

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH
ZDROJŮ

Katedra chovu hospodářských zvířat

Katedra agrochemie a výživy rostlin

Úprava krmné dávky dojeného skotu formou selenizované siláže pro dosažení produkce mléka se zvýšeným obsahem selenu jako funkční potravin

(typ výsledků „Nmet“ – Metodika)

Ing. Jaromír Ducháček, Ph.D.

Ing. Lukáš Praus, Ph.D.

Ing. Kateřina Cihlářová

Ing. Matúš Gašparík, Ph.D.

prof. Ing. Jiřina Száková, CSc.

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c.

Ing. Radim Cobl, Ph.D.

Ing. Lukáš Kaplan, Ph.D.

prof. Ing. Luděk Stádník, Ph.D.

Ing. Nikola Marešová



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

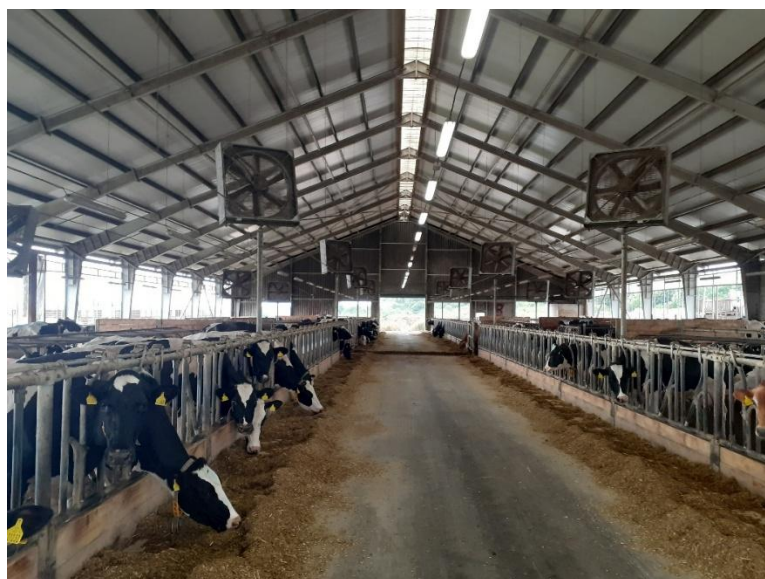
Katedra chovu hospodářských zvířat

Katedra agrochemie a výživy rostlin

Úprava krmné dávky dojeného skotu formou selenizované siláže pro dosažení produkce mléka se zvýšeným obsahem selenu jako funkční potravin

(typ výsledků „Nmet“ – Metodika)

Jaromír Ducháček a kol.



Dedikace:

Uplatněná certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení výzkumného projektu
**NAZV QK22010037 (Implementace agronomických selenizačních postupů při výrobě
mléka a mléčných výrobků jako funkčních potravin)**

2025

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Předkládaná metodika je doporučením chovatelům dojeného skotu pro zkrmování selenizované siláže a dosažení mléčné produkce s přidanou hodnotou, jako funkční potraviny.

Dedikace: Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu **NAZV QK22010037 (*Implementace agronomických selenizačních postupů při výrobě mléka a mléčných výrobků jako funkčních potravin*)**

Kolektiv autorů:

Ing. Jaromír Ducháček, Ph.D.¹

Ing. Lukáš Praus, Ph.D.²

Ing. Kateřina Cihlářová¹

Ing. Matúš Gašparík, Ph.D.¹

prof. Ing. Jiřina Száková, CSc.²

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c.²

Ing. Radim Coudl, Ph.D.¹

Ing. Lukáš Kaplan, Ph.D.²

prof. Ing. Luděk Stádník, Ph.D.¹

Ing. Nikola Marešová¹

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

¹⁾ Katedra chovu hospodářských zvířat

²⁾ Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Jména oponentů a organizace pro vydání osvědčení:

1) **Odborník z daného oboru:** Ing. Jiří Kostkan

2) **Pracovník státní správy:** Ing. Jan Vodička, Ph.D., Ministerstvo zemědělství, Oddělení hospodářských zvířat

Certifikováno Ministerstvem zemědělství ČR, 29.12.2025.

Číslo osvědčení: MZE-89514/2025-13141.

ISBN 978-80-213-3531-8

Abstrakt

Selen je jedním z nezbytných mikroprvků nejen ve výživě zvířat, ale i člověka. Při adekvátním příjmu jsou jeho účinky pozitivní nejen na zdraví, ale i na reprodukci. Právě nízký obsah ve výživě a nízká úroveň využití anorganické formy tohoto prvku ve formě nutričních přípravků nutí hledat cesty pro přeměnu na organické formy a zvýšení jeho obsahu ve stravě lidí. Jednou z možností, jak zvýšit hladinu selenu v lidské výživě je prostřednictvím mléka a mléčných výrobků získaných od zvířat krmených fortifikovanou krmnou dávkou. Předkládaná metodika je tedy určena pro chovatele dojeného skotu, kteří chtějí produkovat mléko se zvýšeným obsahem selenu.

Prostřednictvím fortifikované siláže s využitím postřiků ve vhodné fenologické fázi kukuřice lze dosáhnout více než dvojnásobného obsahu selenu v mléce. Zároveň je pozitivně ovlivněn zdravotní stav dojnic, není negativně ovlivněna reprodukce a nedochází ke zhoršení nutričních a technologických vlastností mléka. Využití takovýchto metod obohacování krmných dávek skotu má pak pozitivní dopad na finální produkci a projeví se nejenom v lepším zpeněžování mléka, ale i zlepšení zdravotního stavu jeho konzumentů díky pozitivní roli selenu v biologických procesech organismu. Lze tedy říci, že při relativně nízkých přidaných nákladech a nepatrně zvýšené pracnosti je možné produkovat nutričně hodnotnější mléko. To následně bude mít přesah do udržitelnosti takového typu hospodaření, resp. živočišné produkce v ČR.

Klíčová slova: fortifikovaná kukuřičná siláž, krev, krmná dávka, mléko, počet somatických buněk, selen, výkaly.

Abstract

Selenium is an essential trace element not only in animal nutrition but also in human health. When present at adequate income, selenium exerts beneficial effects on various physiological functions, including immune response and reproduction. Due to the generally low contents of selenium in the diet and the limited bioavailability of its anorganic forms in the form of nutritional supplements, there is increasing interest in strategies for converting selenium into organic forms and enhancing its intake through the human diet. One promising approach to increasing the selenium intake in humans is through the consumption of milk and dairy products, which are produced from animals fed fortified feed. The presented methodology is designed for dairy cattle farmers aiming to produce milk with elevated selenium content. By fortifying maize silage via foliar application of selenium at an optimal phenological stage, it is possible to achieve more than a twofold increase in the selenium concentration of milk. This approach not only improves the selenium content of milk but also contributes positively to the health status of dairy cows, without adverse effects on reproductive performance or the nutritional and technological properties of milk. Implementing such feed fortification strategies has a favorable impact on the final dairy product, enhancing both its market value and its potential health benefits for consumers due to selenium's critical role in biological processes. In conclusion, selenium-enriched milk can be produced at relatively low additional cost and labor input, resulting in a product of higher nutrition value. This contributes to the sustainability of dairy production systems, particularly within the context of livestock farming in the Czech Republic.

Keywords: blood, feces, feed ration, fortification of maize silage, milk, selenium, somatic cell count.

Obsah	
I. Cíl metodiky	6
II. Vlastní popis metodiky	6
Význam <i>Se</i> v živočišné biologii	7
<i>Se</i> v půdě, možnosti jeho fortifikace a využití zvířaty	8
Absorpce <i>Se</i> zvířaty	9
Formy <i>Se</i> ve výživě skotu	9
Nedostatek <i>Se</i> ve výživě skotu	10
Přebytek <i>Se</i> ve výživě skotu	11
Vliv <i>Se</i> na mléčnou užitkovost a zdraví skotu	12
Vliv <i>Se</i> na reprodukci skotu	14
Zjišťování <i>Se</i> z krve a jeho metabolismus v kombinaci s ostatními mikroprvky	14
III. Metodika pokusu a získávání informací v chovu	16
Popis farmy	16
Voda a krmná dávka ve výživě skotu	17
Design pokusu v rámci sledování	18
Odběr vzorků a jejich hodnocení	19
Statistické vyhodnocení získaných dat	20
IV. Výsledky	21
Základní statistiky a porovnání	21
Vztahy mezi obsahy <i>Se</i> a užitkovostí, reprodukcí a zdravím	26
Detailní vyhodnocení vlivu přídatku <i>Se</i> na užitkovost	28
V. Srovnání „novosti postupů“	30
VI. Popis uplatnění metodiky	30
VII. Ekonomické aspekty	31
VIII. Seznam použité související literatury.	32
IX. Seznam publikací, které předcházely metodice	35
X. Seznam zkratk	36

I. Cíl metodiky

Výživa a krmení dojníc je zásadní faktor, který ovlivňuje nejen růstovou schopnost mladého skotu, ale i reprodukci, zdraví a mléčnou užitkovost. Vyvážená a adekvátní krmná dávka odpovídající fázi laktace dává předpoklad pro maximální užitkovost a kvalitu mléka. Právě mléko patří mezi biologicky nejhodnotnější součást lidské výživy. Jeho nutriční složení se liší v závislosti na plemenu, pořadí laktace, fázi laktace, krmné dávce a dalších faktorech. Mléko obsahuje mimo základních složek, jako je tuk, bílkoviny a laktóza, pro které je ceněné, také vitaminy, biologicky aktivní látky, minerální látky, tedy makro a mikroprvky. Jedním ze zajímavých nutričních ukazatelů, který má pozitivní vliv nejen na organismus dojnice, ale posléze přes mléko i na lidský organismus, je obsah selenu (*Se*). Tento prvek lze dodávat do výživy skotu různými způsoby. Nicméně tomu také odpovídá jeho výsledná forma a využití v organismu.

