

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra biologie

Vliv mykotoxinů na skot se zaměřením na zearalenon

Bakalářská práce

Autor: Štěpánka Kunstová
Studijní program: B0511A030001 - Biologie a ekologie
Studijní obor: Biologie a ekologie
Vedoucí práce: RNDr. Jakub Toman, Ph.D.

Hradec Králové

duben 2024

Zadání bakalářské práce

Autor: Štěpánka Kunstová
Studium: S21BI015BP
Studijní program: B0511A030001 Biologie a ekologie
Studijní obor: Biologie a ekologie

Název bakalářské práce: Vliv mykotoxinů na skot se zaměřením na zearalenon
Název bakalářské práce AJ: The effect of mycotoxins on cattle with a focus on zearalenone

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Bakalářská rešeršní práce má za cíl vytvořit ucelený soubor informací o vlivu mykotoxinů na skot se zaměřením na zearalenon. Tedy jeho výskyt a stanovení v krmivech, v biologickém materiálu skotu, a dále pak jeho účinky na zdraví skotu a jeho reprodukci. Nezanedbatelnou kapitolou budou i různé možnosti zkvalitnění krmiva z hlediska snížení obsahu tohoto mykotoxinu.

Martin Weidenbörner: Mycotoxins in Feedstuffs, Springer Science & Business Media, 2007, ISBN 0387464115

Martin Weidenbörner: Natural Mycotoxin Contamination in Humans and Animals, Springer, 2015, ISBN 3319160397

Zadávací pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Toman, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 23.1.2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, ze kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

Štěpánka Kunstová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Jakubu Tomanovi, Ph.D., nejen za odborné vedení práce, ale i za čas, cenné rady a připomínky, které mi věnoval.

Anotace

KUNSTOVÁ, Š. *Vliv mykotoxinů na skot se zaměřením na zearalenon*. Hradec Králové, 2024. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce Jakub Toman. 42 s.

Bakalářská práce podrobně popisuje problematiku mykotoxinů v potravě skotu se zaměřením na zearalenon. V rámci této analýzy jsou podrobně zkoumány nejen biologické a toxikologické vlastnosti zearalenonu, ale také jeho konkrétní dopady na skot. Práce se zabývá možnými zdravotními problémy, které mohou vzniknout v důsledku expozice zearalenonu a analyzuje relevantní vědecké studie. Další část práce se věnuje výskytu zearalenonu v krmivech pro skot. Zároveň také mapuje faktory ovlivňující kontaminaci krmiv, zhodnocuje současné metody monitorování a zdůrazňuje důležitost preventivních opatření. Celkově práce poskytuje komplexní a hloubkový pohled na problematiku mykotoxinů u skotu s důrazem na zearalenon.

Klíčová slova

mykotoxikózy, krmiva, toxicita, mykoestrogen, diagnostika

Annotation

KUNSTOVÁ, Š. *The effect of mycotoxins on cattle with a focus on zearalenone*. Hradec Králové, 2024. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Bachelor Thesis Supervisor Jakub Toman. 42 p.

The bachelor thesis describes in detail the issue of mycotoxins in cattle food with a focus on zearalenone. Within this analysis, not only the biological and toxicological properties of zearalenone are examined in detail, but also its specific effects on cattle. The thesis discusses possible health problems that may arise from exposure to zearalenone and analyses relevant scientific studies. Another part of the thesis deals with the occurrence of zearalenone in cattle feed. It also maps the factors influencing feed contamination, reviews current monitoring methods and stresses the importance of preventive measures. Overall, the thesis provides a comprehensive and in-depth look at the issue of mycotoxins in cattle with an emphasis on zearalenone.

Keywords

mycotoxicosis, feed, toxicity, mycoestrogen, diagnostics

Obsah

Úvod	1
1 Mykotoxiny	2
1.1 Historie	3
1.2 Trávicí procesy u skotu	3
1.3 Mykotoxiny významné pro skot.....	5
1.3.1 Aflatoxiny	6
1.3.2 Trichoteceny	7
1.3.3 Fumonisy	9
1.3.4 Maskované mykotoxiny.....	9
2 Zearalenon	11
2.1 Metabolity zearalenonu.....	13
2.2 Legislativa.....	14
2.3 Metody stanovení	15
3 Zearalenon v krmivech.....	17
3.1 Vznik.....	17
3.2 Dekontaminace.....	18
3.3 Prevence.....	20
4 Problematika zearalenonu v chovu skotu.....	22
4.1 Poruchy reprodukce	22
5 Vliv zearalenonu na skot.....	25
5.1 Působení zearalenonu.....	25
5.2 Diagnostika.....	27
6 Diskuze	28
Závěr.....	31
Seznam použité literatury.....	32
Použité obrázky	42

Seznam obrázků

Obr. 1 – Riziko výskytu mykotoxinů u skotu dle typu užitkovosti.....	5
Obr. 2 – Zearalenon	12
Obr. 3 – Přeměna zearalenonu na jeho metabolity	13
Obr. 4 – Změny hladiny hormonů v průběhu estrálního cyklu	23

Seznam tabulek

Tab. 1 – Dělení dle způsobu kontaminace	2
Tab. 2 – Maximální limity zearalenonu v potravinách.....	14
Tab. 3 – Směrné hodnoty mykotoxinu zearalenon pro krmiva s obsahem vlhkosti 12 %.....	15

Seznam použitých zkratek

AF	Aflatoxin
AMA	Antibody microarray; Protilátkový mikročip
DAS	Diacetoxyscirpenol
DON	Deoxynivalenol
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay; Enzymově vázaný imunosorbentní test
FPIA	Fluorescence polarization immunoassay; Fluorescenční polarizační imunoanalýza
FPS	Flexible pressure sensor; Flexibilní tlakový senzor
FUM	Fumonisin
GC	Gas chromatography; Plynová chromatografie
GC-MS	Gas chromatography – mass spectrometry; Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
GC-MS/MS	Gas chromatography – tandem mass spectrometry; Plynová chromatografie – tandemová hmotnostní spektrometrie
GICA	Gold immunochromatographic assay; Zlatonosferová imuno chromatografická analýza
GIT	Gastrointestinální trakt
HPLC	High – performance liquid chromatography; Vysokoúčinná kapalinová chromatografie
HSD	Hydroxysteroidní dehydrogenáza
IARC	International Agency for Research on Cancer
IS	Immunosensor; Imunosenzor
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LC	Liquid chromatography; Kapalinová chromatografie
LC-MS	Liquid chromatography – mass spectrometry; Kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
LC-MS/MS	Liquid chromatography – tandem mass spectrometry; Kapalinová chromatografie – tandemová hmotnostní spektrometrie

MS	Mas spectrometry; Hmotnostní spektrometrie
NMPECIA	Nano-hybrid-mediated photoelectrochemical immunoassay; Fotoelektrochemická imunoanalýza
QDPECIA	Quantum dot – based photoelectrochemical immunoassay; Fotoelektrochemická imunoanalýza na bázi kvantové tečky
SPTS	Self – powered temperature sensor; Samonapájecí teplotní senzor
TCT	Trichoteceny
TLC	Thin – layer chromatography; Tenkovrstvá chromatografie
TRFIA	Time – resolved fluoroimmunoassay; Imunologická analýza s časovanou fluorescencí
ZEN	Zearalenon
α-ZAL	α -zearalanol
α-ZEL	α -zearalenol
β-ZAL	β -zearalanol
β-ZEL	β -zearalenol

Terminologický slovník

Abort	Potrat; zánik embrya nebo plodu před porodem
Absorpce	Proces, při kterém jedna látka proniká nebo se vstřebává do druhé látky
Acidóza skotu	Hnilobný rozklad obsahu bachoru s výrazně sníženým pH
Aditivum	Látka, která se přidává do potravin, krmiv nebo jiných výrobků za účelem změny jejich vlastností
Adsorpce	Proces, při kterém se molekuly nebo atomy látky, přichytávají nebo přitahují k povrchu druhé látky
Aerobní	Metabolismus probíhá za přítomnosti kyslíku
Afinita	Míra, do jaké dvě entity, části nebo molekuly mají tendenci se vzájemně přitahovat nebo vázat
Anaerobní	Metabolismus probíhá bez přítomnosti kyslíku
Apatie	Minimální nebo žádné reakce na zevní podněty
Biliární exkrece	Vylučování do žluči
Biotransformace	Biokonverze; látky se přeměňují nebo metabolizují v biologickém prostředí
Degradace	Proces, kterým se látka nebo materiál rozkládá, rozpadá nebo ztrácí své původní vlastnosti pod vlivem různých faktorů
Dekontaminace	Proces, kterým se odstraňují nebo snižují nežádoucí kontaminanty, nebezpečné látky nebo patogeny
Dermatotoxický	Schopnost látek poškozovat kůži
Detoxikace	Proces, kterým se odstraňují nebo snižují škodlivé látky, toxiny nebo nečistoty z těla, prostředí nebo materiálů
Diarrhea	Porucha zažívání ve formě častého vyprazdňování řídkých exkrementů
Difuze	Proces samovolného rozptylování částic v prostoru
Dojnice	Samice skotu specializované na produkci mléka
Dorsální	Směr ke hřbetu/páteři

Edém	Otok; v tkáni nebo orgánu se vyskytuje více tekutiny
Endokrinní disruptor	Chemická látka nebo faktor, který může narušit normální funkci endokrinního systému
Endometritida	Zánětlivé onemocnění děložní sliznice
Enterohepatální oběh	Cyklus, kde se látky vylučují do střev, absorbují se zpět do krve a opět vstupují do jater
Estrogen	Hlavní samičí pohlavní hormon, zajišťující funkci reprodukčního systému
Estrus	Vlastní říje
Expozice	Kontakt chemické látky s vnějšími hranicemi živého organismu, při níž dojde k průniku chemické látky do vnitřních částí organismu
Fermentace	Kvašení; přeměna organických látek na jednodušší
Fluktuace	Stálá změna, kolísání, proměnlivost
Glukomannan	Polysacharid, který se nachází ve stěně buněk některých kvasinek
Hematotoxický	Schopnost látek poškozovat krvetvorné tkáně
Hemolakcie	Přítomnost krve v mléce
Hemoragická gastroenteritida	Zánět žaludku a střev, provázený rychlým nástupem krvavého průjmu a zvracení
Hepatotoxický	Schopnost látek poškozovat játra
Hydroxylace	Chemická reakce spočívající v zavedení hydroxylové skupiny do sloučeniny
Hyperestrogenismus	Stav, při kterém jsou hladiny estrogenu v těle nad normálním rozsahem.
Hypoeristaltika	Oslabený nebo zpomalený peristaltický pohyb střev
Chromatografie	Analytická technika používaná k oddělení a identifikaci složek směsi látek
Ikterus	Žloutenka; žluté zbarvení tkání
Imunotoxický	Schopnost látek poškozovat imunitní systém
Inflamatorní	Zánětlivý

Inhibice	Zpomalení nebo znemožnění působení určité látky nebo procesu reakce
Inokulanty	Látky obsahující mikroorganismy, které jsou aplikovány na semena, půdu nebo rostliny s cílem zlepšit růst a produktivitu rostlin
Karcinogenní	Fyzikální, chemické a biologické vlivy, které svým působením mohou vyvolat zhoubné bujení
Kardiotoxický	Schopnost látek poškozovat srdce a krevní oběh
Kaudální	Směr k pánevnímu konci
Kolostrum	Mleživo; je první tekutina, která se tvoří v mléčných žlázách těsně před porodem a pár dnů poté
Kraniální	Směr k hlavě
Laktace	Tvorba a vylučování mléka z mléčné žlázy
Lipofilní	Rozpustné v tucích
Mikroflóra	Populace mikroorganismů, které obývají určitý prostor, často specifický pro daného hostitele; může mít vliv na zdraví
Motilita	Hybnost, pohyblivost
Mutagenní	Schopnost vyvolat genetickou mutaci
Nefrotoxický	Schopnost látek poškozovat ledviny
Neurotoxický	Schopnost látek poškozovat nebo jinak negativně ovlivňovat nervový systém
Nutriční aditivum	Látka, která je přidávána do potravin za účelem zlepšení jejich výživových vlastností nebo fyzikálních vlastností
Patogenní	Organismus, látka nebo prostředí, které je schopno způsobit nemoc nebo škodlivé účinky na živé organismy
Peritecium	Reprodukční struktura, slouží k produkci spor
Probiotikum	Živý mikroorganismus, obvykle bakterie nebo kvasinky, který má příznivý účinek na zdraví hostitele
Radiomimetický	Látky působící stejně jako radioaktivní záření na určité fáze buněčného cyklu
Regurgitace u skotu	Zpětný pohyb obsahu bachoru do dutiny ústní

Rezidua	Zbytky nebo pozůstatky, které zůstávají po určitém procesu
Ruminace	Proces opětovného zpracování potravy; přežvykování
Salivace	Produkce a vylučování slin; slinění
Spermiogenní epitel	Zárodečný epitel varlete
Stání na sucho	Doba od ukončení laktace do porodu
Stomatitida	Zánět sliznice dutiny ústní
Subklinický	Stav, který je přítomen u jedince, ale neprodukuje klinické příznaky
Symbióza	Úzké soužití dvou a více organismů
Teleomorfa	Pohlavní stadium životního cyklu hub
Teratogenní	Způsobující vznik vrozených vývojových vad a defektů zrůdností
Toxicita	Schopnost nebo vlastnost určité látky vyvolávat otravu živých organismů
Umělá inseminace	Metoda umělého oplodnění
Užitkovost	Charakterizuje schopnost produkce
Ventrální	Směr ke končetinám/břišní straně
Vulvovaginitida	Zánět vulvy a pochvy
Welfare	Stav fyzického a psychického zdraví zvířete, žijícího v souladu se svým prostředím.
Zažitina	Natrávená potrava v trávicím traktu

Úvod

Mykotoxiny, sekundární metabolity mikroskopických plísní, představují závažný faktor ovlivňující zdraví hospodářských zvířat, včetně skotu. V této kontextuální problematice nabývá mykotoxin zearalenon (ZEN) zvláštního významu, neboť je znám svými potenciálně nepříznivými účinky na reprodukční systém a celkový zdravotní stav skotu, což navíc ve velkém měřítku ovlivňuje ekonomickou stránku chovů a poukazuje na možná rizika v oblasti veřejného zdraví. Tato bakalářská práce předkládá komplexní analýzu mykotoxinů u skotu s hlavním zaměřením na ZEN.

Práce začíná obecným přehledem mykotoxinů v potravě skotu a jejich biologických účinků. Dále je zaměřena výhradně na ZEN, zkoumajíc podrobně jeho toxikologické vlastnosti a konkrétní důsledky pro organismus skotu. Kombinací literární rešerše a analýzy vědeckých studií je poskytnut pohled na mechanismy působení ZEN na různé systémy organismu skotu.

Další část práce se detailně zabývá výskytem ZEN v krmivech určených pro skot. Identifikují se zde faktory, které mohou ovlivňovat kontaminaci krmiv a analyzují se současné postupy detekce a monitorování. Cílem je nejen kvantifikovat přítomnost ZEN v krmivech, ale též popsat strategie minimalizace expozice skotu tomuto mykotoxinu.

Hlavní záměr této práce spočívá ve vytvoření komplexního pohledu v oblasti působení ZEN na skot a v poskytnutí praktických doporučení pro prevenci a monitorování této problematiky v chovatelské praxi. Získané poznatky mohou posloužit jako základ pro zdokonalení postupů v oblasti výživy skotu s ohledem na velmi podstatnou část, jakou je bezpečnost potravin a kvalita živočišných produktů určených pro lidskou spotřebu.

1 Mykotoxiny

Sekundární metabolity patogenních plísní s vysokou toxicitou a nízkou molekulovou hmotností, nazýváme mykotoxiny. Jejich toxický účinek má vliv na zdravotní stav lidí i zvířat, nazýváme jej mykotoxikóza. Míra působení je ovlivněna mnoha faktory, jako je věk, pohlaví, druh organismu, doba expozice toxinu, jeho koncentrace i toxicita (Peraica *et al.* 1999). Z hlediska jejich chemických a fyzikálních vlastností jsou velmi odolné vůči běžným technologickým procesům, které probíhají během výroby krmiv. Často pak dochází ke kontaminaci krmiva a mohou se tak stát zdrojem vzniku mykotoxikóz, které mohou způsobit akutní nebo chronické intoxikace (Svobodová *et al.* 2017).

Mykotoxiny stojí za jednou z nejzávažnějších problematik ve výživě hospodářských zvířat. Jejich dopad ovlivňuje nejen ekonomickou stránku chovu z hlediska reprodukce a produkce, ale také způsobují nebezpečné zdravotní problémy u zvířat, která přijímají takto intoxikovaná krmiva. Produkty takových zvířat mohou být velmi rizikové v oblasti bezpečnosti potravin a zdraví lidí, jelikož se mykotoxiny mohou v organismu zvířete shromažďovat a měnit na více toxické formy (Suchý a Herzig 2005).

