *Poultry Science* 95(5): 1116-1124.

Ministerstvo zemědělství. 2004. Vyhláška č. 208/2004 Sb., o minimálních standardech pro ochranu hospodářských zvířat. Pages 3245-3247 in *Sbírka zákonů České republiky, 2004, částka 69*. Praha.

Molnar S, Szollosi L. 2020. Sustainability and Quality Aspects of Different Table Egg Production Systems: A Literature Review. *Sustainability* (e7884) DOI: 10.3390/su12197884

Moyle T, Drake K, Gole V, Chousalkar K, Hazel S. 2016. Bacterial contamination of eggs and behaviour of poultry flocks in the free range environment. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 49: 88-94.

Parisi MA, Northcutt JK, Smith DP, Steinberg EL, Dawson PL. 2015. Microbiological contamination of shell eggs produced in conventional and free-range housing systems. *Food Control* 47: 161-165.

Pires PGS, Bavaresco C, Prato BS, Wirth ML, Moraes PD. 2021. The relationship between egg quality and hen housing systems-A systematic review. *Livestock Science* (e104597) DOI: 10.1016/j.livsci.2021.104597.

Rakonjac S, Doskovic V, Boskovic SB, Skrbic Z, Lukic M, Petricevic V, Petrovi DM. 2021. Production Performance and Egg Quality of Laying Hens as Influenced by Genotype and Rearing System. *Brazilian Journal of Poultry Science* 23(2): 001-008.

Rama EN, Bailey M, Jones DR, Gast RK, Anderson K, Brar J, Taylor R, Oliver HF, Singh M. 2018. Prevalence, Persistence, and Antimicrobial Resistance of *Campylobacter* spp. from Eggs and Laying Hens Housed in Five Commercial Housing Systems. *Foodborne Pathogens and Disease* 15(8): 506-516.

Sharma MK, McDaniel ChD, Kiess AS, Loar RE, Adhikari P. 2022. Effect of housing environment and hen strain on egg production and egg quality as well as cloacal and eggshell microbiology in laying hens. *Poultry Science* (e101595) DOI: 10.1016/j.psj.2021.101595.

Schuck-Paim C, Negro-Calduch E, Alonso WJ. 2021. Laying hen mortality in different indoor housing systems: a meta-analysis of data from commercial farms in 16 countries. *Scientific Reports* (e3052) DOI: 10.1038/s41598-021-81868-3.

Sokolowicz Z, Dykiel M, Krawczyk J, Augustynska-Prejsnar A. 2019. Effect of layer genotype on physical characteristics and nutritive value of organic eggs. *Cyta-journal of food* 17(1): 11-19.

Stluka P. 2011. Hluk v chovech drůbeže [bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Tůmová E. 2018. Vliv systému ustájení na welfare a užitkovost slepic nosného typu. *Drůbežář – Hydinář* 18: 24-27.

Tůmová E. 2007. Vliv systému ustájení a výživy na kvalitu masa a vajec drůbeže [studie]. Vědecký výbor výživy zvířat, VÚŽV Praha, 53 s.

Tůmová E, Englmaierová M, Ledvinka Z, Dlouhá G. 2010. Mikrobiální kontaminace vajec z klecového a podestýlkového chovu [certifikovaná metodika]. ČZU v Praze, Praha. ISBN 978-80-213-2107-6.

Vlčková J. 2016. Vliv systému ustájení na vlastnosti skořápky a vnitřní kvalitu vajec [doktorská disertační práce]. Česká Zemědělská Univerzita, Praha.

Vlčková J, Tůmová E, Ketta M, Englmaierová M, Chodová D. 2018. Effect of Housing System and Age of Laying Hens on Eggshell Quality, Microbial Contamination, and Penetration of Microorganisms into Eggs. *Czech Journal Animal Science* 63(2): 51-60.

Wall H, Tauson R, SØrgjerd S. 2008. Bacterial Contamination of Eggshells in Furnished and Conventional Cages. *Journal of Applied Poultry Research* 17(1): 11-16.

Windhorst HW. 2017. Housing systems in laying hen husbandry-First part. *Zootecnica internacional*. Available from: <https://zootecnicainternational.com/featured/housing-systems-laying-hen-husbandry/> (accessed December 2021).

6 Seznam použitých zkratk a symbolů

KTJ – kolonie tvořící jednotky