Postřikem kukuřice vhodnou formou minerálního *Se* v roztoku můžeme dosáhnout zvýšených obsahů *Se* v kukuřici, a to v organicky vázaných formách. Takto se pak *Se* přes hlavní složku směsné krmné dávky, kukuřičnou siláž, dostává do organismu dojníc a následně do mléka. Cílem této metodiky je proto představit možnost doplňování *Se* v organické formě do výživy dojníc, s jeho následným potenciálním průnikem do produkovaného syrového kravského mléka.

Dílčím cílem je poté vytvoření funkční potraviny, která bude spotřebitelům umožňovat doplnění nízkého příjmu *Se*, a tím působit prospěšně ve výživě.

II. Vlastní popis metodiky

Se je v zemské kůře rozmístěn velmi nerovnoměrně a výsledkem tohoto stavu jsou oblasti, kde je *Se* nedostatek v půdě a následně v rostlinné produkci, což může vést u zvířat i lidí k řadě zdravotních problémů. Mezi takové oblasti řadíme i střední Evropu, tedy i Českou republiku. Pro zvýšení obsahu *Se* v rostlinné produkci je navržena řada prostředků, zahrnující šlechtění, geneticky modifikované organismy (GMO) a fortifikační hnojení. Účinným způsobem pro zvýšení obsahu *Se* v rostlinách je aplikace hnojiv obohacených o *Se*. Obecně se však předpokládá, že rostliny jsou schopny využít pouze asi 5 % aplikovaného množství *Se* do půdy. Míra využití hnojiva závisí na chemické formě *Se*, jeho dávce, způsobu aplikace, půdních vlastnostech či mikroklimatu.

Tato metodika sumarizuje poznatky o možnosti dodání organické formy *Se* do krmné dávky s cílem zvýšení jeho obsahu v mléce. Důvodem potřeby zvyšování *Se* v lidské výživě je jeho

nedostatek a také jeho prospěšné funkce. Doporučený příjem *Se* pro člověka se nicméně liší dle států, oblastí, etnicity, pohlaví, věku a dalších hledisek. Běžně je uváděno rozpětí od 40 do 75 µg/den (Peters et al. 2016).

V chovu skotu jsou využívány kompletní směsné krmné dávky, přičemž potřeba minerálních látek je řešena buď prostřednictvím komponentů v krmné směsi, nebo formou minerálních lizů, kdy jsou tyto minerály přidávány v podobě anorganických solí. Anorganické sloučeniny prvků jsou ale obvykle hůře vstřebatelné ve srovnání se sloučeninami organickými a mají tak nižší dopad na obsah daného prvku ve výsledné produkci. Úpravou v systému hnojení při pěstování kukuřice, a tím i při výrobě siláže, lze dosáhnout zvýšení množství *Se* v organické formě. Tato forma je následně lépe vstřebávána do těla dojnic a může volně přestupovat i do tělních tekutin. Tím se dostává zvýšené množství *Se* i do mléčné produkce.

Prostřednictvím této metodiky je popsáno využití selenizované kukuřičné siláže jako základní krmné komponenty dojnic a její vliv na obsah *Se* v mléce, krvi a výkalech. Důraz je zde kladen nejen na dynamiku vývoje obsahu *Se*, ale i na produkční, reprodukční a zdravotní parametry u skotu. Metodika tak poskytuje komplexní návod pro využití produkce mléka se zvýšeným obsahem *Se*, které se může stát funkční potravinou. V metodice jsou popsány veškeré postupy, které byly použity v rámci řešení projektu NAZV QK22010037 (Implementace agronomických selenizačních postupů při výrobě mléka a mléčných výrobků jako funkčních potravin).

Význam *Se* v živočišné biologii

Stopové prvky nebo minerální látky jsou klasifikovány jako mikroživiny, které mají obecně nutriční význam pro hospodářská zvířata a jsou důležitým doplňkem jejich stravy. Tyto mikroprvky se dělí na esenciální a neesenciální. Esenciální mikroprvky působí jako kofaktory různých metaloenzymů, díky čemuž jsou životně důležité pro zvířata. Vzhledem k fyziologické důležitosti, jejich nedostatek v důsledku nízkého příjmu nebo minerálního antagonismu negativně ovlivňuje zdraví, produkci i reprodukci zvířat (Arshad et al. 2021). *Se* je významným stopovým prvkem pro člověka i pro zvířata, který je důležitý pro mnoho biologických funkcí, jako je imunizace, antioxidace, detoxikace atp. (Lyons et al. 2005). Je strukturální složkou více než 25 selenoproteinů (jodtyronin deiodinázy a thioredoxin reduktázy), kde se nachází selenocystein v jejich aktivním katalytickém místě. Souvisí také se syntézou hormonů štítné žlázy a ovlivňuje celkový tělesný metabolismus. *Se* je rovněž součástí glutathion peroxidázy a hraje klíčovou roli v antioxidačním obranném systému zvířat (Arshad et al. 2021). Dostatečný

příjem *Se* v potravě pomáhá předcházet onemocněním způsobeným jeho nedostatkem (myopatie, nemoc bílého svalstva, ovariální cysty, metritida), zabraňuje hromadění lipidových hydroperoxidů v orgánech a tkáních, a tím je chrání před poškozením reaktivními kyslíkovými formami (Hosnedlova et al. 2017).

***Se* v půdě, možnosti jeho fortifikace a využití zvířaty**

Hlavními rezervoáry *Se* v přírodě jsou geologické prostředí, půda, voda a živé organismy. Tyto složky obsahují především anorganické formy *Se*: selenid (Se^{II}), seleničitan (Se^{IV}), selenan (Se^{VI}) a elementární *Se* (Se^0), jejichž výskyt a distribuce jsou dány faktory prostředí (Tóth & Csapó 2018). Nejběžnější forma využívaná v chovu hospodářských zvířat zahrnuje anorganické soli *Se* (selenany a seleničitany), které jsou obvykle aplikovány jako komponent minerálních premixů či perorálně a injekčně podávané ve formách bolusu. Další běžným zdrojem pro obohacení zvířecí diety o *Se* jsou kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae*) kultivované v médiu obsahujícím sloučeniny *Se*, které obsahují *Se* v organických vazbách ve formě aminokyselin *Se* (hlavně selenomethionin, dále selenocystein a jejich deriváty), které jsou především vázány v proteinech. Vyšší hladiny *Se* se také přirozeně vyskytují v pícninách, kde obsah závisí na struktuře, typu, obsahu organické hmoty v půdě, množství srážek atp. (Arshad et al. 2021). *Se* sloučeniny mohou být adsorbovány různými půdními složkami a distribuovány mezi různými půdními frakcemi (Li et al. 2017). *Se* v těchto frakcích vykazuje různé úrovně mobility a biologické dostupnosti. Biologická dostupnost je klíčová pro obohacování zemědělských produktů *Se* a hodnocení rizika kontaminace půd *Se*. Aplikace hnojiv na bázi sloučenin *Se* zvyšuje příjem *Se* rostlinami a následně i hladiny jeho obsahu u zvířat i lidí.

Se se do půdy nejčastěji aplikuje ve formách seleničitanu, seleničitanu sodného nebo barnatých solí *Se*. Jako jeden ze způsobů aplikace se rozšířeně využívá hnojení na list, úspěšnost využití této formy aplikace je popsána v mnoha studiích. Při nesprávné koncentraci *Se* v postřiku zde však může docházet u ošetřené plodiny k fytotoxickým účinkům. Vhodná je aplikace v pozdnější vegetační fázi, kdy se optimalizuje plocha umožňující absorpci *Se*. Aplikace na list je také vhodná z hlediska environmentálního dopadu, kdy nedochází k akumulaci *Se* v půdě, a tento způsob aplikace také umožňuje využití nižších aplikačních dávek (Hossain et al. 2021). Po translokaci v rostlinách je *Se* nejčastěji transformován na selenomethionin, tedy formu, která je následně snadno absorbovatelná v tenkém střevě zvířat (Trippe & Pilon-Smits 2021).

Absorpce *Se* zvířaty

Jako stopový prvek se *Se* využívá v krmné dávce ve velmi malém množství, jeho problémem je však nízká biologická dostupnost, antagonismus a vysoká míra vylučování, což omezuje jeho účinnost (Arshad et al. 2021). Forma *Se* v krmivu je pro přežvýkavce velmi důležitá, protože na ní závisí metabolismus *Se* a jeho absorpce (Cruickshank 2021). Doporučení pro všechny kategorie dojeného skotu udávají limit suplementace *Se* 0,3 mg/kg sušiny krmiva (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2021) k zajištění adekvátního příjmu.

Se je u většiny přežvýkavců absorbován přes dvanáctník a také částečně přes stěnu bachoru (Arshad et al. 2021). Bachor opouští převážně ve formě aminokyselin uvnitř bakteriální frakce nebo jako nedegradované aminokyseliny *Se* v krmivech. Malá část *Se* může projít z bachoru zcela beze změny. Organické formy jsou absorbovány jako intaktní molekuly prostřednictvím specifických přenašečů aminokyselin methioninu a cysteinu. Seleničitan může být pasivně absorbován prostou difúzí, zatímco selenan vyžaduje aktivní transport přes střevo prostřednictvím nosičů zprostředkovaných sodíkem (Cruickshank 2021; Suttle 2022). Při stanovení dávky *Se* je potřeba brát v úvahu přítomnost dalších antagonistických složek krmiva, jako je třeba síra. Vyšší příjem síry v krmivu totiž snižuje plazmatickou koncentraci *Se* a jeho biologickou dostupnost v organismu. Dalšími antagonisty *Se* mohou být *As*, *Cu*, *Ni*, *Co*, *Cr*, *Mn*, *Zn*, *Cd*, *Sn*, *Pb*, *Hg*, *Mo* (Hosnedlova et al. 2017).

Hlavním využitím *Se* v krmivu je jeho zabudování do selenoenzymů, které tvoří buněčný antioxidační systém v cytosolu. Metabolismus anorganických a organických forem *Se* přijatých potravou se liší, protože organický *Se* (včetně selenocysteinu) musí být před procesem tvorby a začlenění specifického selenocysteinu do aktivního místa jednoho ze selenoproteinů nejprve přeměněn na anorganický selenid (ve formě $-SeH$). Selenan se redukuje na seleničitan a ten se redukuje tvorbou selenoglutathionu na selenid (Arshad et al. 2021).