Plísní, které produkují i různé typy mykotoxinů je nepřeborné množství. Mezi jejich produkty navíc vznikají vzájemné interakce, jež ovlivňují výslednou negativitu účinku. Takový společný efekt může být aditivní, antagonistický nebo synergický, což znamená, že se mohou účinky spojit, působit vzájemně proti sobě či jeden toxin zvýší účinnost druhého (Svobodová *et al.* 2017; Garcia 2020). Z toho tedy vyplývá, že jednotlivé mykotoxiny působí méně toxicky a jejich sdružený výskyt v krmivech při sklizni nebo skladování, může způsobit zvýšení toxicity (Dogan a Dal 2022). Dle způsobu kontaminace dělíme plísně do tří skupin (viz Tab. 1). Z čehož vyplývá, že napadení samotných plodin nebo krmiv je možné v průběhu celého procesu růstu i následné výroby (Suchý a Herzig 2005).

Tab. 1 – Dělení dle způsobu kontaminace

Polní plísně	<i>Alternaria, Cladosporidium, Fusarium</i>
Skladištní plísně	<i>Aspergillus, Penicillium</i>
Polní i skladištní plísně	<i>Penicillium</i>

(Svobodová *et al.* 2017)

Plísně, které se na rostlinách nachází již v době sklizně, jejich růst je závislý na vyšší teplotě, hojných deštích a hustotě porostu, se nazývají „polní“. Další skupinou jsou plísně „skladištní“, ty jsou významné hlavně při skladování, kdy jsou plodiny narušovány roztoči a hmyzem, kteří jsou závislí na vyšších teplotách pro svůj vývoj. Třetí skupinou jsou pak plísně „polní i skladištní“,

které jak název napovídá, rostou v obou fázích zpracování krmiv (Suchý a Herzig 2005).

1.1 Historie

Problematika plísní a jejich toxinů sahá pravděpodobně až do počátků zemědělství. V té době lidé museli začít sklizené plodiny skladovat, s čímž souvisí i jejich přesun za účelem obchodu. Skutečnost, že se z lidí stali zemědělci, vytvořila ideální podmínky pro růst patogenních plísní na nesklizených a následně i uskladněných obilovinách. To následně u obyvatel vyústilo v problémy ve formě mykotoxikóz (Pitt a Miller 2017).

V období starověku se lidé domnívali, že když získají náklonnost bohů, zajistí tak ochranu svých polí a stromů před napadením plísněmi. Jednou z těchto snah byl římský festival Robigalia, který byl oslavován 25. dubna, což je doba, kdy byly nejspíš plodiny infikovány. Ve středověku pak propukla epidemie ergotismu (*ignis sacer*), kvůli obilovinám s obsahem námelových alkaloidů *Claviceps purpurea*. Jeho oběti byly zmrzačeny a často docházelo i k jejich úmrtí (Peraica *et al.* 1999; Richard *et al.* 2003).

K nejintenzivnějšímu rozvoji ve výzkumu plísní a jejich toxinů, došlo od roku 1960 po náhlém úmrtí 100 000 krůťat v Anglii. Tato událost je známá jako „Turkey X Disease“ (Blount 1961; Peraica *et al.* 1999; Pitt a Miller 2017). Při analýze etiologie úhynu bylo zjištěno, že se jedná o problematiku v oblasti dietetiky, jelikož zde docházelo k podávání arašídové moučky napadené plísní. Následně byla získána silně toxická látka, která pod UV zářením fluoreskovala. Tato substance byla nazvána aflatoxinem (AF) a prostřednictvím metod chromatografie se podařilo určit jejich rozdělení (Bartík *et al.* 1974).

1.2 Trávicí procesy u skotu

Aby bylo možné porozumět působení metabolitů plísní v organismu skotu, je třeba podrobněji popsat jejich trávicí procesy. Pojem skot, kterým je myšlen tur domácí (*Bos taurus* L.), patří do podřádu přežvýkaví (*Ruminantia*) (Schoch *et al.* 2020). Jejich trávicí soustava je typicky tvořena žaludkem rozděleným na čtyři oddíly – bachor (*rumen*), čepec (*reticulum*), kniha (*omasum*) a slez (*abomasum*) (Parish *et al.* 2022). Hlavní část trávení zajišťuje bachor, ten obsahuje velké množství různých symbiotických mikrorganismů, jako jsou prvoci (např. *Entodinium sp.*, *Epidinium sp.*), houby (např. *Neocallimastix sp.*, *Anaeromyces sp.*) a bakterie (např. *Prevotella ruminicola* B., *Ruminococcus albus* H.

a *Streptococcus bovis* O-J.). Nepřetržitě probíhající proces fermentace, který tyto organismy zajišťují, má za výsledek rozklad přijaté potravy na různě velké částice. V bachoru je stálé pH 6-7, což závisí na složení krmiva. Změny pH ovlivňují i skladbu mikrobiálního společenstva a tím úroveň hladiny těkavých mastných kyselin (zdroj energie přežvýkavců), které tvoří. Tato vysoce diverzifikovaná populace mikroorganismů má velký vliv na kvalitu výsledných produktů – maso a mléko (Matthews *et al.* 2018). Je třeba podotknout, že degradační schopnost bachoru může dosáhnout svého maximálního limitu nebo být ovlivněna změnami v krmivu, či onemocněním podmíněným poruchou metabolismu. Z tohoto důvodu pak dochází k působení přijatých mykotoxinů na zdravotní stav skotu (Rodríguez-Blanco *et al.* 2020). Klíčové je také zachování zdravých střev pro zajištění dostatečné absorpce živin, udržení stabilní mikroflóry a ochranu hostitelských zvířat před patogeny, což je základem pro správnou funkci imunitního systému (Gallo *et al.* 2015).

Největší z oddílů žaludku je bachor, který vyplňuje skoro celou levou polovinu dutiny břišní. Je rozdělen podélnými povrchovými brázdami na pravou (vnitřní) a levou (stěnovou) plochu. Bachor je dále dělen na pět vzájemně napojených segmentů. Dorsální bachorový vak, od kterého se kraniálně nachází bachorová předsíň (do té ústí jícnu) a kaudálně je ukončen ventrálním slepým bachorovým vakem. Bachorová předsíň tvoří spoj s čepcem, do kterého se kraniálně otevírá čepcobachorovým splavem. Čeppec těsně přiléhá na bránci a ventrální břišní stěnu, na jeho vnitřní straně je čepcový žlab, složený ze svalnatých rtů, přecházející do čepcoknihového otvoru. Podélná svalovina levého a pravého rtu, způsobuje při kontrakci tok potravy z jícnu do knihy. Ta je jedinou dutinou předžaludků, která se nachází v pravé polovině brániční kopule. Dutina knihy je tvořena rozmanitými listy, mezi nimi dochází k drcení a zahuštění tráveniny. S vlastním žláznatým žaludkem je kniha propojena pomocí knihoslezového otvoru. Slez, pokračuje skrze vrátník do částí tenkého střeva, nazývaných jako dvanáctník, lačník a kyčelník (Skřivánek 2001).

Samotná ruminace je způsobena kontrakcí bachoru a čepce. Během tohoto procesu dochází k promíchání zažitiny, fermentaci pomocí bachorové mikroflóry a poté k přenosu do knihy. Bachorová fermentace probíhá díky koloniím symbiotických mikroorganismů, jako jsou nálevníci, houby a bakterie (Skřivánek 2001; Matthews *et al.* 2018). Tyto mikrokolonie se nachází na buňkách bachorového epitelu nebo volně v bachorové tekutině. Jednotlivé skupiny organismů mají dle druhu odlišné funkce při trávení. Symbióza skotu a mikroorganismů v bachoru je podstatná pro trávení rostlinných sacharidů, z nichž je získávána energie. Fermentace v bachoru zajišťuje až 85 % potřebné energie pro daného jedince a zastává zásadní funkci detoxikace nebezpečných sloučenin na méně toxické metabolity. Kromě bachorové mikroflóry je pro trávicí pochody důležitý dostatek kvalitní vlákniny, která podporuje stahy svaloviny

v dutinách předžaludků a stabilním vrstvám obsahu bachoru. Procesy bachorové motoriky přechází v ruminaci, která zahrnuje regurgitaci zažitiny do ústní dutiny, následné přežvýkání a smísení se slinami a opětovné polknutí. Celý proces, včetně příjmu stravy, může trvat i třináct hodin denně (Skřivánek 2001).


1.3 Mykotoxiny významné pro skot

Vzhledem k bachorové mikroflóře, je u přežvýkavců významná schopnost detoxikace a degradace mykotoxinů v přijímané potravě na méně toxické metabolity. Jsou tedy mnohem odolnější vůči vlivu mykotoxinů než zvířata nepřežvýkavá. Pro správnou funkci odbourávání toxinů plísni je podstatné, aby nedocházelo k žádným výkyvům v bachorové fermentaci u dospělých jedinců a intenzivnější ochrana mláďat, která ještě nepřežvýkují (Svobodová *et al.* 2017).

Ke správné detoxikaci v organismu dochází u jedinců, kteří nejsou vystavováni stresu. Skot s vysokou užitkovostí je krměn velkým množstvím energeticky bohaté potravy, která se velmi rychle tráví. Dochází tedy k tomu, že bachorové mikroorganismy nemají dostatek času k degradaci toxinů a tím se zvyšuje riziko otravy daného jedince. Krmiva pro skot většinou obsahují více mykotoxinů, což je zapříčiněno podmínkami pro pěstování a následným skladováním. Tuto skutečnost je nutné brát v potaz z důvodu možnosti, že by jeden toxin mohl zvyšovat toxicitu druhého, kvůli jejich interakcím (Biomin 2018).

Z hlediska zdravotní stránky skotu, jsou mykotoxiny (viz Obr. 1) nebezpečné zejména kvůli tomu, že klinické příznaky jsou z počátku nevýrazné a špatně rozpoznatelné. Mykotoxikózy jsou často doprovázeny symptomy sekundárních onemocnění, které příznaky samotného působení mykotoxinů upozadí. Všechny toxiny plísni mají své specifické dopady na organismus zvířat, avšak u celé této skupiny je pozorováno působení, které má za následek pokles produkce, snížení přírůstků a příjmu potravy (Suchý a Herzig 2005).

Obr. 1 – Riziko výskytu mykotoxinů u skotu dle typu užitkovosti

TYP SKOTU	AFLATOXIN	DEOXYNIVALENOL	T-2 TOXIN	FUMONISINY	ZEARALENON
 MLÉČNÝ	VYSOKÉ RIZIKO	STŘEDNÍ RIZIKO	STŘEDNÍ RIZIKO	NÍZKÉ RIZIKO	VYSOKÉ RIZIKO
 MASNÝ	NÍZKÉ RIZIKO	STŘEDNÍ RIZIKO	NÍZKÉ RIZIKO	STŘEDNÍ RIZIKO	VYSOKÉ RIZIKO

(Převzato a upraveno dle Kemin 2024)

1.3.1 Aflatoxiny

AF jsou produkty toxinogenních kmenů rodu *Aspergillus*, například *A. flavus* L., *A. parasiticus* S. a *A. nomius* K. (Ruprich *et al.* 2021). Jedná se o plísňě téměř výhradně skladištní, ke kontaminaci však může dojít již před samotnou sklizní. Místem jejich výskytu jsou nejčastěji tropické oblasti, proto se tato skupina mykotoxinů označuje jako dovozová. Pro svůj růst využívají substráty, jako je kukuřice, bavlník, ořechy, rýže, oves, ječmen, pšenice a proso (Hajšlová 2009). Jejich růst probíhá při teplotách 10-40 °C a vlhkosti substrátu nad 14 %. Toxické účinky AF mohou probíhat akutně či chronicky, zároveň mohou být teratogenní, mutagenní a karcinogenní (Suchý a Herzig 2005; Cheli *et al.* 2013; Mengesha *et al.* 2023). Mnoho studií prokázalo, že tvorba AF je velmi senzitivní právě na teplotu prostředí, jelikož přímo ovlivňuje expresi jejich biosyntetických genů (Jiang *et al.* 2021). Dle modelových studií, byla na základě zjištění zvýšených koncentrací AF v cereáliích v posledních letech, prokázána souvislost se změnami klimatických poměrů. Z toho lze vyvodit, že globální oteplování má vliv na metabolismus plísní, které mohou v nepříznivých podmínkách prostředí, produkovat vyšší množství mykotoxinů (Battilani *et al.* 2016). Byli izolováni čtyři přirození zástupci – AFB₁, AFB₂, AFG₁, AFG₂, přičemž z hlediska míry toxicity je nejvýznamnější AFB₁ a nejméně AFG₂. Od nich jsou dále odvozeny metabolity AFM1 a AFM2 (Svobodová *et al.* 2017).

Vstřebávání AF je vzhledem k jejich lipofilnímu charakteru velmi rychlé, dochází zde k úplné pasivní difuzi v tenkém střevě. Vzhledem k mikroflóře obsažené v batoru, dochází u přežvýkavců k neúplné transformaci mykotoxinů a tím vznikají méně toxické metabolity. To znamená, že skot je méně choulostivý na působení AF v organismu než druhy zvířat, která nepřežvykují. V ledvinách, játrech, plicích a kostní dřevě dochází k vychytávání AFB₁. V jednotlivých orgánech se však příliš nehromadí, protože je postupně vylučován močí, žlučí, trusem a mlékem. Vymizení z organismu trvá několik dní od ukončení příjmu, což závisí na množství mykotoxinu a délce, po kterou je přijímán. Toxicita AFB₁ se zakládá na vzniku reaktivního epoxidu na pozici 2,3 terminálního furanu. Ten je následně vázán na nukleové kyseliny, subcelulární orgány a další buněčné součásti. Dochází tak k poruchám metabolických procesů a tím k narušování správné funkce orgánů. Z popsaného mechanismu účinku AFB₁ vyplývá i jeho karcinogenní, teratogenní a mutagenní působení v organismu. Procesem hydroxylace AFB₁ v játrech, se vytváří AFM₁, ten je následně vylučován z organismu mlékem a močí (Svobodová *et al.* 2017). Dle International Agency for Research on Cancer (IARC) náleží část AF skupině 1, což znamená, že se jedná o prokázané lidské karcinogeny. Nejvýznamnějším karcinogenem z AF je AFB₁ a dále je následován AFG₁, AFB₂ a AFG₂ (Ruprich *et al.*, 2021).

U skotu v případě otravy AF může dojít k poruchám funkce až selhání jater, vzniku krvácenin, ikteru, apatii, poruchám reprodukce až abortům, nesprávné funkci trávení se záněty gastrointestinálního traktu (GIT) a následně i k možnému úhynu. Ovšem takto drastický průběh je u skotu spíše výjimkou, vzhledem k odolnosti dospělých jedinců, díky bachorové mikroflóře (Svobodová *et al.* 2017). Nicméně, AF dokáže bránit syntéze DNA, RNA a ovlivňovat enzymy, což může způsobit snížení mikrobiální aktivity v bachoru (Jiang *et al.* 2021). Mnohem častěji se však vyskytují mykotoxikózy chronického rázu. Dochází k nim kvůli dlouhodobému přijímání nízkých dávek AF, což je velmi problematické hlavně pro chovy se zaměřením na reprodukci. Tento mykotoxin má teratogenní účinky na nenarozená telata u březích samic, v případě samců, způsobuje změny na spermiogenním epitelu. Po delší době dochází i ke karcinogennímu působení u konkrétního jedince. V případě léčby, je jedinou možností odstranění kontaminovaného krmiva. Nová strava by pak měla být zdrojem kvalitních proteinů, aminokyselin, vitamínů a selenu. Vzhledem k hepatotoxickému účinku mykotoxinu, je nutná podpora jater (Svobodová *et al.* 2017).

1.3.2 Trichoteceny

Nejobsáhlejší skupinou mykotoxinů s velmi značnou toxicitou jsou trichoteceny (TCT). Z chemického hlediska se jedná o estery seskviterpenických alkoholů, ve kterých se nachází trichotecenový tricyklický systém. TCT dělíme dle struktury molekul na nemakrocyclické a makrocyclické, ty stojí nezávisle a jsou nazývány stachybotryotoxiny (Svobodová *et al.* 2017). Obecně celá tato skupina působí na organismus imunotoxicky, neurotoxicky, nefrotoxicky, hematotoxicky, dermatotoxicky, kardiotoxicky a také se projevuje i účinky v GIT (Malíř *et al.* 2013).

Nemakrocyclické TCT jsou podstatné právě z klinického hlediska, do této skupiny patří deoxynivalenol (DON), T-2 toxin, diacetoxyscirpenol (DAS) a nivalenol. Tyto mykotoxiny jsou produktem převážně polních plísní rodu *Fusarium*. V organismu jsou velmi rychle metabolizované a vyloučené močí a žlučí (do 3 dnů od požití), ve tkáních nenajdeme stopy TCT už 24 hodin od posledního příjmu ve stravě (Svobodová *et al.* 2017).