Formy *Se* ve výživě skotu

Nejrozšířenějším způsobem dodávání mikroprvků do krmné dávky je podávání minerálních doplňků. Anorganické soli *Se*, mezi které patří například selenan sodný a seleničitan sodný, obecně vykazují nižší biologickou dostupnost než organické formy *Se*. Příjem *Se* ve formě anorganických solí je obvykle využíván přímo při syntéze selenoproteinů a má krátký poločas rozpadu, protože přebytečné množství se přímo vylučuje a neukládá se v těle (Arshad et al. 2021). Obecně je anorganický *Se* lépe využitelný u monogastrů než u přežvýkavců, což může

být způsobeno odlišným typem metabolismu (Huang et al. 2023). Relativní účinnost absorpce seleničitanu u přežvýkavců se pohybuje okolo 29 %. Nižší účinnost absorpce souvisí se specifickým prostředím bachoru, kde jsou anorganické soli *Se* redukovány za přispění bachorových mikroorganismů až na nerozpustný či nedostupný elementární *Se* (Se^0), který je vylučován výkaly (Mainville et al. 2009).

Organické formy *Se* mají obecně vyšší biologickou dostupnost v gastrointestinálním traktu skotu. Mnoho studií dokazuje, že selenizované kvasnice, díky vyšší dostupnosti *Se*, zajišťují vyšší obsah *Se* v krvi a mléce s lepším antioxidačním statusem (Arshad et al. 2021). Kromě toho je úroveň toxicity organického *Se* mnohem nižší než u anorganických forem (Qazi et al. 2019). Suplementace *Se* může ovlivňovat vývoj některých nálevníků, přičemž při zkrmování kvasinek byla zjištěna výrazně vyšší populace *Ophryoscolex* a *Diploplastron* než při využití odpovídajícího množství seleničitanu sodného. Podání tohoto zdroje *Se* také příznivě ovlivňuje enzymatickou aktivitu v bachoru a při podání kvasnic byla zjištěna výrazně vyšší aktivita γ -glutamyltransferázy, glutamátdehydrogenázy, aspartátaminotransferázy a alkalické fosfatázy (Arshad et al. 2021).

Nedostatek *Se* ve výživě skotu

Vzhledem k hlavní roli *Se* v metabolismu hormonu štítné žlázy je jeho optimální hladina vyžadována i u mladých, rostoucích zvířat, a to pro tělesný vývoj a metabolismus (Arshad et al. 2021). Nedostatek způsobuje vysoký úhyn mláďat v důsledku degenerativních lézí myokardu. Může docházet k poškození membránových struktur nebo k nutriční svalové dystrofii s degenerativními změnami v kosterním svalstvu a v myokardu mladých zvířat (Ghany-Hefnawy & Tórtora-Pérez 2010). V závislosti na tom, že deficit *Se* ovlivňuje sekundární deficit jódu, u mláďat dochází k narušení růstu a k odchylkám v neurologickém vývoji (Flueck et al. 2012).

Nejviditelnějším onemocněním spojeným s nedostatkem *Se* je nutriční svalová dystrofie, která se vyskytuje jak u domácích, tak u divokých zvířat. Obvykle se vyskytuje u mláďat ve 3. – 6. týdnu života, vede ke svalové ztuhlosti a respiračním potížím. Symptomy zahrnují ztuhlou chuť, pomalý růst, vysokou frekvenci dýchání, sekreci z mulce, kašel a celkovou slabost. Může být postižen kosterní vývoj, srdeční svalstvo, může dojít i k nekróze myokardu a úhynu. Zmíněné narušení kosterního vývoje v postnatálním období může vést až do fáze, kdy dochází k osteopenii a osteoartritidě. U všech kategorií poté může dojít k řídnutí, parodontitidě a vypadávání zubů (Flueck et al. 2012).

Dalším důsledkem nedostatku by mohla být nedostatečná produkce progesteronu, který je nutný pro udržení březosti v pozdních fázích. Podávání *Se* březím kravám přispívá k dostatečné sekreci progesteronu a rovněž podporuje jeho produkci v poporodním období (Hosnedlova et al. 2017).

Nedostatek *Se* je u dojnic spojován s reprodukčními poruchami, jako je zadržaná placenta, zmetání, předčasný porod, neplodnost. Zároveň způsobuje svalová onemocnění a nekrózu kosterního a srdečního svalstva. Může ovlivňovat také zdraví mléčné žlázy, převážně jsou popisovány výskyty klinických a subklinických mastitid a zvýšený počet somatických buněk (PSB) v mléce (Arshad et al. 2021). Nedostatek *Se* brání syntéze a funkci glutathionperoxidázy, která chrání před peroxidy vznikajícími při intermediálním metabolismu buněk s oxidací tuků a bílkovin membrán. Deficit tedy poškozuje zejména buněčné a mitochondriální membrány. Zvyšuje také křehkost erytrocytů odpovídající anémii a poškození endotelové membrány vedoucí k celkovému edému (Ghany-Hefnawy & Tórtora-Pérez 2010).

Deficit *Se* také ovlivňuje sekundární deficit jódu u obratlovců, následkem čehož dochází k potratům, výskytu mrtvě narozených plodů, snížené hmotnosti plodu, slabým mláďatům, prodloužené gestaci a neplodnosti (Flueck et al. 2012).

U samců s deficitem *Se* je prudce snížena plodnost a počet spermií, přesto může být motilita spermií částečně zachována, nicméně následně dochází k poškození DNA a může být ovlivněno zdraví potomstva (Flueck et al. 2012). Antioxidační ochrana hraje hlavní roli při zachování integrity membrán spermií a jejich fertilizační schopnosti. *Se* podílející se na antioxidační obraně organismu podstatně ovlivňuje kvalitu ejakulátu. Ve varlatech je lokalizováno několik selenoproteinů (včetně selenofosfátsyntázy, mitochondriálního selenoproteinu atp.) Fertilní potenciál a plazmatická membrána spermií jsou negativně ovlivněny peroxidací lipidů, kvůli přítomnosti vysoké koncentrace polynenasycených mastných kyselin. Tyto polynenasycené mastné kyseliny dodávají membráně vysokou elasticitu nezbytnou pro pohyblivost spermií a jejich fúzi s oocyty. Peroxidace lipidů může vést ke ztrátě fluidity a integrity membrány a tím ke snížení schopnosti oplození. Počet spermií a jejich motilita jsou základními ukazateli funkční schopnosti spermií (Hosnedlova et al. 2017).

Přebytek *Se* ve výživě skotu

Nadměrná suplementace (5–8 mg/kg sušiny) naopak může vést k akutní toxicitě, chronické a akutní selenóze. Předpokládáme, že anorganický *Se* je třikrát toxičtější než organická forma (Arshad et al. 2021). Akutní intoxikace může způsobovat nekrózu myokardu u přežvýkavců a

prasat. Ta může být patrná jako světlé pruhy a krváceniny v myokardu a nahromadění edému v plicích. Dále může docházet k alopecii a praskání kopytní stěny (Raisbeck 2020).

Akutní selenóza je vždy následkem nadměrné suplementace nebo předávkování parenterálními přípravky. Rostliny, které akumulují takové množství *Se*, které může být pro býložravce toxické, jsou pro tato zvířata extrémně nechutné a obvykle tedy nedochází k předávkování *Se* touto cestou. Akutní selenóza se může projevit jako náhlý úhyn, kterému může předcházet několik klinických příznaků, pokud zvíře pozře extrémně vysoké množství *Se*. Ve většině případů však dochází ke smrti během několika hodin až několika dní po toxické dávce. Klinické příznaky začínají 1–24 hodin po expozici a obecně se týkají gastrointerstinálního, kardiovaskulárního a respiračního systému. Zpočátku se intoxikovaná zvířata stávají letargickými a ztrácí zájem o krmivo. Pokud byla toxická dávka podána parenterálně, místo vpichu je bolestivé. Zvířata se pohybují slabou, kolébavou chůzí, což je výsledkem celkové slabosti a šoku. Příznaky doprovází bolest břicha, projevující se skřípáním zubů, průjmem a stažením břicha, a to především u orální expozice. Ještě před nástupem klinických příznaků dochází k poklesu krevního tlaku, zvýšení srdeční frekvence a dechu, zrychlení periferního oběhu a slábnutí pulsu. Intoxikovaná zvířata mohou být cyanotická, se serózním výtokem z mulce a s vlhkým sípáním. Může se vyskytovat také horečka a hemolytická anémie. Svalová slabost přechází až do vyčerpání a do kómatu. Úhyn je způsoben oběhovým či respiratorním selháním a nastává nejčastěji 1 až 2 dny po expozici (Raisbeck 2020).

Chronická selenóza je nejčastějším důsledkem chronického vystavení nadměrnému množství *Se*. Charakteristickými rysy jsou bilaterálně symetrická alopecie a dystrofie. Alopecie typicky zahrnuje zátylek hlavy a ocas, v závažných případech i další části těla. Mezi první známky otravy patří kulhání, erytém a otok korunky paznehtu. Do tří týdnů od prvních příznaků dochází k praskání rohoviny paznehtů. Praskání je rychle postupující a následkem bolesti může docházet u zvířat až k hladovění a neschopnosti přesunout se za krmením (Raisbeck 2020).

Vliv *Se* na mléčnou užitkovost a zdraví skotu

Mléko a mléčné výrobky jsou považovány za výborný zdroj minerálních látek, které hrají důležitou funkci pro zajištění správného růstu a zdraví člověka. Vzhledem k přímé asociaci *Se* v potravě s obsahem *Se* v mléce je hladina *Se* v mléce považována za snadný a neinvazivní způsob hodnocení výživného stavu *Se* ve stádě. Obsah *Se* v mléce nižší než 0,12 $\mu\text{mol/l}$ ukazuje

nedostatek *Se* a obsah nad 0,28 $\mu\text{mol/l}$ ukazuje adekvátní hladiny (Mehdi & Dufrasne 2016; Hosnedlova et al. 2017).

Se je jedním z nejdůležitějších stopových prvků pro optimální užitkovost dojníc a je spojen s výskytem mastitid. Primárním obranným mechanismem proti mastitidě je fagocytární aktivita neutrofilů, která se u dojníc v deficitu snižuje. *Se* ovlivňuje vrozené a adaptivní imunitní reakce mléčné žlázy prostřednictvím humorálních a buněčných aktivit. Účinek *Se* na patogeny mléčné žlázy je zprostředkován několika mechanismy, tedy masivnějším a rychlejším přílivem polymorfonukleárních leukocytů do vemene, účinnějším zabíjením bakterií pomocí těchto leukocytů, vysokou antibakteriální aktivitou syrovátky, vysokou expresí syrovátky, vysokou expresí selenoproteinu s antioxidačními vlastnostmi v mléčné žláze (Hosnedlova et al. 2017). Mnoho studií uvádí korelaci mezi deficitem *Se* u dojníc a špatnou imunitní odpovědí, vyššími počty somatických buněk a nižší odolností vůči klinickým i subklinickým mastitidám především v rané fázi laktace. Na základě tohoto se předpokládá, že nedostatek *Se* může způsobit nižší bakteriální kapacitu neutrofilů a inhibovat proliferaci lymfocytů, což vede ke špatné imunitní odpovědi. Bylo prokázáno, že suplementace selenizovaných kvasinek u dojených zvířat snižuje PSB, zároveň zvyšuje hladiny $\alpha\text{S2-kaseinu}$ a baktenečinu 7,5 v somatických buňkách (Arshad et al. 2021).

Podávání *Se* jalovicím a kravám před otelením snížilo prevalenci intramamárních infekcí a vysokého počtu somatických buněk během časně laktace. Injekční aplikace *Se* společně se *Zn*, *Mn* a *Cu* měla dopad na snížení počtu somatických buněk a výskytu mastitid. Dietární přídatek *Se* zvyšuje nejen koncentraci *Se* ale i procento příznivých polymorfonukleárních leukocytů v kravském mléce. V mléce je nejvíce *Se* přítomno v syrovátce (47,2 – 73,6 %) a nejméně v tukové frakci (4,8 – 16,2 %) (Hosnedlova et al. 2017). Přídatek *Se* v krmivu spolu s vitamínem E navíc zvyšuje procento hrubé bílkoviny a laktózy (Hosnedlova et al. 2017).

Různé studie ukázaly, že podání *Se* má za následek zvýšený obsah albuminu, inzulinu a celkového obsahu bílkovin u dojníc. Obecně se však výsledky liší a některé studie neuvádí žádný vliv suplementace *Se* na užitkovost, jiné uvádí zvýšení produkce při suplementaci (0,5 mg/kg sušiny) během prvních 8 týdnů laktace, zároveň uvádí i zvýšený obsah bílkovin a laktózy. Mléko je hlavní zásobou selenomethioninu, z důvodu, že mléčná žláza je schopna extrahovat velké množství methioninu za vzniku mléčných bílkovin. Suplementace organickou formou zvyšuje obsah tuku u dojníc až na 4,15 % ve srovnání s obsahem 3,96 % u suplementace anorganickou formou. Toto zvýšení může být způsobeno nižším enzymatickým působením lipáz leukocytů v důsledku nižšího počtu somatických buněk. U neutrofilů je zjištěna zvýšená schopnost boje proti patogenům způsobujícím mastitidu při suplementaci organické formy *Se*.

Na druhou stranu některé studie uvádějí tendenci snížení obsahu tuku při suplementaci. Možným mechanismem by mohl být vztah mezi obsahem *Se* v krvi a obsahem tuku, protože zvýšený obsah *Se* může regulovat oxidační reakce v rámci trikarboxylového cyklu a syntézy mastných kyselin (Arshad et al. 2021).

Vliv *Se* na reprodukci skotu

Optimální reprodukční schopnosti savců závisí na mnoha faktorech, jako je genetika, management a prostředí. Mezi tyto faktory patří i výživa a výživa stopovými prvky, která je životně důležitá pro různé biologické funkce, jako je růst, vývoj a rozmnožování. I malé výkyvy v hladinách mikroprvků mohou mít významný vliv na biologické procesy včetně reprodukčního zdraví a výkonnosti (Qazi et al. 2019). Většina reprodukčních poruch jako je zadržená placenta, metritida, cysty na vaječnících, zmetání v rané fázi březosti a porucha funkce reprodukčních orgánů jsou obecně způsobovány mikrobiálními infekcemi nebo metabolickými poruchami. Metabolické poruchy lze adekvátně zmírnit prostřednictvím doplňování esenciálních živin a stopových minerálů do krmné dávky (Arshad et al. 2021).

Bylo prokázáno, že dietární suplementace *Se* u dojných zvířat vykazuje různé účinky na reprodukci. Výsledkem je snížený poměr neplodnosti, snížený výskyt embryonální mortality, endometritidy a ovariálních cyst v poporodním období (Arshad et al. 2021). U býků je nedostatek *Se* spojován s nepříznivými účinky na syntézu testosteronu a spermií. V důsledku suplementace se navíc zlepšuje morfologie varlat a šourku (Arshad et al. 2021). Adekvátní stopové množství *Se* také vede k normální spermatogenezi, zrání spermií, motilitě spermií a celkové funkci. Příjem také souvisí se zvýšením antioxidační aktivity glutathionperoxidázy, čímž se u býků zlepšuje plodnost (Qazi et al. 2019). Jamali et al. (2019) dokonce uvádí zvýšenou kvalitu rozmrazeného kryokonzervovaného ejakulátu, kdy byly zjištěny zvýšené parametry kvality spermií, jako je motilita, koncentrace a integrita membrán. Autoři rovněž uvádí až o 30 % vyšší míru zabřezávání u inseminačních dávek od suplementovaných býků.

Zjišťování *Se* z krve a jeho metabolismus v kombinaci s ostatními mikroprvky

Krevní metabolity jsou považovány za rychlý a účinný nástroj pro hodnocení zdravotního stavu ve stádech dojnic. Koncentrace *Se* v séru vysoce koreluje s příjmem *Se* v krmivu během 2 až 6 dnů po suplementaci. *Se* je v krvi propojen s řadou proteinů včetně globulinů (α a β), lipoproteinů (s nízkou a vysokou hustotou) a albuminem. Studie uvádí, že adekvátní hladina *Se* v krvi skotu by měla být vyšší než 0,18 $\mu\text{g/ml}$ v krvi a 0,08 $\mu\text{g/ml}$ v plazmě. Studie popisují i

příznivější koncentraci glukózy v krvi (z 24,1 na 29,1 mmol/l), bílkovin (z 68,5 na 73,5 g/l) a albuminu (z 34,6 na 39,8 g/l) oproti zvířatům bez suplementace *Se* (Arshad et al. 2021).

Se v kombinaci s jinými stopovými prvky a minerály může zlepšovat reprodukční schopnost různých druhů zvířat. Studie Butt et al. (2019) dokazuje, že organický *Se* (3 g dietního přídatku Selemax® (Biorigin, USA)/den) v kombinaci s vitamínem E (6000IU/den) podávaný býkům po dobu 13 týdnů zvyšují motilitu spermií o 7,38 %. Zároveň došlo ke zlepšení hodnot ALH (amplituda bočního posunu hlavičky) u spermií o 0,58 µm. Suplementace rovněž zvýšila hodnoty testosteronu v krvi o 2,73 mg/dl oproti kontrolní skupině. Studie Domosławska et al. (2019) přišla s podobnými výsledky, kdy dokazuje, že selenizované kvasnice (6 µg/kg živé hmotnosti) v kombinaci s vitamínem E (5 mg/kg živé hmotnosti) podávané psům po dobu 60 dní významně zlepšily kvalitu spermatu, koncentraci spermatu, pohyblivost spermií a procento živých a normálních spermií.

Podobně Hoque et al. (2016) potvrzují, že podávání kombinace vitamínu E a *Se* zvyšuje imunitní odpověď mléčné žlázy a může významně ovlivnit výskyt nových infekcí vemene při stání na sucho. Zároveň byla v jejich výzkumu účinnější intramuskulární aplikace oproti aplikaci orální. Výsledky ukázaly, že po otelení nebyl u pokusné skupiny dojnic zjištěn výskyt nové intramamární infekce, zatímco u kontrolní skupiny byl zaznamenán u 30 % plemenic. Míra vyléčení stávajících infekcí byla během aplikace *Se* a vitamínu E vyšší rovněž u zkušební skupiny a to až 82 % a u pokusné skupiny 23 %.

Rose et al. (2012) podávali kravám přibližně 8 týdnů před otelením bolusy obsahující *Se*, *I* a *Co*. Jedním z výstupů byl neutrální vliv bolusů na imunitní stav nově narozených telat. Tento výsledek je velmi důležitý vzhledem k mnoha studiím, které uvedly potlačenou absorpci kolostrálních látek u jehňat. Bolusy vedly k pozitivní korelaci mezi absorpcí imunoglobulinů u telat během prvních 24 hodin a celkovou koncentrací trijodtyroninu během prvních 24 hodin života telete. Na druhé straně byl zjištěn negativní vztah mezi účinností absorpce imunoglobulinů a celkovou koncentrací tyroxinu během první hodiny.

III. Metodika pokusu a získávání informací v chovu

Popis farmy

Pokus byl realizován na produkční farmě holštýnského skotu (cca 750 kusů základního stáda) v okrese Kutná Hora ve Středočeském kraji (460 m.n.m.), přičemž z toho cca 620 ks krav bylo vždy aktuálně dojících.

Dojnice byly ustájeny ve volném stelivovém boxovém ustájení. Jako podestýlka byl využit separát z kejdy. Dojení probíhalo 3× denně v rybinové dojírně, kde se nachází 2 × 14 dojících stání.