Stachybotryotoxiny jsou produkovány plísní *Stachybotrys chartarum* E., ta v závislosti na klimatických parametrech porůstá substráty se zvýšenou vlhkostí, výhradně pak špatně uskladněná objemná krmiva, jako je seno a sláma. Během akutní stachybotryotoxikózy je pozorováno mnoho projevů, počínající nechutí k příjmu potravy, hypoperistaltikou a salivací. Následuje diarrhea, svalový třes, zvýšení teploty a erozivní až nekrotické změny na sliznicích. Průběh mykotoxikózy je často ovlivněn acidózou organismu, které je nutné

předcházet kvalitními a hodnotnými krmivými. Většinou onemocnění končí úhynem jedince (Bartík *et al.* 1974).

Jedním z nejvíce se vyskytujícím a nejsledovanějším mykotoxinem z této skupiny je zmíněný nemakrocyclický DON, produkovaný plísní *Fusarium culmorum* S. a *F. graminearum* S. (Greenhalgh *et al.* 1983; Malíř *et al.* 2013). DON je velmi stabilní ve vysokých teplotách od 170 °C do 350 °C, což jej dělá velmi rizikový při výskytu v potravinách a krmivech (Sobrova *et al.* 2010). Tento mykotoxin je v bachoru přeměňován na de-epoxy-deoxynivalenol, který je z biologického hlediska neaktivní, a proto má pro přežvýkavce nízkou toxicitu (Hajšlová 2009). Z organismu je ve větší míře vylučován močí a v malém množství i trusem, což je ovlivněno přijatou dávkou mykotoxinu. Na druhou stranu není nalézán v mase ani mléce (Miller 2016). Bylo zjištěno, že DON často interaguje s jinými produkty plísní, jako jsou ZEN, fumonisiny (FUM), ochratoxiny, AF a T-2 toxin. U dospělého skotu tento mykotoxin většinou nezpůsobuje žádné symptomy otravy. Dochází zde pouze ke snížení mléčné produkce a v mléce může být zjištěn zvýšený počet somatických buněk, vliv může mít i na reprodukční schopnosti. Telata jsou náchylnější ke vzniku klinických příznaků jako je diarrhea nebo zpomalení růstu (Svobodová *et al.* 2017).

T-2 toxin je produkován rodem *Fusarium*, například *F. tricinctum* S., *F. nivale* S. nebo *F. sporotrichoides* S. V organismu se z něho metabolizací stává HT-2 toxin. Vzhledem k tvorbě lézí na dělicích tkáních, které jsou shodné s těmi z ionizujícího záření, je T-2 toxin označován za radiomimetickou substanci. Jedná se o velmi stabilní toxin, a to jak na světle, tak i při vysokých teplotách (Malíř *et al.* 2013). Z klinického hlediska může mít mírnější, kdy dochází pouze ke sníženému příjmu krmiva, produkce a reprodukčních schopností, či závažnější průběh s možností úhynu. Nejnáchylnější k ovlivnění T-2 toxinem je parenchym mléčné žlázy, kde může způsobit hemolakcii a tím i vznik méně kvalitního kolostra (Svobodová *et al.* 2017).

DAS je další z nemakrocyclických mykotoxinů, jež je produktem plísní *Fusarium tricinctum* nebo *F. sporotrichoides*. Ovšem je známo, že svou toxicitou DAS způsobuje nejzávažnější poruchy ze všech předchozích trichotecenů. Je však z pohledu biologického působení víceméně shodný s T-2 toxinem a proto jsou limitovány v krmivech společně (Svobodová *et al.* 2017). V obilovinách, jako je ječmen, oves, pšenice či kukuřice, se nachází i s dalšími mykotoxiny produkovanými plísní rodu *Fusarium*, včetně ZEN (Wu *et al.* 2020). I z hlediska klinických symptomů se DAS podobá T-2 toxinu, ovšem navíc se zde objevují stomatitidy, krváceniny a eroze na sliznicích. Po úhynu bývají nalezeny degenerativní změny na ledvinách a játrech nebo také hemoragická gastroenteritida. Stejně jako u většiny mykotoxikóz, ani zde neexistuje žádná konkrétní léčba. Proto je základem odstranění kontaminovaného krmiva

a nasazení symptomatické a podpůrné léčby s antibiotiky, aby nedošlo k doprovodným bakteriálním infekcím (Svobodová *et al.* 2017).

1.3.3 Fumonisin

Plísně rodu *Fusarium* vytváří mykotoxiny zvané fumonisin, jejichž nejdůležitějšími producenty jsou *F. verticillioides* N., *F. proliferatum* N., *F. anthophilum* W. a *F. oxysporum* S. Tyto mykotoxiny se řadí mezi složité alifatické sloučeniny, z této skupiny je nejtoxičtější je FUM-B1 (Svobodová *et al.* 2017). FUM jsou podle IARC zařazeny do pravděpodobných lidských karcinogenů (Hajšlová 2008). Struktura FUM může být narušena při zahřátí nad 150-200 °C, k čemuž dochází při některých možnostech zpracování krmiv a potravin (Kamle *et al.* 2019). Jejich působením dochází k narušení metabolismu sfingolipidů a snížení vzniku komplexu. Následně začínají degradovat tkáň, které hojně obsahují sfingolipidy, což je mozek a nervová tkáň. Při dlouhodobém působení je poničen parenchym plic a buňky v játrech a slinivce (Svobodová *et al.* 2017). Četně se FUM vyskytují v kukuřici, rýži, prosu a rostlinných produktech, ze kterých se vyrábí siláže (Hajšlová 2009).

Koně a prasata jsou mnohem náchylnější k problémům způsobenými FUM, než přežvýkavci, konkrétně skot, u něhož tyto mykotoxiny mají dopad zejména na parenchym jater a ledviny. To znamená, že při vyšetření krve jsou zjištěny zvýšené jaterní enzymy a bilirubin. Tyto výsledky však může způsobovat řada jiných faktorů a proto je nutné zajistit rozbor krmiva a tím prokázat případné vysoké koncentrace FUM. Závadné krmivo je třeba ihned odstranit a dále se využívá spíše podpůrných medikamentů a řešení případných symptomů. Působení FUM na skot souvisí zejména s nízkým příjmem potravy a tím dochází ke snížení produkce. (Svobodová *et al.* 2017).

1.3.4 Maskované mykotoxiny

Studie mykotoxikóz u zvířat, založené na klinických vyšetřovacích metodách, odhalily, že koncentrace mykotoxinů v krmivu neodpovídala míře jejich toxického působení. Toto zjištění vyvolalo v 80. letech 20. století mnoho otázek, jelikož toxicita analyzovaného krmiva byla vysoká. S největší pravděpodobností se jednalo o takzvané maskované mykotoxiny, které v tom období nebyly detekovány. Zcela první metabolická přeměna byla zaznamenána u kukuřice s plísní *F. graminearum*. (Hajšlová 2008).

Maskované mykotoxiny jsou formy vázané nejčastěji se sacharidy, vznikající během detoxikačních procesů u rostlin. Je-li rostlina napadena plísní, dokáže spustit sérii obranných reakcí, které slouží, za účasti enzymů, k transformaci toxinů na produkty - konjugáty. Tím se velmi sníží nebo zcela eliminuje jejich negativní vliv na rostlinu a následně mohou být uloženy v buněčných vakuolách. Konjugované mykotoxiny mají navíc odlišné vlastnosti, jako je vyšší polarita, než se vyskytuje u volných forem. Nejvíce prozkoumaným maskovaným mykotoxinem je deoxynivalenol-3-glukosid, který byl prvně izolován z kultury *Zea mays* L. v roce 1992 (Hajšlová 2008; 2009).

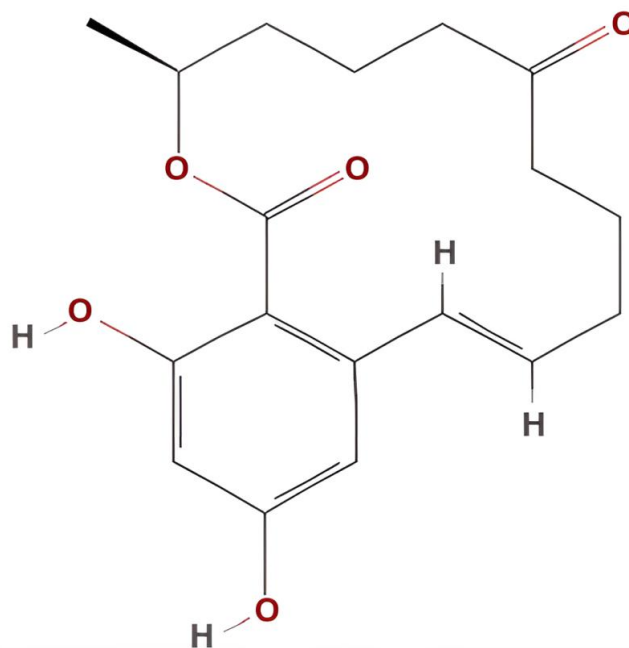
2 Zearalenon

Zcela první zaznamenaný případ, kdy plísni kontaminovaná kukuřice způsobila estrogenní poruchy, pochází již z roku 1928 a byly zjištěny u prasat (McNutt *et al.* 1928). Caldwell *et al.* (1970) uvádí příznaky estrogenismu jako „*Syndrom zahrnující hypertrofii vulvy a příležitostnou vaginální everzi, zvětšení prepucia u kastrovaných samic a prominentní mléčné žlázy u obou pohlaví*“. ZEN byl prvně izolován v roce 1962 z kukuřice infikované plísni rodu *Fusarium*, jednalo se však o částečnou charakteristiku struktury. Jeho úplná chemická struktura pak byla zjištěna a pojmenována až roku 1966 (Stob *et al.* 1962; Urry *et al.* 1966). Do konce 80. let 20. století byl ZEN uváděn, jako velmi významný mykotoxin ve Spojených státech a Kanadě. Postupně se vytrácel až poté, co v kombinaci s vyššími teplotami, začali využívat rychleji zrající hybridní druhy kukuřice. V Evropě se dle výzkumů ZEN účastnil na případech, kdy byly u dívek zjištěny předčasné pubertální změny, vlivem vystavení mykotoxinu v akutní či chronické formě (Pitt a Miller 2017). Spojitostí mezi ZEN a předčasnou pubertou u dívek se zabývaly například studie v Itálii (Massart *et al.* 2008) a Maďarsku (Szuets *et al.* 1997). Některá data také poukazují na možnost, že ZEN může mít negativní dopad na reprodukční systém člověka (Pitt a Miller 2017).

ZEN (Obr. 2) je nesteroidní mykotoxin, který je pro charakter svého působení označován, jako estrogenní. Vzhledem k této vlastnosti se ZEA často identifikuje spíše jako mykoestrogen, protože svou hormonální aktivitou předčí většinu přirozeně se vyskytujících nesteroidních estrogenů (Bennett a Klich 2003; Metzler *et al.* 2010). Jeho působení vede k enormním ekonomickým ztrátám v oblasti chovu hospodářských zvířat a zemědělství (Gari a Abdella 2023). Z chemického hlediska se jedná o makrocyclický laktón kyseliny β -resorcylové s molekulární hmotností 318,4 g/mol, popsany chemickým vzorcem $C_{18}H_{22}O_5$ (Mirocha a Pathre 1979; Pitt a Hocking 2009; EFSA 2011). Dle International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) je nazýván (4S,12E)-16,18-dihydroxy-4-methyl-3-oxabicyclo[12.4.0]octadeca-1(14),12,15,17-tetraene-2,8-dione a nese registrační číslo CAS 17924-92-4 (PubChem 2024). Jeho struktura je podobná pohlavnímu hormonu 17 β -estradiolu, a proto má také obdobnou afinitu a účinek na estrogenové receptory, což následně vede k poruchám plodnosti u hospodářských zvířat (De Ruyck *et al.* 2015). V běžných podmínkách se vyskytuje ve formě bílých mikrokrytalů nebo prášku (PubChem 2024). Dojde-li k expozici UV záření, vykazuje zelenomodrou fluorescenci. ZEN je dobře rozpustný v tučných a alkalických roztocích, bod tání se pohybuje v rozmezí 161–163 °C, přičemž jeho termostabilita přetrvává do 150 °C a při vyšších teplotách začíná docházet k degradaci. Právě jeho nízká citlivost ke změnám prostředí a během zpracování, způsobují jeho následnou stabilitu při skladování a dalších úpravách, což z něho dělá vysoce odolný a tedy i velmi nebezpečný

mykotoxin (Stob *et al.* 1962; Chain 2011; Karlovsky *et al.* 2016; Han *et al.* 2022). ZEN se dle IARC řadí do 3. třídy, zatím není prokázáným karcinogenem pro člověka. Nicméně dle studií u myši bylo prokázáno, že ZEN způsobuje rozvoj rakoviny jater. Navíc byla zjištěna schopnost stimulace růstu buněk rakoviny prsu u člověka (Ji *et al.* 2019; Han *et al.* 2022).

Obr. 2 – Zearalenon



(Převzato a upraveno dle Pubchem 2024)

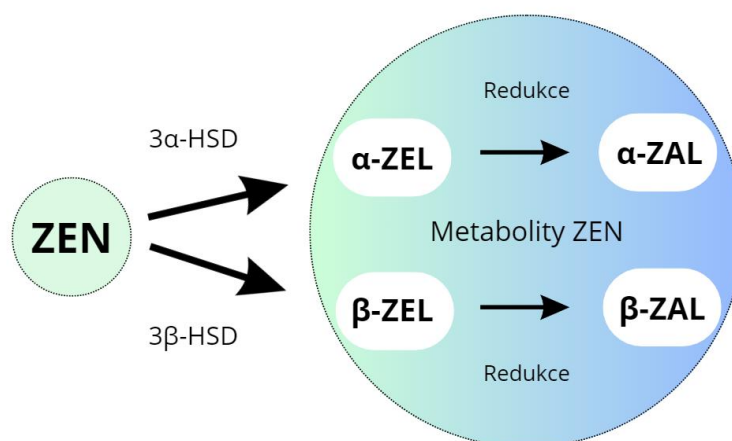
Mykotoxin ZEN, který patří do skupiny těch nejvýznamnějších v zemědělství, je produkován plísněmi rodu *Fusarium*, zejména *F. graminearum* (teleomorfa *Gibberella zeae* P.), *F. culmorum*, *F. equiseti* S. a *F. verticillioides* (Bennett a Klich 2003; Chain 2011; Collins *et al.* 2021). Velká množství ZEN jsou stanovována v kukuřici, pšenici, ječmeni, ovsu, rýži, senu, travní a jetelotravní i vojtěškové senáži. Plodiny mohou být kontaminovány již v období růstu, následně při sklizni a během skladování (Metzler *et al.* 2010; Svobodová *et al.* 2017; Han *et al.* 2022). Navíc se jedná o nejvíce se vyskytující mykotoxin v krmivech živočišného původu, jako jsou rybí a masokostní moučky (Faldíková a Kummer 2002). Ideální podmínky, při kterých plísně vytváří ZEN, jsou při vlhkosti 20-25 °C. Z toho vyplývá, že se ZEN hojně vyskytuje v oblastech s teplým klima a vysokou vlhkostí (Dogan a Dal 2022). Ovšem dle studií bylo zjištěno, že optimální teploty pro plísně rodu *Fusarium* jsou 15-25 °C, v tomto rozmezí také dozrávají jejich peritecia. I přes fakt, že některé rody pochází z tropických oblastí, je kontaminace ZEN běžnější spíše v oblastech s mírnějšími klimatickými poměry (Manstretta a Rossi 2015; Han *et al.* 2022).

ZEN vykazuje kompetitivní afinitu k estrogenovým receptorům, což indukuje reprodukční problémy a estrogenní dysfunkci jak u lidských jedinců, tak u zvířat (Ji *et al.* 2016). V těle se ZEN váže na receptory pro 17- β -estradiol, čímž vytváří komplex, který následně interaguje s estradiolovými místy na DNA. Tato interakce indukuje specifickou syntézu RNA, vedoucí k projevům estrogenismu. ZEN, jakožto slabý estrogen, vykazuje účinnost o dvakrát až čtyřikrát nižší než estradiol (Mostrom 2021). Kvůli interakci s cytosolickými estrogenovými receptory cílových buněk, působí ZEN jako endokrinní disruptor (Vega *et al.* 2017).