Průměrná užitkovost činí 12 500 kg mléka za laktaci s průměrným denním nádojem přibližně 40 litrů mléka na dojnici a obsahem mléčných složek 3,6 až 3,8 % tuku, 3,5 až 3,6 % bílkovin a 4,8 až 5 % laktózy. Průměrný PSB na 1 ml mléka se pohyboval na hodnotách 150 000 až 180 000, v závislosti na období roku. Většina produkce je odvážena a zpracovávána v externí mlékárně. Část produkce je v tomto chovu zpracována ve vlastní minimlékárně.

Obrázek 1. Produkční stáj



Voda a krmná dávka ve výživě skotu

Voda byla zvířatům ve stáji poskytována ad libitum. Homogenní směsná krmná dávka (TMR) byla aplikována na krmný stůl dvakrát denně s přihrnováním během dne, což zajistilo příjem 50 kg čerstvé hmoty na krávu a den. Krmná dávka se skládala ze sena, kukuřičné siláže, produkční a minerální doplňky, viz tabulka 1. Nutriční složení TMR je uvedeno v tabulce 2.

Kontrolní skupina dostávala běžně vyráběnou siláž z kukuřice a minerální směs s normovaným obsahem *Se* pro dojnice. U pokusné skupiny byla pro výživu využita fortifikovaná krmná dávka obsahující selenizovanou siláž z kukuřice. Obsah *Se* v této siláži činil $2,24 \pm 0,18$ mg/kg sušiny, zatímco v neobohacené siláži pouze $0,03 \pm 0,01$ mg/kg. Obohacená siláž byla vytvořena foliárním ošetřením kukuřice roztokem selenanu sodného (Na_2SeO_4) v dávce *Se* 80 g/ha během fenologické fáze růstu BBCH 61. Minerální doplňková směs u této skupiny byla bez obsahu *Se* (prevence předávkování). Obsah *Se* v TMR byl pro kontrolní skupinu v prvním roce $0,58 \pm 0,03$ mg/kg a ve druhém roce $0,51 \pm 0,07$ mg/kg sušiny. Pro pokusnou skupinu byl obsah *Se* v TMR v prvním roce $0,89 \pm 0,07$ mg/kg a ve druhém roce $0,97 \pm 0,15$ mg/kg sušiny. Podle National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2021) je maximálně tolerovaná hladina *Se* 2 mg/kg sušiny krmiva.

Tabulka 1. Kompletní krmná dávka

Složky	podíl složky v krmné dávce (% sušiny)
Vojtěškové seno	13,6
Ovesné seno	4,38
Kukuřičná siláž	17,8
Sójový extrahovaný šrot	10,1
Extrudovaná sója	3,71
Melasa	1,01
Kukuřičné vločky	18,2
Sójové slupky	6,23
Bavlníkové semeno	7,34
Kukuřičný šrot	8,00
Krmné tuky	1,48
Sušená lihovarská zrna s rozpustnými látkami	1,75
BergaFat	1,62
Uhličitan vápenatý	1,02
Hydrogenuhlíčan draselný	1,03
Fosforečnan vápenatý	0,06
Hydrogenuhlíčan sodný	1,32
Oxid hořečnatý	0,36
Soli	0,43
Zeolit	0,45
Premix	0,19

Tabulka 2. Nutriční složení krmné dávky

Nutriční komponenty	obsah složky
Neutrální detergentní vláknina (NDF) (% sušiny)	28,0
Kyselá detergentní vláknina (% sušiny)	18,7
Hrubý protein (% sušiny)	17,5
Etherový extrakt (% sušiny)	5,98
Vápník (mg/kg sušiny)	0,91
Fosfor (mg/kg sušiny)	0,44
Netto energie laktace (Mcal/kg)	1,68

Design pokusu v rámci sledování

Vlastní hodnocení probíhalo po dobu 2 sezón (2023 a 2024). Při obou cyklech nicméně byly trochu odlišné podmínky ustájení. V prvním roce byla hodnocená zvířata umístěna v relativně moderní stáji. Ve druhém roce byly hodnocené skupiny v odlišných stájích z důvodu rekonstrukce původní stáje. Pokusná skupina byla v technologicky výrazně zastaralejší stáji. Nicméně design pokusu byl vždy stejný. Do hodnocení byly vybrány 2 skupiny produkčních dojníc na stejné laktaci (2. a 3. laktace) a v podobné fázi mezidobí (od 30. do 139. dne v laktaci - DIM při prvním hodnocení, s průměrnou hodnotou při začátku testu 57 DIM) o počtu 120 kusů (60 kusů kontrolní, 60 kusů pokusná skupina). Z těchto skupin byly vždy odebírány vzorky mléka, krve, výkalů a detailně hodnoceny ukazatele (nádoj, obsahy složek mléka, somatické buňky a další) u 8 kusů z každé z těchto skupin.

Provozní sledování začalo na konci února a trvalo do července daného roku. Celkem bylo v každém roce realizováno vždy 10 odběrů a hodnocení. Z toho vyplývá, že bylo realizováno celkem 160 odběrů (8 zvířat z každé skupiny x 10 opakování x 2 skupiny) za rok a 320 odběrů za celé období (dva roky). První hodnocení a odběry vzorků byly provedeny zhruba týden před zahájením vlastního pokusu (1. odběr vzorků). Druhé hodnocení proběhlo v den zahájení zkrmování fortifikované siláže pokusné skupině dojníc (2. odběr vzorků). Třetí hodnocení proběhlo týden po zahájení zkrmování (3. odběr vzorků). Následné 3 odběry byly provedeny také v týdenním intervalu (4. – 6. odběr vzorků), tak aby byla popsána změna koncentrace *Se* v odebíraných vzorcích v prvních 6 týdnech zkrmování selenizované krmné dávky. Další 2 odběry proběhly ve čtrnáctidenním intervalu (7. a 8. odběr vzorků). Předposlední hodnocení proběhlo měsíc po předchozím (9. odběr vzorků). Poté se přestala zkrmovat fortifikovaná siláž a proběhlo závěrečné hodnocení po měsíci od předchozího (10. odběr vzorků), tak aby bylo možno posoudit vývoj koncentrace *Se* ve sledovaném období. Ovšem ne všechny odběry a hodnocení, jak vyplývá výše z textu byly realizovány s přídatkem *Se* fortifikované siláže. To

je důvod, proč v rámci vyhodnocení efektu přídatku *Se* je pouze 128 hodnocení (8 odběrů x 8 zvířat x 2 roky hodnocení).

Obrázek 2. Dojírna



Odběr vzorků a jejich hodnocení

Zvířata byla v průběhu celého pokusu od 30. do 293. dne v laktaci (DIM). Pro stanovení obsahu *Se* se za asistence veterinárního lékaře odebíraly vzorky mléka, krve a výkalů. Pro potvrzení stabilního obsahu *Se* v siláži byly pravidelně odebírány vzorky TMR z krmných stolů zapojených skupin dojnic. Stanovení obsahu *Se* ve vzorcích proběhlo na Katedře agrochemie a výživy rostlin, FAPPZ, ČZU v Praze, metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS, Agilent 8900 Agilent Technologies Inc., USA). Ve vzorcích mléka se stanovoval obsah tuku (%), bílkovin (%), laktózy (%), tukuprosté sušiny (%), sušiny (%), močoviny (%), kyseliny citronové (%), volných mastných kyselin (mmol/100g), a dále bod mrznutí mléka (°C), hustota (g/l), titrační kyselost (SH) a počet somatických buněk (PSB) (tis/ml). Stanovení obsahu složek mléka probíhalo na Katedře kvality a bezpečnosti potravin, FAPPZ, ČZU v Praze na přístroji MilkoScan FT 120 (Foss, Denmark). Somatické buňky byly stanoveny na přístroji DeLaval Cell counter (DeLaval, New Zealand). Z faremní evidence byl hodnocen také denní nádoj (kg), ze kterého byly následně počítány průměry denního nádoje za

skupiny dojnic, zdraví (reprezentováno výskytem mastitid a problémy s končetinami) a plodnost (reprezentováno zabřezáváním).

Statistické vyhodnocení získaných dat

Statistické zpracování proběhlo v programu SAS 9.4 (SAS/STAT®; SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) za využití procedur MEANS a CORR pro stanovení základní statistik a korelací. Pro vlastní vyhodnocení významnosti efektů byla použita procedura MIXED, s následným detailním vyhodnocením pomocí Tukey-Kramerova testu. Efekty do modelové rovnice byly vybrány v návaznosti na design pokusu a dle hodnot Akaikova informačního kritéria. Modelová rovnice pro vyhodnocení obsahu *Se* v mléce ($\mu\text{g/l}$), krvi ($\mu\text{g/l}$), výkalech (mg/kg), resp. nádoje (kg), obsahu základních složek mléka (tuk - %, bílkoviny - %, kasein - %, laktóza - %, sušiny - %) a kvalitativních ukazatelů (bod mrznutí mléka – °C, kyselost – SH, PSB – tis./ml) měla následující efekty: rok, přídavek *Se*, skupina dojnic a náhodný efekt jedince, resp. lineární regrese na dny laktace. Modelová rovnice měla následující tvar:

$$y_{ijkl} = \mu + \text{ROK}_i + \text{PŘS}_j + \text{SKD}_k + \text{IND} + b^*(\text{DIM}) + e_{ijkl}$$

kde

y_{ijkl} = hodnota závislé proměnné (průměrný denní nádoj (l), *Se* v mléce ($\mu\text{g/l}$), *Se* v krvi ($\mu\text{g/l}$), somatické buňky (tis./ml), tuk (%), bílkovina (%), laktóza (%), kasein (%), tukuprostá sušina (%), sušina (%), bod mrznutí (°C), močovina (%), hustota (g/l), kyselost (°SH), kyselina citronová (%), volné mastné kyseliny (mmol/100g tuku)),

μ = obecná hodnota závislé proměnné,

ROK_i – fixní efekt roku ($i = 2023, n = 160; i = 2024; n = 160$),

PŘS_j – fixní efekt přídavku *Se* ($j = \text{ano}, n = 128; j = \text{ne}, n = 192$),

SKD_k – fixní efekt skupiny dojnic ($k = \text{pokus}, n = 160; k = \text{kontrola}, n = 160$),

IND – náhodný efekt individuality dojnice,

$b^*(\text{DIM})$ – lineární regrese na dny laktace,

e_{ijkl} – náhodná reziduální chyba.

Pro vyhodnocení statistických průkazností byly použity úrovně $P < 0,001$; $P < 0,01$ a $P < 0,05$.

IV. Výsledky

Základní statistiky a porovnání

Zvířata zařazená do pokusu byla v obou sledovaných letech poměrně vyrovnaná z hlediska pořadí laktace a její fáze. I proto je dále uvedeno hodnocení bez ohledu na rok odběru vzorků. Také mezi kontrolními a pokusnými zvířaty byly pouze minimální odchylky. I přesto nicméně byly zaznamenány poměrně velké výkyvy v nádojích, obsahu základních složek a ukazatelích kvality, jak je patrné z tabulky 3 a 4 (kontrolní a pokusná skupina krav). Průměrný nádoj za sledované období byl 48,07 l v kontrolní a 49,29 l v pokusné skupině, a to s poměrně podobnými směrodatnými odchylkami. Podobně hodnoty mezi kontrolní a pokusnou skupinou byly vypočteny i pro obsah tuku, bílkovin a laktózy. U těchto ukazatelů kvality mléka byly pozorován velký rozptyl, který byl do velké míry způsoben rozdílnou fází laktace zvířat v průběhu sledování, kdy dojnice byly od 30. do 294. dne v laktaci. V průběhu pokusu se u některých dojnic vyskytly případy mastitid (nicméně nebyl to většinou důvod k vyřazení ze sledování), což se projevilo ve velkém rozptylu v počtu somatických buněk, jejichž počet se za sledované období pohyboval napříč kontrolní a pokusnou skupinou od 1 tis./ml do 4 970 tis./ml. Toto se také promítlo i do ostatních parametrů kvality, jako je například titrační kyselost, kdy byla vypočtena průměrná hodnota 7,74, resp. 7,75 SH se směrodatnou odchylkou 1,02 a 1,37 SH. Velké rozdíly, tedy efekt zkrmování selenizované siláže, se projevil v obsazích *Se* v mléce, krvi a výkalech, což dobře demonstrují tabulky 3 a 4.

Tabulka 3. Základní statistiky souboru dat za kontrolní skupinu krav ve sledovaném období

Proměnná	n	$\bar{x}$	s	min.	max.	s.e.	V (%)
Průměrný denní nádoj (l)	158	48,07	7,91	24,29	66,6	0,63	16,46
PSB (tisíc/ml)	160	97,35	251,20	1	1851	19,86	258,04
Tuk (%)	157	3,79	1,09	0,92	9,7	0,09	28,91
Bílkoviny (%)	160	3,49	0,32	2,15	4,18	0,02	9,05
Kasein (%)	159	2,84	0,24	2,25	3,42	0,02	8,38
Laktóza (%)	160	5,07	0,18	4,04	5,6	0,01	3,62
TPS (%)	160	9,31	0,43	5,94	10,12	0,03	4,61
Sušina (%)	160	13,11	1,27	10,47	18,89	0,10	9,67
Bod mrznutí (°C)	160	0,54	0,03	0,48	0,74	0,00	4,84
Močovina (%)	160	0,03	0,01	0,01	0,07	0,00	36,93
Hustota (g/l)	152	1032,68	2,62	1011,90	1037,60	0,21	0,25
Titrační kyselost (°SH)	160	7,75	1,02	5,06	14,54	0,08	13,20
Kyselina citronová (%)	160	0,14	0,02	0,08	0,26	0,00	16,48
VMK (mmol/100 g tuku)	157	4,37	1,85	0,13	10,9	0,15	42,34
Obsah <i>Se</i> v mléce (μg/l)	160	23,08	4,41	12,86	34,01	0,35	19,12
Obsah <i>Se</i> v krvi (μg/l)	160	256,06	20,06	193	317,55	1,59	7,83
Obsah <i>Se</i> ve výkalech (mg/kg)	60	1,03	0,27	0,56	1,49	0,03	26,19

n – počet sledovaných zvířat; $\bar{x}$ – aritmetický průměr; s – směrodatná odchylka; min. – minimální hodnota; max. – maximální hodnota; s.e. – střední chyba aritmetického průměru; V (%) – koeficient variance; PSB – počet somatických buněk; TPS – tukuprostá sušina; VMK – volné mastné kyseliny.

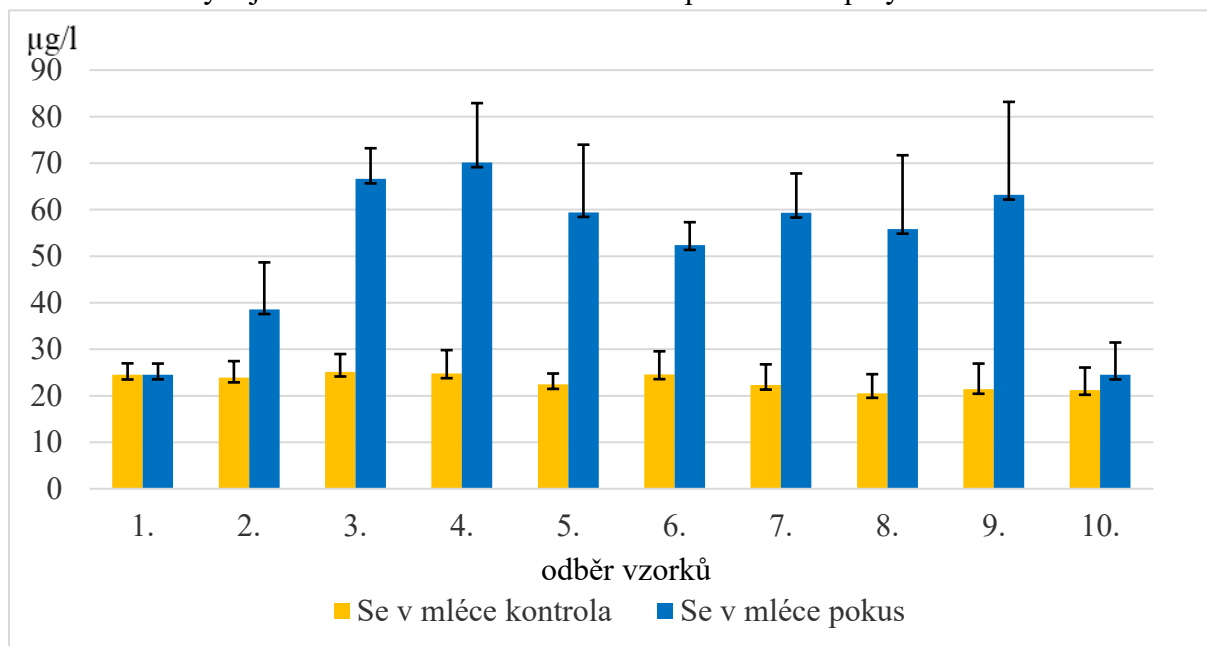
Tabulka 4. Základní statistiky souboru dat za pokusnou skupinu krav ve sledovaném období

Proměnná	n	$\bar{x}$	s	min.	max.	s.e.	V (%)
Průměrný denní nádoj (l)	156	49,29	8,56	5,7	76,4	0,69	17,36
PSB (tisíc/ml)	160	160,65	477,35	1	4970	37,74	297,14
Tuk (%)	160	3,86	1,11	1,76	9,55	0,09	28,83
Bílkoviny (%)	158	3,44	0,30	2,8	4,26	0,02	8,66
Kasein (%)	158	2,81	0,24	2,31	3,48	0,02	8,45
Laktóza (%)	157	5,12	0,15	4,7	5,55	0,01	2,90
TPS (%)	160	9,29	0,32	8,38	10,02	0,03	3,46
Sušina (%)	160	13,06	1,14	11,12	17,95	0,09	8,74
Bod mrznutí (°C)	160	0,54	0,02	0,44	0,63	0,00	3,79
Močovina (%)	160	0,04	0,01	0,02	0,06	0,00	29,46
Hustota (g/l)	152	1032,57	2,19	1017,8	1035,8	0,18	0,21
Titrační kyselost (°SH)	160	7,74	1,37	5,72	19,17	0,11	17,73
Kyselina citronová (%)	160	0,13	0,03	0,06	0,291	0,00	19,16
VMK (mmol/100 g tuku)	159	4,48	2,13	0,48	14,06	0,17	47,59
Obsah Se v mléce (µg/l)	160	51,45	19,35	15,66	108,69	1,53	37,61
Obsah Se v krvi (µg/l)	160	287,07	34,06	216	371	2,69	11,87
Obsah Se ve výkalech (mg/kg)	60	1,38	0,47	0,53	2,40	0,06	34,09

n – počet sledovaných zvířat; $\bar{x}$ – aritmetický průměr; s – směrodatná odchylka; min. – minimální hodnota; max. – maximální hodnota; s.e. – střední chyba aritmetického průměru; V (%) – koeficient variance; PSB – počet somatických buněk; TPS – tukuprostá sušina; VMK – volné mastné kyseliny.