2.1 Metabolity zearalenonu

Biologickou aktivitu ZEN výrazně ovlivňuje jeho silná estrogenita, která je ještě zvýšena u některých vznikajících metabolitů (Metzler *et al.* 2010). Hlavními orgány zapojenými do metabolismu ZEN jsou játra a střeva (Han *et al.* 2022). V organismu dochází ke dvěma hlavním způsobům přeměny ZEN, kdy během první (viz Obr. 3) probíhá redukce na α -/ β -zearalenol (α -/ β -ZEL) pod katalytickým působením 3 α -/3 β -hydroxysteroidní dehydrogenázy (HSD), následovanou další redukcí na α -/ β -zearalanol (α -/ β -ZAL). Během druhé fáze se ZEN a jeho metabolity vážou na kyselinu glukuronovou enzymem uridindifosfátglukuronyltransferáza, tím vznikají modifikované nebo maskované metabolity (Wang *et al.* 2019; Han *et al.* 2022). Stereoisomery ZEL, vzniklé při inkubaci ZEN se supernatantem z jater potkanů, byly prvními popsány metabolity u savců (Ueno a Tashiro 1981).

Obr. 3 – Přeměna zearalenonu na jeho metabolity



(Vlastní zpracování)

Bylo zaznamenáno, že buňky jater skotu a granulózní buňky produkují převážně β -ZEL, který je dominantním metabolitem v moči a trusu skotu intoxikovaného

ZEN (Minervini a Dell'Aquila 2008). Orientace hydroxylové skupiny na alifatickém kruhu má významný vliv na estrogenní aktivitu, kde α -ZEL je více estrogenní než β -ZEL a ZEN (Metzler *et al.* 2010). α -ZEL má vyšší estrogenitu než mateřská molekula, ale zvolna se vstřebává v játrech, kde může být metabolizován na β -ZEL s nižší účinností (Gallo *et al.* 2015). Estrogenní aktivita α -ZEL je přibližně třikrát až čtyřikrát vyšší než u β -ZEL, což tyto metabolity činí účinnějšími než ZEN a jsou u hospodářských zvířat vnímány, jako zdroj intoxikace (Gray *et al.* 2016). Bylo zjištěno, že se ZEN v bachorové tekutině *in vitro* mění na vysoce estrogenní metabolit α -ZEL. Endogenní metabolizace ZEN v retikulorumenu jeho estrogenitu zvyšuje kvůli vzniku α -ZEL, ten je 60x účinnější (Gruber-Dorninger *et al.* 2021).

2.2 Legislativa

V Evropské unii jsou koncentrace mykotoxinů v potravinách stanoveny nařízením komise (EU) č. 2023/915 ze dne 25. dubna 2023, o maximálních limitech některých kontaminujících látek v potravinách a o zrušení nařízení (ES) č. 1881/2006 (The European Commission 2023).

Tab. 2 – Maximální limity zearalenonu v potravinách

Produkty určené pro lidskou spotřebu	$\mu\text{g}/\text{kg}$
Nezpracovaná zrna obilovin kromě nezpracovaných kukuřičných zrn určených ke zpracování mokřým mletím a kromě rýže	100
Nezpracovaná zrna kukuřice	350
Obiloviny uváděné na trh pro konečného spotřebitele, obilná mouka, semolina, otruby a klíčky ve formě konečného výrobku uváděného na trh pro konečného spotřebitele kromě rýže a rýžových výrobků	75
Pečivo, jemné a trvanlivé pečivo, sušenky, svačinky z obilovin a snídaňové cereálie kromě rýžových výrobků	50
Kukuřice uváděná na trh pro konečného spotřebitele, svačinky z kukuřice a kukuřičné snídaňové cereálie	100
Kukuřičná mouka neuváděná na trh pro konečného spotřebitele	300
Ostatní mlýnské výrobky z kukuřice neuváděné na trh pro konečného spotřebitele	200
Rafinovaný kukuřičný olej	400
Obilné a ostatní příkrmy pro kojence a malé děti kromě rýžových výrobků	20

(Data dle The European Commission 2023)

Pro množství jednotlivých mykotoxinů v krmivech a krmných surovinách určených pro zvířata bylo vydáno doporučení komise (EU) č. 2016/1319 ze dne 29. července 2016, kterým se mění doporučení Komise 2006/576/ES, pokud jde

o deoxynivalenol, zearalenon, ochratoxin A v krmivu pro zvířata v zájmovém chovu (The European Commission 2016).

Tab. 3 – Směrné hodnoty mykotoxinu zearalenon pro krmiva s obsahem vlhkosti 12 %

Produkty určené pro krmení zvířat	mg/kg
Obiloviny a výrobky z obilovin s výjimkou vedlejších produktů kukuřice	2
Vedlejší produkty kukuřice	3
Krmné směsi pro selata a prasničky, štěňata, koťata, psy a kočky pro reprodukci	0,1
Krmné směsi pro dospělé psy a kočky jiné než v reprodukci	0,2
Krmné směsi pro prasnice a prasata na výkrm	0,25
Krmné směsi pro telata, dojnice, ovce (včetně jehňat) a kozy (včetně kůzlat)	0,5

(Data dle The European Commission 2016)

Navzdory tomu, že kravské mléko a mléčné výrobky jsou celosvětově vysoce produkováné položky, nebyly zde samostatně stanoveny maximální limity koncentrace ZEN a jeho metabolitů, kvůli velmi nízkému množství vylučovaného do mléka (Puga-Torres *et al.* 2021). U dojnic se do mléka dostává méně než 1 % ZEN ve volné nebo konjugované formě (Svobodová *et al.* 2017).

2.3 Metody stanovení

V současné době se pro detekci reziduí ZEN využívají dvě hlavní skupiny metod, jedná se o fyzikálně chemické analýzy a imunoanalýzy (Wang *et al.* 2021). Mezi nejvyužívanější fyzikálně chemické metody patří především tenkovrstvá chromatografie (TLC), vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC), plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS), kapalinová chromatografie - tandemová hmotnostní spektrometrie (LC-MS/MS) a plynová chromatografie - tandemová hmotnostní spektrometrie (GC-MS/MS) (Wang *et al.* 2021; Luo *et al.* 2022). Metoda HPLC je spojena s UV zářením nebo fluorescenčním detektory (Liu a Applegate 2020). Chromatografické metody, buď kapalinová chromatografie (LC) nebo plynová chromatografie (GC) spojené s hmotnostní spektrometrií (MS), jsou vhodné pro kvantitativní analýzu ZEN, i při nízkých koncentracích. HPLC a LC-MS/MS jsou považovány za velmi účinné při stanovení ZEN v krmivech. I když GC-MS vyžaduje pro analýzu polárních sloučenin modifikaci a je časově náročnější než kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (LC-MS), vysoké náklady na zařízení LC-MS a LC-MS/MS omezují jejich použití v primárních laboratořích, zatímco GC-MS je často volen pro analýzu mykotoxinů kvůli své relativní cenové dostupnosti

(De Girolamo *et al.* 2022; Luo *et al.* 2022). TCL je metoda s nejdelší historií v detekci mykotoxinů. MS má nesporné výhody, jako je vysoká citlivost, selektivita, propustnost a přesnost, což umožňuje analýzu více reziduí (Ji *et al.* 2019). Tyto postupy jsou však nákladné, časově náročné a vyžadují předem složité úpravy vzorků, drahá zařízení a odborné znalosti (Wang *et al.* 2021). I přes vysokou přesnost se však nejedná o metody dostupné pro běžné laboratoře či práci v terénu (Ji *et al.* 2019).

Naopak, metody imunoanalýzy, které jsou založené na reakci antigen-protilátka, nabízí vysokou selektivitu i citlivost, tyto techniky jsou navíc jednoduché a dobře využitelné pro velmi rychlou detekci ZEN (Ji *et al.* 2019; Wang *et al.* 2021). Protilátky jsou rozsáhle využívány, jako prvky biologické detekce velkého kontaminantů (Peltomaa *et al.* 2022). Mezi tyto metody patří flexibilní tlakový senzor (FPS), samonapájecí teplotní senzor (SPTS), nano-hybridem zprostředkovaná fotoelektrochemická imunoanalýza (NMPECIA) a také fotoelektrochemická imunoanalýza na bázi kvantové tečky (QDPECIA). Navíc již ověřené metody, jako je enzymově vázaný imunisorbentní test (ELISA), zlatonosferová imunochromatografická analýza (GICA), imunologická analýza s časovanou fluorescencí (TRFIA), fluorescenční polarizační imunoanalýza (FPIA), imunosenzor (IS) a protilátkový mikročip (AMA), poskytují vynikající detekční možnosti. Nicméně, jsou spojeny s určitými nedostatky, jako je omezená specifita jednotlivých imunotestů ZEN, nedostatečná širokospektrální detekce ZEN. Velký význam proto mají kvalitně připravené protilátky, které jsou základem úspěchu pro imunoanalytické metody (Wang *et al.* 2021).

Imunoanalytické metody mají oproti těm chromatografickým, větší selektivitu z hlediska monitorování koncentrací mykotoxinů, což je velmi důležité pro zajištění bezpečnosti potravin. V důsledku globálních změn klimatu se navíc v budoucnu zvýší rozsah kontaminace plodin plísněmi a jejich mykotoxiny. Pro efektivní monitorování rizik je vyžadována rutinní aplikace účinných kontrolních metod, jako je právě imunoanalýza (Ji *et al.* 2019). V oblasti mykotoxinů je velký zájem o vývoj analytických metod, které budou jednoduché, rychlé a nízkonákladové s využitím pro multimykotoxinové i terénní analýzy (Peltomaa *et al.* 2022).

3 Zearalenon v krmivech

U hospodářských zvířat, včetně skotu, dochází k expozici ZEN skrze jednotlivé krmné suroviny a krmiva. Je tomu tak z důvodu velkého rozšíření výskytu tohoto mykotoxinu v plodinách a jiných rostlinných produktech využívaných pro krmení. Vzhledem k tomu, že výživa hospodářských zvířat je velmi rozmanitá, dochází k problému při stanovení přesné úrovně expozice ZEN v jednotlivých složkách krmiva, včetně objemných krmiv, kde není tak rozsáhlá dokumentace. Samotný výskyt mykotoxinu pak bývá zjištěn na základě klinických projevů poruch reprodukce, kvůli jeho působení (Minervini a Dell'Aquila 2008). Denní příjem potravy přežvýkavců obsahuje jaderná krmiva, jako jsou obiloviny, bílkovinná a objemná krmiva, spolu s jejich vedlejšími produkty. Mimo to je často podávána i krmná kukuřice. Všechny tyto složky potravy mohou nést riziko výskytu ZEN (Gallo *et al.* 2015).

3.1 Vznik

Vznik ZEN v plodinách závisí na vlivu teploty v prostředí, srážek i koncentraci oxidu uhličitého v ovzduší, což úzce souvisí se změnami klimatu. Na druhé straně jsou pak faktory z oblasti zemědělské činnosti. Koncentrace mykotoxinů v rostlinách ovlivňují postupy před sklizní i po sklizni a zároveň i druh pěstované plodiny, jelikož každý vykazuje jinou vnímavost ke kontaminaci plísni rodu *Fusarium* (Han *et al.* 2022). ZEN se tvoří hlavně v období před sklizní, dále záleží na dalších okolnostech (Liu a Applegate 2020). Je velmi odolný vůči změnám podmínek při skladování, ale i během procesů zpracování. Zůstává tedy nadále stabilní a nedochází k jeho degradaci (Yazar a Omurtag 2008). Kontaminace plodin plísněmi, které produkují mykotoxiny, se stává celosvětovým problémem úzce souvisejícím s globálním oteplováním. Zvyšující se teploty a celkové změny klimatu podporují šíření a růst plísní (Kinkade *et al.* 2021).

Často dochází ke společnému výskytu více mykotoxinů na jedné plodině zároveň, k tomu dochází kvůli schopnosti plísní tvořit několik druhů sekundárních metabolitů. Následně pak při výrobě kompletních krmných směsí z více kontaminovaných složek, může dojít k setkání mykotoxinů z různých plísní. Taková krmiva pak nejspíš vedou k negativnímu dopadu na příjemce i přes to, že koncentrace jednotlivých mykotoxinů nepřesahují stanovené limity (Ji *et al.* 2016).

3.2 Dekontaminace

Předcházet kontaminaci plodin mykotoxiny je velmi obtížné, a to jak v období před sklizní, tak i během následného skladování krmiv (Gallo *et al.* 2015). Existuje proto mnoho technik, které byly vyvinuty s cílem potlačit růst plísní nebo eliminovat mykotoxiny z kontaminovaných plodin. Avšak, jen málo z nich je schopno plně vyhovět požadavkům, vzhledem k biologické bezpečnosti, vysokým nákladům nebo omezené kapacitě (Huang *et al.* 2019). Postupy využívané k dekontaminaci a detoxikaci by měly splňovat určité podmínky. Musí být účinné pro inaktivaci, zničení nebo nevratné odstranění mykotoxinů, zároveň nesmí způsobovat kumulaci toxických, karcinogenních nebo mutagenních látek či metabolitů v krmivech a potravinách. Dále je nutné zachování vlastností a nutriční hodnoty produktu, přičemž by neměla být ovlivněna ani jeho konečná cena. Navíc musí mít schopnost ničit i spory plísní, aby se tak předešlo pozdní kontaminaci (Gallo *et al.* 2015; Karlovsky *et al.* 2016). Všechna kritéria přípustnosti pro dekontaminační postupy u krmiv jsou definovány v nařízení Evropské komise č. 2015/786 (The European Commission 2015).

Konvenční fyzikální a chemické postupy mají svá omezení, včetně limitované účinnosti, bezpečnostních rizik, ztrát nutriční hodnoty, chutnosti krmiv a nákladného vybavení na provedení (Ji *et al.* 2016). Mezi takové techniky patří třídění, prosévání, čištění, máčení, loupání, mletí, zahřívání, ozařování, studená plazma nebo adsorpční detoxikace. Ne všechny metody však lze využít pro každý mykotoxin a plodinu (Karlovsky *et al.* 2016). Chemické metody zahrnují použití kyselin, zásad, oxidačních činidel nebo aldehydů ke změně struktury mykotoxinů. Nicméně tyto přístupy vyvolávají obavy veřejnosti kvůli reziduíům chemických látek v potravinách a krmivech, které mohou ovlivnit jejich hodnotu (Zhu *et al.* 2017). Trend ovšem směřuje k používání biologických metod degradace mykotoxinů, které se ukázaly jako slibná alternativa, neboť pracují za podmínek šetrných k životnímu prostředí a nedochází u nich k nutričním nebo chuťovým změnám (Ji *et al.* 2016; Vega *et al.* 2017). Mikroorganismy během svého vývoje a růstu, vylučují metabolity nebo enzymy a tím následně dochází k mikrobiální degradaci, jelikož mají schopnost snížit vstřebávání toxinu v GIT a podporují jeho vylučování nebo upravují mechanismy účinku (Rodríguez-Blanco *et al.* 2020; Gari a Abdella 2023). Tyto postupy mohou poskytnout další možnosti k detoxikaci právě ZEN a jejich kombinace s mikrobiálními nebo enzymatickými metodami může ještě zvýšit celkovou efektivitu (Gari a Abdella 2023). Spojení rozvázných správních postupů a začlenění organických nebo anorganických aditiv do krmných dávek může snížit riziko, že skot bude mít problémy se zdravím nebo užitkovostí, po požití kontaminovaného krmiva (Kemin 2024; Garcia 2020).

Proces, kterým mikroorganismy mění molekulární strukturu ZEN, se nazývá biotransformace. Různé cesty biokonverze ZEN a jeho metabolitů způsobí,

že kvůli změně struktury ztratí své estrogenní účinky. Toho je možné dosáhnout prostřednictvím redukce ketonové skupiny, modifikace fenolické hydroxylové skupiny, hydrolýzy laktonového kruhu nebo rozštěpením dihydroxybenzenového kruhu. Tyto změny jsou často označovány, jako degradační dráhy ZEN. (Wang *et al.* 2019). V této oblasti se stala středem zájmu kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* H., která je aktivně vyvíjená a používána jako nutriční aditivum pro detoxikaci ZEN v krmivech. Studie naznačují, že její přítomnost v GIT nejen zlepšuje užitkovost a zdraví zvířat, ale také omezuje absorpci ZEN v těle (Liu *et al.* 2018) Právě glukomannan z buněčné stěny kvasinek *S. cerevisiae* patří mezi nejoblíbenější absorbenty, podporuje imunitní reakce a snižuje poškození jater (Garcia 2020) Extrakty z buněčných stěn i živé buňky se jeví jako efektivní prostředek pro udržitelný pokrok v moderním chovu zvířat. Schopnost absorbovat ZEN byla prokázána i u některých druhů rodu *Lactobacillus*. Například *L. rhamnosus* H., který je běžně používán jako přísada do potravin, má schopnost účinně odstraňovat mykotoxiny z krmiv a zároveň podporovat imunitní systém hostitele, podobně je na tom i *L. plantarum* B. Studie také prokázaly, že síla buněčných stěn koreluje s kapacitou adsorpce ZEN po tepelném a kyselém ošetření. Specifické struktury v buněčných stěnách, umožňují adsorbovat ZEN, čímž se snižuje jeho expozice zvířatům a dosahuje se požadované detoxikace. (Wang *et al.* 2019). Bakterie také prokázaly schopnost vázat toxiny, a jak bylo předpokládáno, výsledky vykazují závislost míry vazby na koncentraci bakterií (Vega *et al.* 2017). Současným středem zájmu je biodegradace ZEN na neškodné produkty pomocí mikroorganismů a enzymů, které jsou nejen šetrné, ale také prospěšné. Velké úspěchy má využití probiotik, jako jsou kvasinky, bakterie mléčného kvašení a rodu *Bacillus*, jelikož adsorbují ZEN a brání tak jeho vstřebávání v těle, což je hlavním požadavkem (Gari 2023).