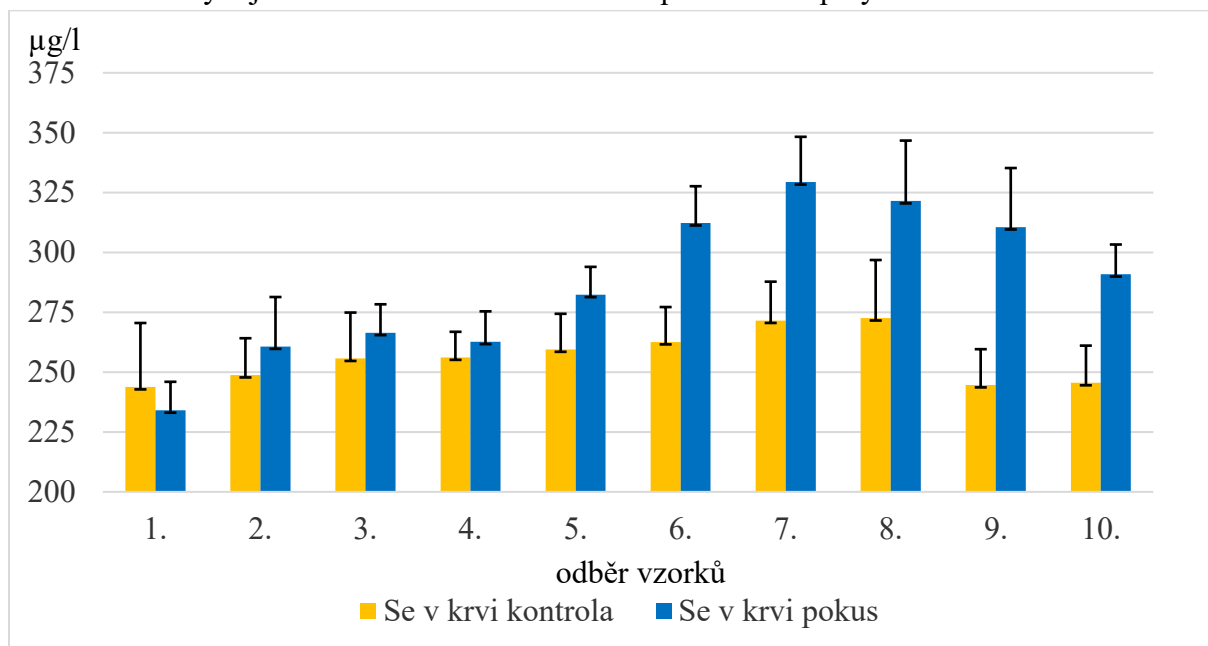
V grafu 1 je uveden vývoj průměrného obsahu Se v mléce u skotu v průběhu pokusu za oba sledované roky (2023 a 2024) dohromady. Před zahájením zkrmování fortifikované siláže (1. hodnocení v komentovaném grafu) byly hodnoty u obou skupin téměř totožné. Kontrolní skupina dosáhla hodnoty obsahu Se v mléce 23,49 µg/l. Pokusná skupina měla před zahájení zkrmování obsah Se v mléce 24,53 µg/l. V následujících týdnech hodnocení docházelo k nárůstu rozdílu v obsahu Se v mléce až do 4. odběru vzorků (2 týdny po začátku zkrmování fortifikované siláže), kdy bylo dosaženo maxima 70,13 µg/l. Poté sice došlo k mírnému poklesu hladiny Se v mléce, ale rozdíly oproti kontrolní skupině odpovídaly více než dvojnásobné hodnotě. Měsíc po ukončení zkrmování fortifikované siláže (10. odběru vzorků) se pak dostala kontrolní a pokusná skupina téměř na totožné hodnoty (21,20 µg/l, resp. 24,5 µg/l).

Graf 1 – Vývoj obsahu *Se* v mléce u kontrolní a pokusné skupiny



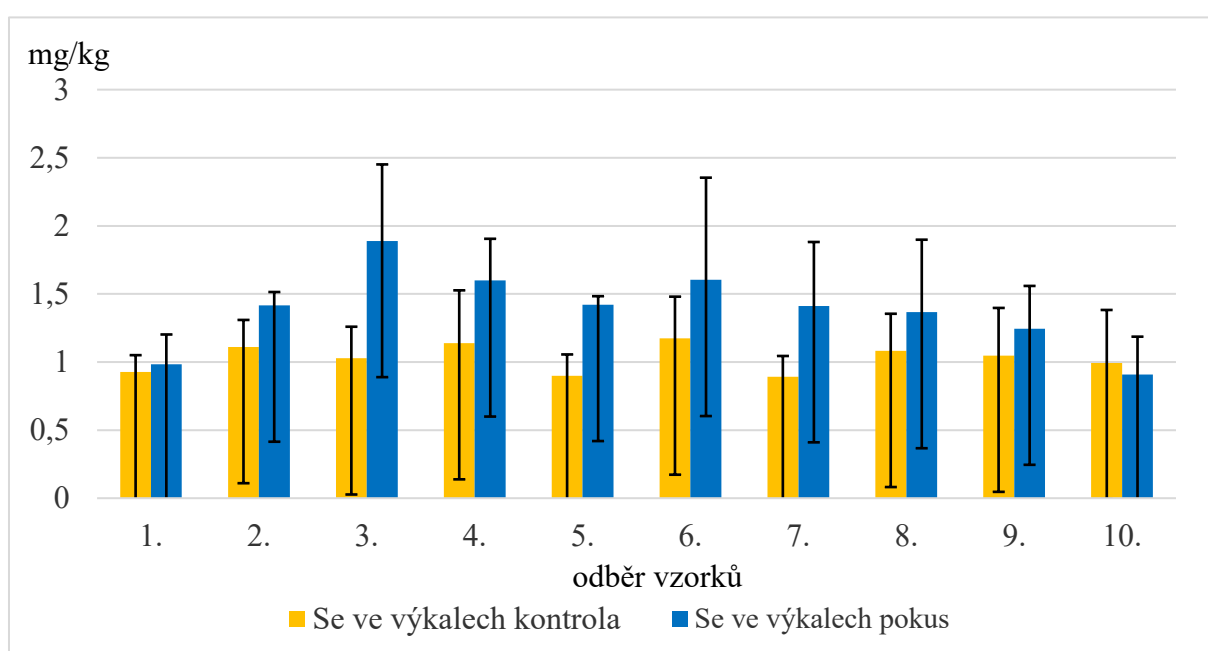
Graf 2 demonstruje vývoj obsahu *Se* v krvi hodnocených zvířat. Koncentrace tohoto prvku v krvi stoupala pozvolněji než v případě mléka a začínala na hodnotách 243,79, resp. 234,05 µg/l v případě kontrolní a pokusné skupiny zvířat (1. odběr vzorků v grafu). Maximálních průměrných hodnot bylo dosaženo až zhruba po měsíci a půl od začátku zkrmování fortifikované siláže (to je v grafu demonstrováno 7. měřením). V tomto období se obsahy *Se* v krvi pokusné skupiny dostaly na úroveň 329,34 µg/l, zatímco kontrolní skupina ve stejném období dosáhla pouze 271,53 µg/l. Za pozornost stojí i větší stálost koncentrace *Se* v krvi, kdy i po měsíci od ukončení zkrmování (10. odběr vzorků) fortifikované siláže zůstal obsah v krvi u pokusných skupin o cca 45 µg/l vyšší oproti kontrolní skupině. To dokumentuje pozitivní vliv zkrmování selenizované kukuřičné siláže na obsah *Se* v krvi.

Graf 2 – Vývoj obsahu *Se* v krvi u kontrolní a pokusné skupiny



Podobně jako u mléka a krve se měnil také obsah *Se* ve výkalech. Při třetím odběru vzorků (týden po začátku zkrmování fortifikované siláže) byla dosažena maximální hodnota 1,89 µg/kg *Se* ve výkalech u pokusné skupiny. Mezi kontrolní a pokusnou skupinou zvířat byly pouze relativně malé rozdíly. Po dobu zkrmování fortifikované siláže se rozdíly pohybovaly od 0,2 do 0,86 µg/kg *Se* ve výkalech. Vývoj hodnot *Se* u kontrolní a pokusné skupiny ve výkalech včetně směrodatných odchylek je znázorněn v grafu 3.

Graf 3 – Vývoj obsahu *Se* ve výkalech u kontrolní a pokusné skupiny



Vztahy mezi obsahy *Se* a užitkovostí, reprodukci a zdravím

Tabulka 5 dokumentuje vztahy mezi obsahem *Se* v mléce, krvi, výkalech a hodnocenými parametry mléka. Korelace mezi obsahy *Se* v mléce a krvi, resp. výkalech byly významné $r = 0,236$ ($P < 0,01$). Obsah *Se* v mléce, krvi a výkalech měl pouze minimální vliv na průměrný denní nádoj ve sledovaném období. Obsah *Se* v mléce průkazně koreloval ve vztahu k počtu somatických buněk ($r = 0,228$; $P < 0,01$), viz tabulka 5. Také byly pozorovány vztahy obsahu *Se* v mléce k bodu mrznutí, obsahu močoviny a hustotě. Zde byly pozorovány ale většinou slabé a méně významné korelace ($P < 0,05$). Podobné korelace pak byly vypočteny pro obsah *Se* v krvi a PSB ($r = 0,169$; $P < 0,05$), resp. většinu parametrů kvality jako v případě vztahů popsanych u obsahu *Se* v mléce. Hodnoty korelačních koeficientů zde však byly trochu odlišné. Pozorován byl i vztah mezi obsahem *Se* v krvi a obsahem volných mastných kyselin v mléce ($r = 0,235$; $P < 0,01$). Lze říct, že víceméně opačný vztah byl nalezen pro obsah *Se* ve výkalech a většinu zmiňovaných produkčních parametrů, viz tabulka 5. S počtem somatických buněk zde statisticky průkazná korelace nebyla, ale na druhou stranu k bodu mrznutí mléka, obsahu močoviny v mléce a volným mastným kyselinám v mléce byla závislost výrazně silnější než např. v případě *Se* v krvi. Je zde tedy patrný jistý vztah zkrmování krmné dávky se zvýšeným obsahem *Se* ke kvalitě, technologickým vlastnostem mléka a zdraví dojníc. Obsah pevných složek mléka (% tuku, bílkovin a laktózy) ale není průkazně ovlivňován. Pokud bychom dále zvážili zdravotní stav a zabřezávání, hodnocené 0 a 100 (nemocná vs. zdravá dojnice, jalová vs. zabřezlá plemence) podle výskytu ve sledovaném období, tak k obsahu *Se* v mléce a krvi nebyly pozorovány výrazné závislosti. Pozitivní, statisticky průkazné korelace ($r = 0,354$; resp. $0,287$; $P < 0,05$) byly vypočteny pro vztah obsahu *Se* ve výkalech a zabřezávání, resp. zdraví.