Nedávné studie se zaměřily na výzkum a rozvoj technologií využívajících enzymy k detoxikaci mykotoxinů. Důležitým poznatkem je, že mnoho druhů mykotoxinů může být právě bachorovou mikroflórou inaktivováno, u ZEN však často jejím působením dochází k metabolizaci především na jeho více estrogenní formu α -ZEL (Catellani *et al.* 2023). V souvislosti s metabolizací ZEN v bachoru, má významné výsledky začlenění aditiv ve formě enzymů. Například enzym ZEN hydroláza ZenA je schopen hydrolýzou esterové vazby laktonového kruhu ZEN změnit na hydrolyzovaný ZEN, který je následně volně dekarboxylován. Tato enzymatická transformace má za následek zásadní snížení účinnosti ZEN, jelikož dle provedených studií, žádná ze vzniklých forem nevyvolává estrogenní odpověď organismu (Gruber-Dorninger *et al.* 2021). Pro urychlení degradace ZEN jsou také často využívány enzymy v kombinaci s probiotiky. Velkým benefitem je pak i jejich pozitivní působení na intestinální bariéru, ta je pak více odolná vůči poškození mykotoxiny a jinými patogenními mikroorganismy (Wang *et al.* 2019). Jednou z problematických oblastí spojených s využitím mikrobiálních kmenů a derivátů jejich enzymů k rozkladu ZEN, je možná fluktuace v účinnosti

degradačního procesu. Efektivita degradace může být ovlivněna faktory, jako je typ a koncentrace ZEN, charakteristika mikrobiálních kmenů a enzymů nebo také podmínky prostředí. Je proto zásadní pečlivě posoudit účinnost těchto metod za rozmanitých podmínek a zajistit, aby při opětovném provedení bylo dosaženo stejných výsledků. Dalším klíčovým aspektem je bezpečnost a možné sekundární účinky spojené s využíváním mikrobiálních kmenů a enzymů k rozkladu ZEN (Gari a Abdella 2023). Enzymy, které se přidávají do krmiva pro zvířata, mohou pomoci detoxikovat ZEN v bachoru a předejít tvorbě estrogenních metabolitů (Gruber-Dorninger *et al.* 2021). Mimo jiné jsou využívána i anorganická aditiva, jako jsou jíly vyrobené z křemičitanů nebo hlinitokřemičitanů, které působí na principu zachycení mykotoxinů do své struktury pomocí elektrických nábojů (Garcia 2020). Běžně se používají produkty zmírňující mykotoxiny obsahující smektinové jíly, ale i buněčné stěny kvasinek a antioxidanty. Studie prokázaly, že MMP (mycotoxin mitigation product) snižují negativní působení mykotoxinů produkovaných rodem *Fusarium* (Catellani *et al.* 2023).

Použití kombinace probiotik s enzymy, které degradují mykotoxiny, představuje inovativní přístup k dekontaminaci mykotoxinů (Huang *et al.* 2019). Biologická detoxikace je momentálně nejčastěji využívanou metodou, která se stala hlavním směrem výzkumu detoxikace mykotoxinů. Tento vývoj nabízí perspektivní možnosti využití probiotik jako adsorbentů mykotoxinů ve výrobní praxi (Wang *et al.* 2019).

3.3 Prevence

V dnešní době je k dispozici mnoho způsobů, jak lze u plodin minimalizovat produkci mykotoxinů ještě v období před sklizní. Mezi takové možnosti patří pěstování odolných odrůd plodin, jejich střídání, péče o půdu, půdní hnojiva a použití chemických či biologických prostředků k ochraně rostlin. Základem je také zajištění vhodných podmínek pro sklizeň a následné skladování, aby se zabránilo růstu plísní a produkci mykotoxinů ve sklizených plodinách. Je si však nutné uvědomit, že i přes veškerá preventivní opatření, není možné zaručit úplnou absenci mykotoxinů v plodinách či dále vyráběných krmivech (Jouany 2007; Karlovsky *et al.* 2016). Podmínky prostředí, jako je vysoká vlhkost a teplota, sucho, poškození hmyzem, a dokonce i některé zemědělské postupy, mohou vlivem stresu způsobit větší náchylnost rostliny ke kontaminaci plísněmi na poli (Cheli *et al.* 2013).

Zejména zrna by měla být uchovávána s důrazem kladeným na jejich strukturní integritu a správné skladování, s obsahem vlhkosti pod 13 % a při nízkých teplotách. Navzdory veškerým opatřením může dojít k poškození a napadení skladovaných zrn plísněmi (Gallo *et al.* 2015). Kontaminovaná zrna

jsou pak odstraňována například pomocí fyzikálních metod, jako je třídění (Jouany 2007). Co se týče konzervovaných krmiv, jako je siláž, nízká koncentrace kyslíku a zvýšený obsah oxidu uhličitého účinně brání růstu plísní. Je tedy důležité dostatečně kontrolovat všechny fáze procesu silážování, aby bylo zajištěno optimální zachování silážovaných plodin (Gallo *et al.* 2015). Silážování je metoda konzervace plodin založená na organických kyselinách produkovaných bakteriemi mléčného kvašení za anaerobních podmínek. Hlavní problematikou při zpracování siláže je nedodržení správných výrobních postupů (Dunière *et al.* 2013). Nevhodné podmínky mohou negativně ovlivnit každou fázi procesu a vystavit tak siláž riziku pronikání vzduchu, což může vést k aktivitě aerobních mikroorganismů. Když se pro zkrmení silo otevře, kyslík začne pronikat dovnitř přední části hmoty a umožní aktivitu mikroorganismů, což může podporovat růst potenciálně toxigenních plísní (Cheli *et al.* 2013). Je důležité využívat správné postupy pro výrobu siláže, to zahrnuje kontrolu vlhkosti plodin při sklizni, používání vhodných aditiv, správnou velikost částic, optimální velikost sila, kompaktnost a rozmístění hmoty, použití fólie (obvykle polyethylenové) nebo jiných materiálů k pokrytí. Mikrobiální inokulanty, jako jsou bakterie mléčného kvašení, v současné době slouží jako ekonomické a praktické alternativy k aditivům na bázi kyselin. Jejich použití při silážování může vylepšit fermentaci v průběhu všech fází procesu (Gallo *et al.* 2015). Příznivé podmínky při silážování, snižují kontaminaci plísní a tím i koncentraci mykotoxinů (Cheli *et al.* 2013).

Kontrola před sklizní a následné snižování kontaminace představují klíčové strategie pro redukci obsahu mykotoxinů v potravinách a krmivech (Zhu *et al.* 2017). Prevence je velmi důležitá, jelikož není mnoho možností, jak zcela zamezit vzniklé problémy a škody, jakmile jsou již přítomny plísně produkující mykotoxiny (Jouany 2007).

4 Problematika zearalenonu v chovu skotu

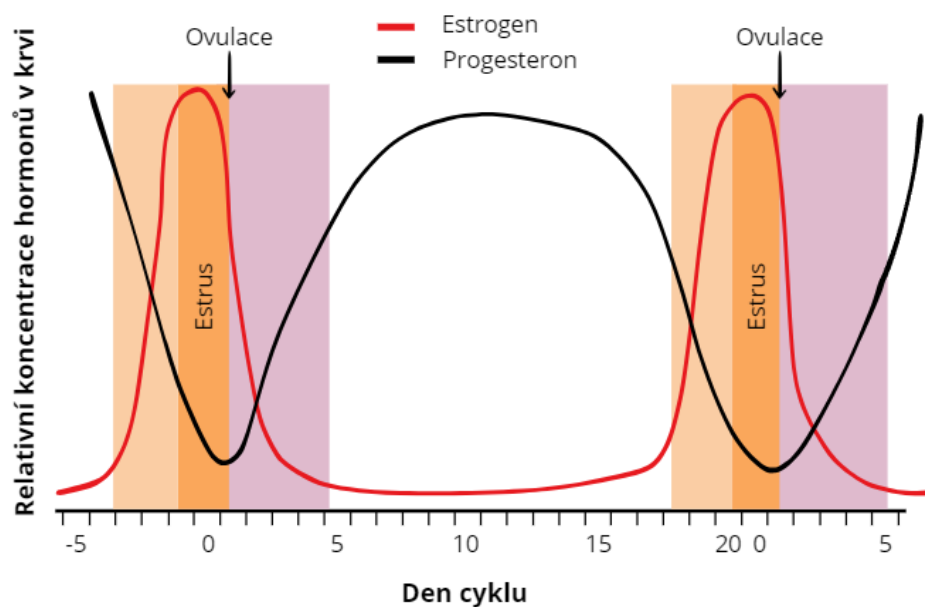
Hospodářská zvířata, jako je právě skot, jsou chována pro svou užitkovost, tedy za účelem získání produktů pro lidskou spotřebu (Buitrago 2021). Reprodukční problémy u skotu snižují plodnost, brání zabřeznutí, způsobují problémy během březosti a při porodu telat, vedou k poporodním komplikacím, prodlužují období před otelením, snižují dojivost a celkovou celoživotní produktivitu (Deka *et al.* 2021). Právě ke vzniku poruch reprodukce vede působení ZEN, což může přivodit v chovu skotu pro mléčnou i masnou užitkovost až enormní ekonomické ztráty (Artavia 2021). Vliv ZEN je navíc často přímo spojován i se snížením mléčné produkce dojnic (Minervini a Dell'Aquila 2008). V chovu skotu, je pro dosažení přijatelných ekonomických výsledků důležitá genetická výbava stáda v kombinaci s vhodnými a vyváženými podmínkami chovu. Bylo popsáno mnoho faktorů souvisejících s chovem krav a managementem, které mohou ovlivnit reprodukční výkonnost stáda (Inchaisri *et al.* 2010).

4.1 Poruchy reprodukce

Procesem reprodukce je u dojnic umožněno zahájení laktace, tím získávání mléka a narození telat pro další chov i produkci. Reprodukční fáze je tedy výchozím bodem každého výrobního procesu, který souvisí se skotem (Buitrago 2021). Jakýkoliv problém v reprodukci má velký dopad na ekonomickou stránku chovu (Artavia 2021; Ropejko a Twaružek 2021). Reprodukční efektivita je celosvětově uznávána jako klíčová pro produktivní a udržitelnost stád skotu (Potter 2019).

Reprodukce je hormonálně řízený proces, který se zakládá na změnách hladiny estrogenu a progesteronu, v průběhu jednotlivých fází se zapojuje i folikulostimulační a luteinizační hormon (LH), gonadoliberin, prostaglandin $F_{2\alpha}$ a prolaktin. Celý estrální cyklus (viz Obr. 4) trvá přibližně 21 dní (Reith a Hoy 2018; Buitrago 2021). Během cyklu skotu se hladina estrogenu drží na nízké a konstantní úrovni až do doby estru, kdy se dramaticky zvýší. Estrogen je zodpovědný za přípravu reprodukčních orgánů skotu na možnou březost. Zároveň také podporuje reprodukční chování. Obvyklá doba trvání estru je přibližně 24 hodin a po jeho odeznění klesá hladina estrogenu do původního stavu (Artavia 2021). Dojde-li tedy v řízeném chovu k nerozpoznání říje, nenastane možnost zabřeznutí, což způsobí ekonomickou ztrátu na daném jedinci. K samotnému estru u skotu dochází spontánně a je tak možné využívat umělou inseminaci (Prýmas 2015; Reith a Hoy 2018). Délka samotné březosti se liší v závislosti na plemeni od 273 do 292 dní (Andersen a Plum 1965).

Obr. 4 – Změny hladiny hormonů v průběhu estrálního cyklu



(Převzato a upraveno dle Artavia 2021)

U skotu dochází k vystavení ZEN prostřednictvím kontaminovaného krmiva (Gray *et al.* 2016). Vysoce produktivní dojnice mají vyšší spotřebu energie a bílkovin, tím pádem potřebují více energeticky bohatého krmiva, než skot mimo laktaci nebo jalovice. Rozmanitost složek potravy pak zvyšuje riziko expozice široké škále mykotoxinů, mohou být tedy více ohrožené z hlediska metabolických problémů a může dojít i k negativnímu vlivu na užitkovost. (Rodríguez-Blanco *et al.* 2020; Rivera-Chacon *et al.* 2024). Prvním zjevným účinkem při expozici ZEN, je významné ovlivnění koncentrací hormonů v krvi. Běžná hladina estrogenu u skotu může být narušena, pokud se ZEN naváže na jeho receptory, což způsobuje změnu přirozené koncentrace i ostatních hormonů. Nevyrovnaná hormonální hladina v jednotlivých fázích může mít důsledky, jako jsou problémy se zabřeznutím nebo falešný estrus (Artavia 2024). Navázáním ZEN na estrogenové receptory, dojde ke vzniku syndromu označovaného jako hyperestrogenismus. Pro něj jsou typickými symptomy edém vulvy, vaginitida, hypertrofie mléčné žlázy a prolapsy (Mostrom 2021; Fink-Gremmels 2008). Bylo zjištěno, že při vysokých dávkách ZEN byl zaznamenán vznik hyperestrogenismu, zatímco u nízkých dávek byla ovlivněna hladina anti-Mülleriánského hormonu v krvi (Gruber-Dorninger *et al.* 2021). Tento hormon brání dalšímu růstu a vývoji zbývajících primárních folikulů, které jsou stimulovány folikulostimulačním hormonem a ovlivňuje výběr dominantního folikulu (Barański *et al.* 2021). Úspěšné otelení následuje poté, co tele zdárně přežije období embryonálního i fetálního vývoje. Působením ZEN však může často docházet k vysoké embryonální mortalitě (Svobodová *et al.* 2017; Rani *et al.* 2018). Spontánní potraty ve stádě skotu byly také spojeny s krmivem kontaminovaným ZEN, kvůli snížení koncentrace progesteronu (Gray *et al.* 2016;

Rani *et al.* 2018). ZEN se svým působením nevyhýbá ani býkům, jelikož zároveň negativně ovlivňuje i motilitu a funkci spermií (Gray *et al.* 2016). Zhoršení kvality spermatu a reprodukční poruchy u skotu vyvolané ZEN, může být závažným faktorem, který stojí za selháváním reprodukce i dalších hospodářských zvířat (Minervini a Dell'Aquila 2008).

Většina standardních metod detekce říje souvisí s vyzorováním z chování skotu. Expozice ZEN může behaviorální projevy ovlivnit, tak že působí jako při říji, i když v této fázi cyklu není. Tento jev je označován jako falešný estrus. Je tedy komplikované správně detekovat období říje, což vede k neúspěšné reprodukci, prodloužení období stání na sucho a tím pádem ke vzniku ekonomických škod pro hospodářství (Artavia 2021).

5 Vliv zearalenonu na skot

Při řešení problematiky mykotoxinů v chovech skotu se obvykle zaměřujeme na přímé ztráty v produkci a zdravotním stavu. Pokud jde o ZEN a jeho metabolity, existují další důvody k obavám, protože má schopnost vázat se na receptory umístěné v různých částech těla a způsobovat mnoho poruch v organismu. (Svobodová *et al.* 2017; Artavia 2024). ZEN putuje do orgánů a tkání, včetně jater, ledvin, střev, tukových tkání a reprodukčních orgánů (Han *et al.* 2022). Klinické symptomy ZEN se liší podle kombinace genetických a environmentálních ukazatelů, je však důležité podotknout, že zde probíhá i mnoho subklinických změn (Witte 2003). Míra projevu klinických příznaků je také závislá zejména na koncentraci a délce působení toxinu (Faldíková a Kummer 2002). Účinky ZEN jsou částečně ovlivňovány procesy eliminace v těle. Biliární exkrece a enterohepatální oběh jsou důležité procesy, které ovlivňují osud ZEN v těle. Tyto procesy vysvětlují rozdílnou citlivost mezi různými druhy hospodářských zvířat (Minervini a Dell'Aquila 2008).

5.1 Působení zearalenonu

Poté, co je skot vystaven ZEN prostřednictvím kontaminovaného krmiva, dochází k metabolizaci již v batoru, následně pak rychle a rozsáhle k absorpci (80-85 %) ZEN ve střevech a metabolizaci v játrech (Minervini a Dell'Aquila 2008; Liu a Applegate 2020; Gruber-Dorninger *et al.* 2021). Metabolity ZEN jsou zjištěny již během 15-60 minut po požití krmiva, což ukazuje, že tento mykotoxin je batorovou mikroflórou rychle metabolizován. U skotu je méně estrogenní β -ZEL detekován více než α -ZEL ve střevním obsahu kontaminovaném nízkými dávkami ZEN, z toho vyplývá, že během expozice velmi nízkým dávkám ZEN převládají detoxikační procesy (Barański *et al.* 2021). Bylo prokázáno, že ZEN může negativně ovlivnit složení batorové mikroflóry a tím i způsobit fermentační změny v batoru. Zaznamenán byl také zvýšený příjem sušiny u intoxikovaného skotu, což pravděpodobně souviselo tendencí prodlužovat dobu přežvykování, kvůli krmivu obsahující ZEN (Hartinger *et al.* 2022; Rivera-Chacon *et al.* 2024).

ZEN dále velkou rychlostí přechází z trávicího systému do organismu. Spolu s jeho metabolity pak může být dobře detekován v krvi, moči a mléce. Zjištěné hladiny ZEN v mléce naznačují, že tělo nedokáže zcela odstranit všechny ZEN, které přijme potravou. Část ZEN se vylučuje močí a stolicí, zatímco další se může dostat do mléka. Tímto způsobem může dojít k potenciální kontaminaci mléčných výrobků (Falkauskas *et al.* 2022). Dále pak v jednotlivých

orgánových soustavách může působit například hepatotoxicky, imunotoxicky, genotoxicky, hematotoxicky, neurotoxicky a dokáže i zvyšovat peroxidaci lipidů (Ji *et al.* 2019; Luo *et al.* 2022). V některých studiích byla při krátkodobé expozici ZEN u skotu pozorována zvýšená srdeční frekvence, dýchání i tělesná teplota (Hartinger *et al.* 2022; Rivera-Chacon *et al.* 2024) Bylo také zjištěno, že ZEN zvyšuje produkci reaktivních forem kyslíku v bovinních neutrofilech a snižuje aktivitu antioxidantních enzymů s následnou tvorbou neutrofilních extracelulárních pastí, napomáhající buňkám neutrofilů ničit extracelulární patogeny. To může vést k významným cytotoxickým a inflamatorním účinkům (Bulgaru *et al.* 2021).

Jak bylo již zmíněno, navázáním ZEN na receptory estrogenu, dochází k narušení endokrinního systému. Tím je způsobena změna produkce a koncentrace reprodukčních hormonů v krvi. Vlivem této nerovnováhy se objevují projevy chování typické pro estrus, i přes to, že dojnice je v jiném období estrálního cyklu (Witte 2003; Artavia 2024). Zrání ovariálních folikulů a proces ovulace jsou inhibovány redukcí hladiny folikulostimulačního hormonu v krevní plazmě, což vyvolává negativní zpětná vazba ZEN na hypofýzu. K tomu u dojnic dochází i při nižších dávkách ZEN, důsledkem jsou pak zhoršené reprodukční schopnosti (Svobodová *et al.* 2017; Luo *et al.* 2022). Příjem ZEN v krmivu vede také k nižší koncentraci LH, který za běžných okolností po dozrání folikulu uvolňuje oocyt. Snížení LH v krvi se pak oocyt z folikulu neuvolní a dojde ke vzniku ovariální cysty. Dle veterinárního vyšetření pomocí ultrazvuku, jsou pak všechny folikuly s průměrem vyšším než 20 mm, hodnocena jako cysta. Existuje souvislost mezi koncentrací ZEN a velikostí průměru folikulu (Artavia 2024; Gallo *et al.* 2015). Cystické onemocnění ovarií je závažnou příčinou reprodukčních problémů u skotu (Ijaz *et al.* 1987). ZEN snižuje i koncentraci hormonu progesteron, to může být pak příčinou náhlých abortů, zejména pak v první třetině březosti (Artavia 2021).

Vlivem působení ZEN navázaného na estrogenové receptory dochází ke vzniku hyperestrogenismu, jehož symptomy mají mnoho podob (Witte 2003; Artavia 2024). Obecně je hlavním příznakem snížení plodnosti až neplodnost (Minervini a Dell'Aquila 2008; Svobodová *et al.* 2017). Hyperestrogenní stavy jsou provázeny vznikem hypertrofie dělohy za změn v morfologii tkání, edémy vulvy, často se objevují i vulvovaginitidy s viditelným mukózním výtokem (El-khodary 2023; Gallo *et al.* 2015; Gray *et al.* 2016; Svobodová *et al.* 2017). Běžně se objevují i otoky mléčné žlázy spojené s možným snížením mléčné produkce (Fink-Gremmels 2008; Minervini a Dell'Aquila 2008). U mladých jalovic může docházet k předčasnému vývoji a zvětšení mléčné žlázy, což může způsobovat budoucí problémy s dojením a větší náchylnost k infekcím (Artavia 2021; El-khodary 2023; Gray *et al.* 2016). Dojnice v poporodním období jsou často zatíženy vznikem endometritid a prolapsů, jelikož je zpomalen proces návratu dělohy do původního stavu (Svobodová *et al.* 2017).

Klinické příznaky působení ZEN lze řešit odstraněním a nahrazením kontaminovaného krmiva (Liu a Applegate 2020). Do normálního stavu se intoxikovaní jedinci obvykle navrací do 4 týdnů, nejsou-li nějak závažně či chronicky postiženi (Mostrom 2021). V případě vzniku například endometritidy nebo vulvovaginitidy lze využít léčbu symptomatickou (Svobodová *et al.* 2017).

5.2 Diagnostika

Diagnostika ZEN u skotu je založena na poklesu reprodukce v chovu a klinických symptomech. Je třeba vyloučit i jiné příčiny problémů, což zahrnuje například infekce v GIT nebo rostlinné estrogény. V neposlední řadě je nezbytná kontrola a analýza potenciálně kontaminovaného krmiva (Mostrom 2021).

V chovech skotu lze možnou expozici ZEN a dalším mykotoxinů detekovat v krmivu pomocí metod pro jejich stanovení (podrobněji viz kapitola 2.3) (Baraňski *et al.* 2021). Nepřímo může analýza proběhnout na základě posouzení konkrétních biomarkerů z odebraných tělních tekutin či tkání. ZEN a jeho metabolity mohou být detekovány v krvi, žluči, moči a mléku. Bylo zjištěno, že krev odebraná z *vena caudalis mediana* zlepšuje spolehlivost diagnózy subklinické ZEN mykotoxikózy (Baraňski *et al.* 2021; Falkauskas *et al.* 2022; Dänicke a Winkler 2015). U skotu je velkou výhodou, že žluč lze odebrat minimálně invazivní technikou, zatímco u prasat je nutná anestezie nebo odběr při pitvě. Metoda LC-MS/MS nabízí možnost analýzy nejen zmíněných tělních tekutin, ale také ze vzorků mozkomíšního moku a folikulární tekutiny (Dänicke a Winkler 2015).

Vyšetřením skotu *post mortem* lze důkladně vyšetřit reprodukční orgány, což může k diagnóze v chovu přispět (Mostrom 2021). Důležitá je, ale také analýza tkání, kde mají obvykle nejvyšší koncentrace játra. Je tomu tak z důvodu intenzivního enterohepatálního oběhu ZEN v těle. U skotu k celkovému objemu reziduí v tkáních nejvíce přispívá β -ZEL (Dänicke a Winkler 2015).

6 Diskuze

Vliv mykotoxinů na skot je tématem stále se zvyšujícího zájmu a výzkumu. Mezi tyto toxiny patří i ZEN, který je jedním z hlavních mykotoxinů, vyskytujících se v plodinách a krmivech pro hospodářská zvířata. Expozice ZEN může mít značný dopad na užitkovost a zdravotní stav skotu. Zearalenon patří mezi skupinu mykotoxinů produkovaných plísněmi rodu *Fusarium*. Jeho vysoká stabilita a odolnost při zpracování způsobuje, že se zachovává i po sklizni a může být pak přítomen v uskladněných krmivech. Jejich prostřednictvím pak dochází k vystavení skotu ZEN. V závislosti na různých parametrech působení ZEN, pak dochází ke vzniku poruch systémů v organismu, klinických příznaků, výkyvům v estrálním cyklu, abortům a snížení užitkovosti. Problémy v oblasti březosti a produkce následně vedou až k enormním ekonomickým ztrátám. Z toho důvodu je vliv ZEN na skot nezanedbatelnou problematikou.

V oblasti vlivu ZEN je dostupných mnoho studií, zejména se zaměřením na prasata, u nichž má působení tohoto mykotoxinu velký význam. V oblasti skotu je tato problematika řešena s nižší intenzitou. Může tomu být zejména z ekonomických důvodů, jelikož pořízení a veškerá péče o skot je velmi finančně i časově náročná. Tento fakt je s největší pravděpodobností odpovědný za to, že dlouhodobých studií je podstatně méně než krátkodobých. Výzkumy, které probíhají kratší dobu, obvykle sledují akutní účinky působení ZEN na zdravotní stav, užitkovost, změny v přijímání krmiva nebo stav mikroflóry.

Například Hartinger *et al.* (2022) vypracovali první studii zaměřující se na krátkodobé podávání ZEN a FUM a jejich akutní působení na bachorovou fermentaci, složení mikroflóry a ruminaci. Většina studií se však z hlediska délky výzkumu staví spíše někde na pomezí, jelikož jsou zde sledovány účinky ZEN na reprodukční systém, poruchy metabolismu i imunity. Již takové studie jsou náročné na provedení. Ovšem pro získání nových informací a posouzení celkového rizika ZEN pro skot, by bylo nutné vypracovat studie v rámci mnoha let. Takový výzkum by mohl mít velký význam nejen z hlediska hlubšího porozumění vlivu tohoto mykotoxinu na skot, ale také by mohl nabídnout řešení pro celou tuto problematiku v oblasti komplexního hodnocení rizik, lepšího pochopení mechanismů účinku, optimalizace preventivních opatření a intervence.

Více informací o tomto tématu by také mohlo vést k novým možnostem revize a regulace, co se týče bezpečnosti krmiv a ochrany zdraví zvířat. To by mělo vliv nejen na zkvalitnění péče o zvířata, ale i zabezpečení veřejného zdraví prostřednictvím kontroly produktů skotu. Ovšem takto dlouhodobá studie, která by mohla i prokázat další účinky, včetně možného karcinogenního působení ZEN u skotu, by byla velmi těžce proveditelná a to zejména z hlediska financí. Jedná se o dlouhověká zvířata, což závisí nejen na plemeni a genetické výbavě,

ale také na míře produkce. Navíc je skot náročný na prostor, péči i množství a složení krmiva. Nesmí být však opomenut i jistý welfare, který je velkým trendem dnešní doby i u ostatních zvířat. Taková studie je tedy v dnešní době a běžných podmínkách spíše nereálná.

Artavia (2024) uvedl, že u dojnic, kterým trvá déle zabřeznout, je až o 75 % vyšší pravděpodobnost, že bude vyřazena z chovu. Z čehož plyne otázka, kolik takových jedinců bylo možná zbytečně posláno na jatka, kvůli působení ZEN na jejich reprodukční systém. Tento problém může být z velké části způsoben nedostatečnou osvětou chovatelů, v oblasti povědomí o ZEN a mykotoxinech obecně. Z toho důvodu pak nemusí docházet k dostatečným kontrolám plodin a krmiv podávaných skotu, z hlediska výskytu plísní. V případě tedy, že dojnice začne mít výkyvy v nádoji nebo má problém zabřeznout, je třeba zvážit různé faktory, které mohou být původcem komplikací. Je obecně známo, že na poruchách reprodukce má největší podíl management chovu. Na místě je tedy začít s hledáním příčiny ze strany chovatele. V úvahu lze brát, jako potenciální příčinu například stres z vnějšího prostředí. Ovšem obvykle bývá hlavním problémem složení a kvalita krmiva. Často se stane, že je krmná dávka špatně vypočítána nebo složena, což má na užitkovost, reprodukci a celkový zdravotní stav skotu zásadní vliv. Může ale nastat situace, že i po úpravách stravy a přezkoumání podmínek chovu problémy přetrvávají. V takovém okamžiku přichází na řadu možné plísně a jejich mykotoxiny kontaminující krmiva.

Projevy ZEN závisí na jeho koncentraci, délce expozice, ale i na konkrétním jedinci. Může se stát, že nemusí být viditelné žádné klinické příznaky, což jen znesnadňuje stanovení diagnózy. Základem je tedy stanovení ZEN pomocí analýzy krmiva dle dostupných metod. Lze také provést analýzu odebraných tělních tekutin postiženého jedince. V případě pozitivního nálezu ZEN je nejdůležitějším krokem odstranění kontaminovaného krmiva a jeho nahrazení. Je pravděpodobné, že ne každý chovatel je dostatečně informován o této problematice, může tak docházet ke zbytečnému vyřazení dojnice z chovu. S tím souvisí i ekonomické ztráty u každého postiženého jedince, kterým by bylo možné předejít včasnou detekcí a prevencí. Základem problematiky mykotoxinů jsou nejen vhodné a efektivní metody dekontaminace, stanovení a prevence, ale také dostatečná informovanost chovatelů i zemědělců, u kterých to vše začíná.

V poslední době je v chovu hospodářských zvířat velmi diskutovaným tématem vliv stresu. Ten může být způsoben mnoha různými činiteli, ať už se jedná o vnější prostředí či zdravotní stav. Je-li skot vystaven jakémukoliv stresovému faktoru, dochází ke snížení jeho užitkovosti. ZEN nemusí být z ekonomické stránky problematický jen v oblasti reprodukce, ale může působit významné poruchy v celém organismu, kvůli čemuž je jedinec ve stresu. Z toho důvodu může docházet ke snížené produkci mléka. Stres a problémy vyvolané prostřednictvím mykotoxinů, jako je ZEN, mohou měnit složení mléka, ale i jeho barvu a chuť.

Chronická expozice ZEN může vést k celkovému zhoršení kondice, což může negativně ovlivnit i proces nabírání svalové hmoty, tím je snížena i masná produkce. Stresové hormony mají významné místo i v oblasti kvality masa, která je tím nepříznivě ovlivněna. ZEN může mít vliv i na metabolické procesy v organismu skotu. To může vést k nerovnováze v energetickém metabolismu a změnám v rozprostření tuků a svalové hmoty, což může také ovlivnit kvalitu masa. S tím souvisí i změny ve struktuře svaloviny, které mají následně dopad na texturu a chuť masa. Působení ZEN tedy může způsobovat velké ekonomické ztráty, nejen pro samotné chovy, ale také v oblastech masné a mléčné výroby.

Z hlediska metod stanovení se využívají dvě zmíněné skupiny metod, což jsou fyzikálně chemické analýzy a imunoanalýza. Jak uvádí Peltomaa *et al.* (2022), je velký zájem o možnosti, které budou rychlé, jednoduché a ekonomicky výhodné. Mnoho studií se v této oblasti opírá o metody imunoanalýzy, je ovšem nutné brát v potaz, jejich míru úspěšnosti oproti metodám fyzikálně chemickým, které jsou velmi přesné. Jsou ale také více náročné na provedení a náklady. V této problematice se však musí dbát na kvalitu, nikoli kvantitu. Jinak není možné dosáhnout požadovaných relevantních výsledků a efektivních možností řešení. Je proto důležité, aby byly využívány a vyvíjeny takové metody, které zajistí opravdu kvalitní zpracování výsledků, což bude nejspíš vždy alespoň minimálně na úkor rychlosti nebo ceny. Podobně jsou diskutovány i metody dekontaminace a prevence ZEN a obecně mykotoxinů v krmivech hospodářských zvířat.

Vše samozřejmě začíná již na poli, kde je nutné dodržovat ověřené postupy pro pěstování plodin a následnou slizeň i skladování, což se může někdy ukázat jako problém. Následné procesy dekontaminace plodin je opět možné provádět více typy metod. Jak ovšem uvádí například Ji *et al.* (2016), trendem dnešní doby a velmi perspektivní možností pro budoucnost jsou biologické metody degradace mykotoxinů. Jsou pro to využívány různé druhy mikroorganismů, jako jsou kvasinky nebo bakterie, ideálně v kombinaci s enzymy. Velkou výhodou je nejen šetrnost pro životní prostředí, ale hlavně schopnost bezpečné dekontaminace plodin s mnoha benefity, jako je zlepšení nutričních vlastností krmiv i pozitivního působení na celkový zdravotní stav hospodářských zvířat.

Pro efektivní řešení této problematiky je nejdůležitější, aby zde probíhala i jistá spolupráce mezi chovateli, vědci, veterináři, zemědělci i výrobci krmiv na monitorování a minimalizaci expozice ZEN u skotu. Jen tak je do budoucna možné účinně omezit zdravotní rizika a ekonomické ztráty spojené s tímto mykotoxinem.

Závěr

Rešeršní bakalářská práce byla zaměřena na problematiku mykotoxinů se zaměřením na ZEN a jeho dopady na chov a zdravotní stav skotu. Na základě analýzy vědeckých studií a dalších dostupných zdrojů, byl vytvořen ucelený komplexní pohled na problematickou oblast působení ZEN na skot, což úzce souvisí s riziky pro veřejné zdraví. Zároveň byly identifikovány komplikace spojené s expozicí skotu ZEN a popsány strategie jeho detekce a minimalizace v krmivech.

V úvodu práce byl vypracován obecný přehled problematiky mykotoxinů u skotu, včetně významných zástupců a jejich popisu. Dále se stal hlavním tématem výhradně ZEN. Tento mykotoxin byl v práci podrobně popsán, zejména pak z hlediska toxikologických vlastností a konkrétních důsledků jeho působení. Zjištění této práce ukazují, že ZEN může závažně působit na reprodukční systém i celkový zdravotní stav skotu, což je propojeno se ztrátami v oblasti ekonomické stránky chovu a může mít dopad i na lidské zdraví. Byly identifikovány faktory ovlivňující kontaminaci plodin pro výrobu krmiv ZEN. Je třeba zdůraznit, že z dlouhodobého hlediska může mít globální oteplování významný vliv na vznik plísní a produkci mykotoxinů. Proto je nezbytné brát v úvahu i jejich interakce s environmentálními faktory při vývoji efektivních strategií prevence i monitorování mykotoxinů obecně. Byly zhodnoceny současně využívané metody detekce a dekontaminace mykotoxinů v krmivech. V této oblasti bylo z dostupných studií možné vyvodit, že pro budoucnost jsou nejvíce perspektivní biologické techniky, využívající přirozených vlastností mikroorganismů se schopností degradovat mykotoxiny. Biologické metody jsou nejen šetrné pro životní prostředí, ale jejich význam vychází z toho, že zlepšují nutriční vlastnosti krmiv a působí tak pozitivně na zdraví a užitkovost nejen skotu. Ochrana plodin a následně i krmiv před kontaminací plísní je základním kamenem úspěchu pro efektivní prevenci expozici skotu ZEN a dalších mykotoxinů, což do jisté míry zamezuje vzniku této problematiky v chovu.

Dále se pak práce detailně zabývala, problematikou výskytu ZEN a jeho vlivu na chov skotu. Podrobně jsou zde popsány účinky ZEN v organismu skotu, které se projevují mnoha poruchami související s reprodukčním systémem. Nechybí ani část vysvětlující, jak probíhá estrální cyklus skotu a samotná březost, včetně toho, jakým způsobem tato období ovlivňuje příjem kontaminovaných krmiv. ZEN svým působením narušuje hormonální rovnováhu v jednotlivých částech cyklu, což je pak příčinou problémů se zabřeznutím nebo abortů. Na základě vědeckých studií byly v této práci navrženy možnosti diagnostiky i prevence expozice skotu ZEN, to může přispět i z hlediska bezpečnosti potravin a kvality živočišných produktů určených pro lidskou spotřebu.

Seznam použité literatury

- ANDERSEN, H., PLUM, M., 1965. Gestation Length and Birth Weight in Cattle and Buffaloes: A Review 1, 2. *Journal of Dairy Science* [online]. 48(9), 1224–1235 [vid. 2024-04-03]. ISSN 0022-0302. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(65)88431-4
- ARTAVIA, I., 2021. Zearalenone: The Enemy of the Cow Breeding Program. *DSM – Biomin Holding GmbH* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.biomin.net/science-hub/zearalenone-the-enemy-of-the-cow-breeding-program/>
- ARTAVIA, I., 2024. Low dairy cow conception rate? Consider zearalenone's role. *DSM* [online]. [vid. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.dsm.com/anh/news/feed-talks/articles/low-dairy-cow-conception-rate--consider-zearalenone-s-role.html>
- BARAŃSKI, W., GAJĘCKA, M., ZIELONKA, Ł., MRÓZ, M., ONYSZEK, E., PRZYBYŁOWICZ, K. E., NOWICKI, A., BABUCHOWSKI, A. a GAJĘCKI, M. T., 2021. Occurrence of Zearalenone and Its Metabolites in the Blood of High-Yielding Dairy Cows at Selected Collection Sites in Various Disease States. *Toxins* [online]. 13(7), 446 [vid. 2024-04-03]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins13070446
- BARTÍK, M., PISKAČ, A., MERTLÍK, J. a ŠIKULA, J., 1974. *Veterinární toxikologie*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. ISBN 07-010-74.
- BATTILANI, P., TOSCANO, P., VAN DER FELS-KLERX, H. J., MORETTI, A., CAMARDO LEGGIERI, M., BRERA, C., RORTAIS, A., GOUMPERIS, T. a ROBINSON, T., 2016. Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports* [online]. 6, 24328 [vid. 2024-03-05]. ISSN 2045-2322. doi: 10.1038/srep24328
- BENNETT, J. W. a KLICH, M., 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews* [online]. 16(3), 497–516 [vid. 2024-03-03]. ISSN 0893-8512. doi: 10.1128/CMR.16.3.497-516.2003
- BIOMIN, 2018. *Mycotoxin Compendium*. Getzersdorf: BIOMIN Holding GmbH.
- BLOUNT, W. P., 1961. Turkey "X" Disease. *J. Br. Turkey*. 9, 55–58.
- BUITRAGO GARCIA, J. A., 2021. Reproductive management of dairy cattle - Anatomy of reproductive tract and estrous cycle of cow. *Teaching notes on dairy production, New Mexico State University, Dairy Extension Program* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/356757356_Teaching_Notes_on_Dairy_Production_REPRODUCTIVE_MANAGEMENT_OF_DAIRY_CATTLE_MANAGEMENT_OF_THE_POSTPARTUM_PERIOD

- BULGARU, C. V., MARIN, D. E., PISTOL, G. C. a TARANU, I., 2021. Zearalenone and the Immune Response. *Toxins* [online]. 13(4), 248 [vid. 2024-04-05]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins13040248
- CALDWELL, R. W., TUIITE, J., STOB, M. a BALDWIN, R., 1970. Zearalenone Production by Fusarium Species 1. *Applied Microbiology* [online]. 20(1), 31–34 [vid. 2023-12-29]. ISSN 0003-6919. doi: 10.1128/am.20.1.31-34.1970
- CATELLANI, A., GHILARDELLI, F., TREVISI, E., CECCHINATO, A., BISUTTI, V., FUMAGALLI, F., SWAMY, H. V. L. N., HAN, Y., VAN KUIJK, S. a GALLO, A., 2023. Effects of Supplementation of a Mycotoxin Mitigation Feed Additive in Lactating Dairy Cows Fed Fusarium Mycotoxin-Contaminated Diet for an Extended Period. *Toxins* [online]. 15(9), 546 [vid. 2024-04-01]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins15090546
- COLLINS, S. L., WALSH, J. P., RENAUD, J. B., MCMILLAN, A., RULISA, S., MILLER, J. D., REID G. a SUMARAH M. W., 2021. Improved methods for biomarker analysis of the big five mycotoxins enables reliable exposure characterization in a population of childbearing age women in Rwanda. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association* [online]. [vid. 2024-03-03]. ISSN 1873-6351. doi: 10.1016/j.fct.2020.111854
- DÄNICKE, S. a WINKLER, J., 2015. Invited review: Diagnosis of zearalenone (ZEN) exposure of farm animals and transfer of its residues into edible tissues (carry over). *Food and Chemical Toxicology* [online]. 84, 225–249 [vid. 2024-04-05]. ISSN 0278-6915. doi: 10.1016/j.fct.2015.08.009
- DE GIROLAMO, A., LIPPOLIS, V. a PASCALE, M., 2022. Overview of Recent Liquid Chromatography Mass Spectrometry-Based Methods for Natural Toxins Detection in Food Products. *Toxins* [online]. 14(5), 328 [vid. 2024-03-23]. ISSN 2072-6651. doi:10.3390/toxins14050328
- DE RUYCK, K., DE BOEVRE M., HUYBRECHTS, I. a DE SAEGER, S., 2015. Dietary mycotoxins, co-exposure, and carcinogenesis in humans: Short review. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* [online]. 766, 32–41 [vid. 2024-03-10]. ISSN 1383-5742. doi:10.1016/j.mrrev.2015.07.003
- DEKA, R. P., MAGNUSSON U., GRACE, D., RANDOLPH, T. F., SHOME, R. a LINDAHL, J. F., 2021. Estimates of the Economic Cost Caused by Five Major Reproductive Problems in Dairy Animals in Assam and Bihar, India. *Animals* [online]. 11(11), 3116 [vid. 2024-04-03]. ISSN 2076-2615. doi: 10.3390/ani11113116
- DOGAN, V. a DAL, S. D., 2022. Negative effects of zearalenone on reproductive productivity in dairy cattle. *Veterinary Journal of Kastamonu University* [online]. 1(1), 42–57 [vid. 2023-12-22]. ISSN 2822-4922. Dostupné z: <https://dergipark.org.tr/en/pub/vetjku/issue/71325/1146433>

- DUNIÈRE, L., SINDOU, J., CHAUCHEYRAS-DURAND, F., CHEVALLIER, I. a THÉVENOT-SERGENTET, D., 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 182(1), 1–15 [vid. 2024-03-31]. ISSN 0377-8401. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006
- EFSA, 2011. Panel on Contaminants in the Food Chain: Scientific Opinion on the risks for public health related to the presence of zearalenone in food. *EFSA Journal* [online]. 9(6), 2197 [vid. 2024-03-03]. ISSN 1831-4732. doi: 10.2903/j.efsa.2011.2197
- EL-KHODARY, S. A., 2023. Mycotoxins in ruminants- Symptoms, lesions, and pathogenesis. *MycotoxinSite* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://mycotoxinsite.com/mycotoxins-ruminant-animals-symptoms-lesions-pathogenesis-from-clinical-point-view/?lang=en>
- FALDÍKOVÁ, L. a KUMMER, V., 2002. Účinky mykotoxinů na zdraví a reprodukci hospodářských zvířat. <https://naschov.cz/> [online]. [vid. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://naschov.cz/ucinky-mykotoxinu-na-zdravi-a-reprodukcii-hospodarskych-zvirat/>
- FALKAUSKAS, R., BAKUTIS, B., JOVAIŠIENĖ, J., VAIČIULIENĖ, G., GERULIS, G., KERZIENĖ, S., JACEVIČIENĖ, I., JACEVIČIUS, E., a BALIUKONIENĖ, V., 2022. Zearalenone and Its Metabolites in Blood Serum, Urine, and Milk of Dairy Cows. *Animals: an Open Access Journal from MDPI* [online]. 12(13), 1651 [vid. 2024-04-04]. ISSN 2076-2615. doi: 10.3390/ani12131651
- FINK-GREMMELS, J., 2008. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. *The Veterinary Journal* [online]. 176(1), Special Issue: Production Diseases of the Transition Cow, 84–92 [vid. 2024-03-22]. ISSN 1090-0233. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.034
- GALLO, A., GIUBERTI, G., FRISVAD, J. C., BERTUZZI, T. a NIELSEN, K. F., 2015. Review on Mycotoxin Issues in Ruminants: Occurrence in Forages, Effects of Mycotoxin Ingestion on Health Status and Animal Performance and Practical Strategies to Counteract Their Negative Effects. *Toxins* [online]. 7(8), 3057–3111 [vid. 2024-03-09]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins7083057
- GARCIA, A., 2020. Mycotoxins in dairy cattle diets II: Prevention and treatment. *Animal Nutrition & Health* [online]. [vid. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://dellait.com/mycotoxins-in-dairy-cattle-diets-ii-prevention-and-treatment/>
- GARI, J., 2023. Current review of biodegradation and detoxification strategies for zearalenone contaminated food and feed. *International Journal of Secondary Metabolite* [online]. [vid. 2024-03-10]. 11, 157–168. doi: 10.21448/ijsm.1271127

- GARI, J. a ABDELLA, R., 2023. Degradation of zearalenone by microorganisms and enzymes. *PeerJ* [online]. 11, e15808 [vid. 2024-03-07]. ISSN 2167-8359. doi: 10.7717/peerj.15808
- GRAY, S. L., LACKEY B. R. a BOONE, W. R., 2016. Effects of Panax ginseng, zearalenol, and estradiol on sperm function. *Journal of Ginseng Research* [online]. 40(3), 251–259 [vid. 2024-03-10]. ISSN 1226-8453. doi: 10.1016/j.jgr.2015.08.004
- GREENHALGH, R., NEISH, G. A. a MILLER, J. D., 1983. Deoxynivalenol, acetyl deoxynivalenol, and zearalenone formation by Canadian isolates of *Fusarium graminearum* on solid substrates. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 46(3), 625–629 [vid. 2024-02-25]. ISSN 0099-2240. doi: 10.1128/aem.46.3.625-629.1983
- GRUBER-DORNINGER, CH., FAAS, J., DOUPOVEC, B., ALESCHKO, M., STOIBER, CH., HÖBARTNER-GUSSL, A., SCHÖNDORFER, K., KILLINGER, M., ZEBELI, Q. a SCHATZMAYR, D., 2021. Metabolism of Zearalenone in the Rumen of Dairy Cows with and without Application of a Zearalenone-Degrading Enzyme. *Toxins* [online]. 13(2), 84 [vid. 2024-03-14]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins13020084
- HAJŠLOVÁ, J., 2008. *Mykotoxiny a jejich konjugáty v potravinářských surovinách a krmivech: trendy, rizika dietární expozice, možnosti prognózy osudu při zpracování* [online]. [vid. 2024-02-25]. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. Dostupné z: <http://www.phytosanitary.org/projekty/2008/projekt1.pdf>
- HAJŠLOVÁ, J., 2009. *Mykotoxiny* [online] [vid. 2024-02-25]. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. Dostupné z: <http://www.phytosanitary.org/projekty/2009/projekt1.pdf>
- HAN, X., HUANGFU, B., XU, T., XU, W., ASAKIYA, CH., HUANG, K. a HE, X., 2022. Research Progress of Safety of Zearalenone: A Review. *Toxins* [online]. 14(6), 386 [vid. 2024-03-03]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins14060386
- HARTINGER, T., GRABHER, L., PACÍFICO, C., ANGELMAYR, B., FAAS, J. a ZEBELI, Q., 2022. Short-term exposure to the mycotoxins zearalenone or fumonisins affects rumen fermentation and microbiota, and health variables in cattle. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 162, 112900 [vid. 2024-04-02]. ISSN 0278-6915. doi: 10.1016/j.fct.2022.112900
- HUANG, W., CHANG, J., WANG, P., LIU, CH., YIN, Q., SONG, A., GAO, T., DANG, X. a LU, F., 2019. Effect of Compound Probiotics and Mycotoxin Degradation Enzymes on Alleviating Cytotoxicity of Swine Jejunal Epithelial Cells Induced by Aflatoxin B1 and Zearalenone. *Toxins* [online]. 11(1), 12 [vid. 2024-03-27]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins11010012

- CHELI, F., CAMPAGNOLI, A. a DELL'ORTO, V., 2013. Fungal populations and mycotoxins in silages: From occurrence to analysis. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 183(1), 1–16 [vid. 2024-03-31]. ISSN 0377-8401. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.01.013
- IJAZ, A., FAHNING, M. L. a ZEMJANIS, R., 1987. Treatment and control of cystic ovarian disease in dairy cattle: a review. *The British Veterinary Journal* [online]. 143(3), 226–237 [vid. 2024-04-05]. ISSN 0007-1935. doi: 10.1016/0007-1935(87)90085-6
- INCHAISRI, C., JORRITSMA, R., VOS, P. L. A. M., VAN DER WEIJDEN, G. C. a HOGEVEEN, H., 2010. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* [online]. 74(5), 835–846 [vid. 2024-04-03]. ISSN 1879-3231. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.04.008
- Jl, F., HE, D., OLANIRAN, A. O., MOKOENA, M. P., XU, J. a SHI, J., 2019. Occurrence, toxicity, production and detection of Fusarium mycotoxin: a review. *Food Production, Processing and Nutrition* [online]. 1(1), 6 [vid. 2024-03-23]. ISSN 2661-8974. doi: 10.1186/s43014-019-0007-2
- Jl, CH., FAN, Y. a ZHAO, L., 2016. Review on biological degradation of mycotoxins. *Animal Nutrition* [online]. 2(3), 127–133 [vid. 2024-03-06]. ISSN 2405-6545. doi: 10.1016/j.aninu.2016.07.003
- JIANG, Y., OGUNADE, I. M., VYAS, D. a ADESOGAN, A. T., 2021. Aflatoxin in Dairy Cows: Toxicity, Occurrence in Feedstuffs and Milk and Dietary Mitigation Strategies. *Toxins* [online]. 13(4), 283 [vid. 2023-12-22]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins13040283
- JOUANY, J. P., 2007. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 137(3), Fusarium and their toxins: Mycology, occurrence, toxicity, control and economic impact, 342–362 [vid. 2024-03-31]. ISSN 0377-8401. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.009
- KAMLE, M., MAHATO, D. K., DEVI, S., LEE, K. E., KANG, S. G. a KUMAR, P., 2019. Fumonisin: Impact on Agriculture, Food, and Human Health and their Management Strategies. *Toxins* [online]. 11(6), 328 [vid. 2023-12-22]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins11060328
- KARLOVSKY, P., SUMAN, M., BERTHILLER, F., DE MEESTER, J., EISENBRAND, G., PERRIN, I., OSWALD, I. P., SPEIJERS, G., CHIODINI, A., RECKER, T. a DUSSORT, P., 2016. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research* [online]. 32(4), 179–205 [vid. 2024-03-20]. ISSN 1867-1632. doi: 10.1007/s12550-016-0257-7
- KEMIN, 2024. Zearalenone and Fumonisin Mycotoxin Guide. *Kemin Industries USA* [online]. [vid. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://www.kemin.com/na/en-us/markets/animal/feed-quality/know-your-mycotoxins-and-how-to-knock-them-down>

- KINKADE, C. W., RIVERA-NÚÑEZ, Z., GORCZYCA, L., ALEKSUNES, L. M. a BARRETT, E. S., 2021. Impact of Fusarium-Derived Mycoestrogens on Female Reproduction: A Systematic Review. *Toxins* [online]. 13(6), 373 [vid. 2024-03-31]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins13060373
- LIU, J. a APPELATE, T., 2020. Zearalenone (ZEN) in Livestock and Poultry: Dose, Toxicokinetics, Toxicity and Estrogenicity. *Toxins* [online]. 12(6), 377 [vid. 2024-04-04]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins12060377
- LIU, N., WANG, J., LIU, Z., WANG, Y. a WANG, J., 2018. Effect of supplemental yeast cell walls on growth performance, gut mucosal glutathione pathway, proteolytic enzymes and transporters in growing broiler chickens. *Journal of Animal Science* [online]. 96(4), 1330–1337 [vid. 2024-03-06]. ISSN 0021-8812. doi: 10.1093/jas/sky046
- LUO, S., LIU, Y., GUO, Q., WANG, X., TIAN, Y., YANG, W., LI, J. a CHEN, Y., 2022. Determination of Zearalenone and Its Derivatives in Feed by Gas Chromatography–Mass Spectrometry with Immunoaffinity Column Cleanup and Isotope Dilution. *Toxins* [online]. 14(11), 764 [vid. 2024-03-15]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins14110764
- MALÍŘ, F., OSTRÝ, V. a NOVOTNÁ, E., 2013. Toxické účinky vybraných trichotecenových (epoxytrichotecenových) mykotoxinů u člověka. *Kontakt* [online]. 15(1), 89–99 [vid. 2023-12-22]. ISSN 12124117, 18047122. doi: 10.32725/kont.2013.012
- MANSTRETTA, V. a ROSSI, V., 2015. Effects of Temperature and Moisture on Development of Fusarium graminearum Perithecia in Maize Stalk Residues. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 82(1), 184–191 [vid. 2024-03-03]. ISSN 0099-2240. doi: 10.1128/AEM.02436-15
- MATTHEWS, CH., CRISPIE, F., LEWIS, E., REID, M., O'TOOLE, P. W. a COTTER, P. D., 2018. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes* [online]. 10(2), 115–132 [vid. 2023-12-22]. ISSN 1949-0976. doi: 10.1080/19490976.2018.1505176
- MCNUTT, S. H., PURWIN, P. a MURRAY, C., 1928. Vulvovaginitis in swine. *Journal of American Veterinary Medical Association* [online]. 73, 484–492 [vid. 2023-12-29]. ISSN 0003-1488.
- MENGESHA, G., BEKELE, T., ASHAGRIE, H. a WOLDEGIORGIS, A., 2023. Level of Aflatoxins in Dairy Feeds, Poultry Feeds and Feed Ingredients Produced by Feed Factories in Addis Ababa, Ethiopia [online]. [vid. 2023-12-22]. doi: 10.21203/rs.3.rs-3438157/v1
- METZLER, M., PFEIFFER, E. a HILDEBRAND, A., 2010. Zearalenone and its metabolites as endocrine disrupting chemicals. *World Mycotoxin Journal* [online]. 3(4), 385–401 [vid. 2024-03-05]. ISSN 1875-0710. doi: 10.3920/WMJ2010.1244

- MILLER, J. D., 2016. Mycotoxins in Food and Feed: A Challenge for the Twenty-First Century. *Biology of Microfungi* [online]. 469–493 [vid. 2024-01-04]. ISBN 978-3-319-29135-2. doi: 10.1007/978-3-319-29137-6_19
- MINERVINI, F. a DELL'AQUILA, M. E., 2008. Zearalenone and Reproductive Function in Farm Animals. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 9(12), 2570–2584 [vid. 2024-03-06]. ISSN 1422-0067. doi: 10.3390/ijms9122570
- MIROCHA, C. J. a PATHRE, S. V., 1979. Mycotoxins - Their Biosynthesis in Fungi: Zearalenone Biosynthesis. *Journal of Food Protection* [online]. 42(10), 821–824 [vid. 2024-03-03]. ISSN 1944-9097. doi: 10.4315/0362-028X-42.10.821
- MOSTROM, M. S., 2021. Mycotoxin-Associated Estrogenism and Vulvovaginitis in Animals - Toxicology. *Merck Veterinary Manual* [online]. [vid. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.merckvetmanual.com/toxicology/mycotoxins/mycotoxin-associated-estrogenism-and-vulvovaginitis-in-animals?autoredirectid=16889>
- PARISH, J. A., KARISCH, B. B., RIVERA, D. a BOLAND, H. T., 2022. Understanding the Ruminant Animal Digestive System. *Mississippi State University, Extension* [online]. [vid. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://extension.msstate.edu/publications/understanding-the-ruminant-animal-digestive-system>
- PELTOMAA, R., BARDERAS, R., BENITO-PEÑA, E. a MORENO-BONDI, M. C., 2022. Recombinant antibodies and their use for food immunoanalysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 414(1), 193–217 [vid. 2024-03-23]. ISSN 1618-2642. doi: 10.1007/s00216-021-03619-7
- PERAICA, M., RADIĆ, B., LUCIĆ, A. a PAVLOVIĆ, M., 1999. Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bulletin of the World Health Organization* [online]. 77(9), 754–766 [vid. 2024-02-26]. ISSN 0042-9686. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2557730/>
- PITT, J. I. a HOCKING, A. D., 2009. *Fungi and Food Spoilage*. New York: Springer Science + Business Media, LLC. ISBN 978-0-387-92206-5.
- PITT, J. I. a MILLER J. D., 2017. A Concise History of Mycotoxin Research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. [vid. 2023-12-22]. 65(33), 7021–7033. ISSN 1520-5118. doi: 10.1021/acs.jafc.6b04494
- POTTER, B., 2019. Beef cattle reproductive management. *Veterinary Ireland Journal* [online]. 9(6), Large animal, 322–327 [vid. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://www.veterinaryirelandjournal.com/large-animal/91-beef-cattle-reproductive-management>
- PRÝMAS, L., 2015. Estrální cyklus. *Náš chov* [online]. [vid. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://naschov.cz/estralni-cyklus/>

- PUBCHEM, 2024. Zearalenone. *PubChem* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281576>
- PUGA-TORRES, B., CÁCERES-CHICÓ, M., ALARCÓN-VÁSCONEZ, D. a GÓMEZ, C., 2021. Determination of zearalenone in raw milk from different provinces of Ecuador. *Veterinary World* [online]. 14(8), 2048–2054 [vid. 2024-04-02]. ISSN 0972-8988. doi: 10.14202/vetworld.2021.2048-2054
- RANI, P., DUTT, R., SINGH, G. a CHANDOLIA, R., 2018. Embryonic Mortality in Cattle-A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* [online]. 7 [vid. 2024-04-03]. doi: 10.20546/ijcmas.2018.707.177
- REITH, S. a HOY S., 2018. Review: Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal* [online]. 12(2), 398–407 [vid. 2024-04-03]. ISSN 1751-7311. doi: 10.1017/S1751731117001975
- RICHARD, J., PAYNE, G., DESJARDINS, A., MARAGOS, CH. M., NORRED, W. a PESTKA, J., 2003. *Mycotoxins: risks in plant, animal, and human systems*. CAST: Task Force Report, 139. ISBN 978-1-887383-22-6.
- RIVERA-CHACON, R., HARTINGER, T., CASTILLO-LOPEZ, E., LANG, C., PENAGOS-TABARES, F., MÜHLEDER, R., ATIF, R. M., FAAS, J., ZEBELI, Q. a RICCI, S., 2024. Duration of Zearalenone Exposure Has Implications on Health Parameters of Lactating Cows. *Toxins* [online]. 16(3), 116 [vid. 2024-04-01]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins16030116
- RODRÍGUEZ-BLANCO, M., MARÍN, S., SANCHIS, V. a RAMOS, A. J., 2020. Mycotoxins in dairy cattle. *MycotoxinSite* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://mycotoxinsite.com/mycotoxins-in-dairy-cattle/?lang=en>
- ROPEJKO, K. a TWARUŽEK, M., 2021. Zearalenone and Its Metabolites - General Overview, Occurrence, and Toxicity. *Toxins* [online]. 13 [vid. 2024-12-22]. doi: 10.3390/toxins13010035
- RUPRICH, J., OSTRÝ, V. a KÝROVÁ, V., 2021. Odborné ohlédnutí za rokem 2020: Aflatoxiny 60 let od jejich objevu. *Informace Centra zdraví, výživy a potravin - Státní Zdravotní Ústav* [online]. [vid. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/odborne-ohljednuti-za-rokem-2020-aflatoxiny-60-let-od-jejich-objevu/>
- SCHOCH, C. L., CIUFO, S., DOMRACHEV, M., HOTTON, C. L., KANNAN, S., KHOVANSKAYA, R., LEIPE, D., MCVEIGH, R., O'NEILL, K., ROBBERTSE, B., SHARMA, S., SOUSSOV, V., SULLIVAN, J. P., SUN, L., TURNER, S. a KARSCH-MIZRACHI, I., 2020. *Bos taurus*. *NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Database* [online]. [vid. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=9913>

- SKŘIVÁNEK, M., 2001. Procesy trávení v předžaludcích - morfologické a fyziologické aspekty. <https://naschov.cz/> [online]. [vid. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://naschov.cz/procesy-traveni-v-predzaludcich-morfologicke-a-fyziologicke-aspekty/>
- SOBROVA, P., ADAM, V., VASATKOVA, A., BEKLOVA, M., ZEMAN, L. a KIZEK, R., 2010. Deoxynivalenol and its toxicity. *Interdisciplinary Toxicology* [online]. 3(3), 94–99 [vid. 2023-12-22]. ISSN 1337-6853. doi: 10.2478/v10102-010-0019-x
- STOB, M., BALDWIN, R. S., TUIITE, J., ANDREWS, F. N. a GILLETTE, K. G., 1962. Isolation of an Anabolic, Uterotrophic Compound from Corn infected with *Gibberella zeae*. *Nature* [online]. 196(4861), 1318–1318 [vid. 2023-12-22]. ISSN 1476-4687. doi: 10.1038/1961318a0
- SUCHÝ, P. a HERZIG, I., 2005. *Vědecký výbor výživy zvířat* [online]. [vid. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/04/Hezig-Such%C3%BD-Plisne-a-mykotoxiny-2005.pdf>
- SVOBODOVÁ, Z., MODRÁ, H., BEZDĚKOVÁ, B., BODEČEK, Š., DVOŘÁK, R., GRÝMOVÁ, V., HAUPTMAN, K., HRDINOVÁ, F., JAHN, P., JEKL, V., JURANOVÁ, R., KNOTEK, Z., KNOTKOVÁ, Z., KOCOUR KROUPOVÁ, H., KULÍKOVÁ, L., MÁCHOVÁ, J., MELKOVÁ, P., MRLÍK, V., NEDOROSTOVÁ, D., PAVLATA, L., PECHOVÁ, A., SOCHORCOVÁ, V., SVOBODA, M., SVOBODA, M., SUCHÝ, P., ŠAMONILOVÁ, E., ŠIROKÁ, Z., TITĚRA, D., TUKAČ, V., VESELÝ, V. a VRŠKOVÁ, D., 2017. *Veterinární toxikologie v klinické praxi*. 2. Praha: Profi Press s.r.o. ISBN 978-80-86726-83-0.
- SZUETS, P., MESTERHÁZY, A., FALKAY, G. Y. a BARTÓK, T., 1997. Early Telarche Symptoms in Children and their Relations to Zearalenon Contamination in Foodstuffs. *Cereal Research Communications* [online]. 25, 429–436 [vid. 2024-02-29]. doi:10.1007/BF03543747
- THE EUROPEAN COMMISSION, 2015. *Commission Regulation (EU) 2015/786 of 19 May 2015 defining acceptability criteria for detoxification processes applied to products intended for animal feed as provided for in Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council* [online]. [vid. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/786/oj/eng>
- THE EUROPEAN COMMISSION, 2016. *Commission Recommendation (EU) 2016/1319 of 29 July 2016 amending Recommendation 2006/576/EC as regards deoxynivalenol, zearalenone and ochratoxin A in pet food* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2016/1319/oj>
- THE EUROPEAN COMMISSION, 2023. *Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/2023-08-10/eng>

- UENO, Y. a TASHIRO, F., 1981. α -Zearalenol, a major hepatic metabolite in rats of zearalenone, an estrogenic mycotoxin of *Fusarium* species. *Journal of Biochemistry* [online]. 89(2), 563–571 [vid. 2024-03-19]. ISSN 0021-924X. doi:10.1093/oxfordjournals.jbchem.a133232
- URRY, W. H., WEHRMEISTER, H. L., HODGE, E. B. a HIDY, P. H., 1966. The structure of zearalenone. *Tetrahedron Letters* [online]. 7(27), 3109–3114 [vid. 2023-12-29]. ISSN 0040-4039. doi:10.1016/S0040-4039(01)99923-X
- VEGA, M. F., DIEGUEZ, S. N., RICCIO, B., ARANGUREN, S., GIORDANO, A., DENZOIN, L., SORACI, A. L., TAPIA, M. O., ROSS, R., APÁS, A. a GONZÁLEZ, S. N., 2017. Zearalenone adsorption capacity of lactic acid bacteria isolated from pigs. *Brazilian Journal of Microbiology* [online]. 48(4), 715–723 [vid. 2024-03-06]. ISSN 1517-8382. doi:10.1016/j.bjm.2017.05.001
- WANG, N., WU, W., PAN, J. a LONG, M., 2019. Detoxification Strategies for Zearalenone Using Microorganisms: A Review. *Microorganisms* [online]. 7(7), 208 [vid. 2024-03-06]. ISSN 2076-2607. doi: 10.3390/microorganisms7070208
- WANG, Y., WANG, X., ZHANG, H., Jinqing JIANG a Hanna FOTINA, 2021. Synthesis of Zearalenone Immunogen and Comparative Analysis of Antibody Characteristics. *International Journal of Analytical Chemistry* [online]. [vid. 2024-03-15]. ISSN 1687-8760. doi: 10.1155/2021/7109383
- WITTE, CH., 2003. The Presence, Effect, and Diagnosis of Zearalenone in Dairy Cattle. *Purdue University* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.addl.purdue.edu/newsletters/2003/winter/zearalonenone.shtml>
- WU, Q., KUCA, K., NEPOVIMOVA, E. a WU, W., 2020. Type A Trichothecene Diacetoxyscirpenol-Induced Emesis Corresponds to Secretion of Peptide YY and Serotonin in Mink. *Toxins* [online]. 12(6), 419 [vid. 2023-12-22]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins12060419
- YAZAR, S. a OMURTAG, G. Z., 2008. Fumonisin, Trichothecenes and Zearalenone in Cereals. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 9(11), 2062–2090 [vid. 2024-03-18]. ISSN 1422-0067. doi: 10.3390/ijms9112062
- ZHU, Y., HASSAN, Y. I., LEPP, D., SHAO, S. a ZHOU, T., 2017. Strategies and Methodologies for Developing Microbial Detoxification Systems to Mitigate Mycotoxins. *Toxins* [online]. 9(4), 130 [vid. 2024-03-10]. ISSN 2072-6651. doi: 10.3390/toxins9040130

Použité obrázky

Obr. 1 – KEMIN, 2024. Mycotoxins: What's Your Risk?, *Kemin Industries, USA* [online]. [vid. 2024-02-01]. Dostupné z: <https://www.kemin.com/na/en-us/markets/animal/feed-quality/ruminants/resources/mold-and-mycotoxins/whats-your-risk>

Obr. 2 – PUBCHEM, 2024. Zearalenone. *PubChem* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281576>

Obr. 3 – Vlastní zpracování pomocí <https://www.canva.com/>

Obr. 4 – ARTAVIA, I., 2021. Zearalenone: The Enemy of the Cow Breeding Program. *DSM – Biomin Holding GmbH* [online]. [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.biomin.net/science-hub/zearalenone-the-enemy-of-the-cow-breeding-program/>