Tabulka 5. Korelace mezi produkčními znaky, resp. zabřezáváním, zdravím (výskyt mastitid a kulhání) a obsahem *Se* v mléce, krvi a výkalech u pokusné skupiny dojníc (n = 58 - 160)

Ukazatel		<i>SeM</i> (µg/l)	<i>SeK</i> (µg/l)	<i>SeV</i> (mg/kg)
Průměrný denní nádoj (kg)	r	-0,097	-0,258	0,11
	P	0,23	0,001	0,413
PSB (tis./ml)	r	0,228	0,169	-0,252
	P	0,004	0,032	0,052
Tuk (%)	r	0,015	-0,017	0,12
	P	0,852	0,828	0,362
Bílkoviny (%)	r	0,002	0,028	0,007
	P	0,976	0,724	0,959
Kasein (%)	r	-0,017	0,016	0,001
	P	0,836	0,844	0,993
Laktóza (%)	r	-0,051	-0,094	0,055
	P	0,524	0,242	0,683
TPS (%)	r	-0,033	-0,017	0,003
	P	0,679	0,83	0,983
Sušina (%)	r	0,02	0,005	0,059
	P	0,799	0,948	0,657
Bod mrznutí (°C)	r	0,184	0,2	-0,334
	P	0,02	0,011	0,009
Močovina (%)	r	-0,191	-0,052	0,516
	P	0,015	0,517	<0,001
Hustota (g/l)	r	-0,196	-0,069	0,165
	P	0,016	0,398	0,219
Kyselost (°SH)	r	0,114	0,154	-0,236
	P	0,15	0,052	0,069
Kyselina Citronová (%)	r	0,145	0,026	-0,162
	P	0,068	0,747	0,215
VMK (mmol/100 g tuku)	r	0,122	0,235	0,368
	P	0,127	0,003	0,004
zabřezávání (%)	r	-0,044	0,065	0,354
	P	0,589	0,423	0,006
zdraví (%)	r	-0,197	-0,059	0,287
	P	0,014	0,463	0,029

r – korelační koeficient; P – statistická průkaznost; PSB – počet somatických buněk; TPS – obsah tukuprosté sušiny; VMK – obsah volných mastných kyselin; *SeM* – selen v mléce; *SeK* – selen v krvi; *SeV* – selen ve výkalech.

Detailní vyhodnocení vlivu přídatku *Se* na užitkovost

Při detailním vyhodnocení byla modelová rovnice statisticky průkazná pro všechny hodnocené parametry. Efekty v modelové rovnici vysvětlovaly proměnlivost hodnocených parametrů v míře od 22,7 % (obsah tuku) do 78,7 % (obsah močoviny). Efekty v modelové rovnici byly ve většině případů statisticky průkazné. Dále je více rozebrán efekt skupiny dle přídatku *Se*, nicméně i v případě např. efektu roku byly pozorovány určité rozdíly v obsahu *Se* v krvi a výkalech, a také v počtu somatických buněk. Tabulky 6 až 8 ukazují porovnání kontrolní a pokusné skupiny v rámci vyhodnocení metodou GLM. Z tabulky 6 je patrné, že jak už bylo zdůrazněno v grafu 1, pokusná skupina měla statisticky průkazně ($P < 0,01$) vyšší hodnoty koncentrace *Se* v mléce, krvi i výkalech. Toto zvýšení hladin *Se* se však neprojevilo v odlišné mléčné užitkovosti a ani průkazném rozdílu v obsahu pevných složek mléka, jako je % tuku, % bílkovin či % laktózy. Odlišnosti mezi kontrolní a pokusnou skupinou nebyly patrné ani ve většině technologických a kvalitativních parametrů, jako je hustota, bod mrznutí, titrační kyselost, močovina, kyselina citronová a obsah volných mastných kyselin. Tyto výsledky dokládají, že suplementace organické formy *Se* ve výživě negativně neovlivňuje mléčnou užitkovost a kvalitu získávaného mléka. Stejně tvrzení je pak vyslovitelné i v případě výskytu mastitid nebo zabřezávání. Obě skupiny v tomto ohledu byly srovnatelné a případné výkyvy byly způsobeny jinými faktory.

Tabulka 6 - Porovnání obsahu *Se*, kvalitativních parametrů mléka, nádoje a obsahu složek mezi hodnocenými skupinami – část 1

skupina	<i>SeM</i> (µg/l)	<i>SeK</i> (µg/l)	<i>SeV</i> (µg/kg)	nádoj (kg)	PSB (tis./ml)
	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM
kontrola	24,99 ± 1,145 ^A	260,38 ± 2,863 ^A	1,01 ± 0,045 ^A	48,77 ± 0,523	100,07 ± 40,799
pokus	56,76 ± 1,583 ^B	297,60 ± 3,960 ^B	1,55 ± 0,076 ^B	48,51 ± 0,756	166,66 ± 56,422

SeM – selen v mléce; *SeK* – selen v krvi; *SeV* – selen ve výkalech; PSB – počet somatických buněk; LSM – průměr opravený o metodu nejmenších čtverců; SELSM – střední chyba průměrů opraveného o metodu nejmenších čtverců; Rozdílná písmena znamenají statistickou průkaznost: A,B – $P < 0,01$; a,b – $P < 0,05$.

Tabulka 7 - Porovnání obsahu *Se*, kvalitativních parametrů mléka, nádoje a obsahu složek mezi hodnocenými skupinami – část 2

skupina	tuk (%)	bílkoviny (%)	kasein (%)	laktóza (%)	sušina (%)	TPS (%)
	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM
kontrola	3,83 ± 0,125	3,46 ± 0,021	2,82 ± 0,015	5,10 ± 0,014	13,09 ± 0,128	9,29 ± 0,035
pokus	3,78 ± 0,172	3,50 ± 0,030	2,85 ± 0,021	5,10 ± 0,020	13,07 ± 0,177	9,33 ± 0,048

TPS – obsah tukuprosté sušiny; LSM – průměr opravený o metodu nejmenších čtverců; SELSM – střední chyba průměrů opraveného o metodu nejmenších čtverců; Rozdílná písmena znamenají statistickou průkaznost: A,B – $P < 0,01$; a,b – $P < 0,05$.

Tabulka 8 - Porovnání obsahu *Se*, kvalitativních parametrů mléka, nádoje a obsahu složek mezi hodnocenými skupinami – část 3

skupina	hustota (g/l)	bod mrznutí (°C ⁻¹)	titrační kyselost (SH)	močovina (%)	kyselina citronová (%)	VMK (mmol/100g)
	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM	LSM ± SELSM
kontrola	1032,71 ± 0,269	0,53 ± 0,002	7,64 ± 0,118	0,04 ± 0,001	0,13 ± 0,002	5,29 ± 0,235 ^a
pokus	1032,76 ± 0,378	0,54 ± 0,003	7,94 ± 0,164	0,04 ± 0,001	0,13 ± 0,003	3,97 ± 0,170 ^b

VMK – obsah volných mastných kyselin; LSM – průměr opravený o metodu nejmenších čtverců; SELSM – střední chyba průměrů opraveného o metodu nejmenších čtverců; VMK – volné mastné kyseliny; Rozdílná písmena znamenají statistickou průkaznost: A,B – $P < 0,01$; a,b – $P < 0,05$.

V. Srovnání „novosti postupů“

Jak bylo uvedeno výše, *Se* je esenciální mikronutrient, který hraje klíčovou roli nejen ve zdraví hospodářských zvířat, ale také v lidské výživě. Produkci siláže fortifikované *Se* lze přispět k výrobě funkčních potravin, konkrétně mléka se zvýšeným obsahem tohoto prvku. Předkládaná metodika popisuje postup zkrmování *Se* fortifikované kukuřičné siláže skotu a sledování následného přenosu *Se* do mléka, krve a exkrementů. Součástí metodiky je rovněž hodnocení vztahu mezi zvýšeným příjmem *Se* u pokusné skupiny a ukazateli produkce, reprodukce a zdravotního stavu zvířat. Výsledky prokázaly, že suplementace *Se* nemá negativní dopad na produkční parametry ani na kvalitu mléka. Novost této metodiky spočívá v aplikaci selenizované kukuřičné siláže jako zdroje *Se*, což představuje alternativu ke konvenčním metodám suplementace, které využívají minerální formy *Se* (např. minerální liz). Pro zajištění efektivního přenosu *Se* do živočišných produktů je vhodné upřednostňovat zdroje organicky vázaného *Se*, například právě agronomicky fortifikovanou siláž.

VI. Popis uplatnění metodiky

Tato certifikovaná metodika poslouží všem chovatelům skotu jako návod pro produkci mléka se zvýšeným obsahem organického *Se*. Jak je popsáno výše v metodice po cca 1 měsíci od začátku zkrmování dochází k ustálení úrovně *Se* ve finální produkci a ta zůstává víceméně stabilní. Zároveň je zřejmé, že při zkrmování selenizované siláže nedojde ke snížení mléčné užitkovosti a ani nejsou ovlivněny obsahy důležitých mléčných složek. V rámci výsledků této metodiky vyplynulo, že zvýšená hladina *Se* v krmné dávce nemá negativní dopad na reprodukční parametry. Spíše pozitivní efekt vyplývající z korelační analýzy je pak vyjádřen na zdraví zvířat. Toto může mít i další uplatnění v prevenci produkčních chorob, které jsou častou příčinou vyřazování dojnic. Přesah uplatnění této metodiky je pak přes zdraví zvířat i do produkce kvalitní potravin a následně pozitivního ovlivnění zdraví lidí. Je předpoklad lepšího naplnění normy potřeby *Se* v lidské výživě bez nutnosti využívání potravinových doplňků. Důležité je však zvolit správnou dávku a načasování postřiku kukuřice, která v případě této metodiky byla ve formě selenanu sodného (Na_2SeO_4) v dávce 80 g *Se* na hektar při aplikaci ve fenologické fázi porostu BBCH 61. Pro maximální množství *Se* ve výživě skotu existují také příslušné normy, kdy při případném předávkování *Se* může být ohroženo nejen zdraví zvířat, ale i prostřednictvím mléčné produkce a případných funkčních potravin zdraví konzumentů.

VII. Ekonomické aspekty

V rámci ekonomiky je třeba vycházet z nákladů na aplikace selenanu sodného (Na_2SeO_4) v dávce *Se* 80 g na hektar. To samozřejmě částečně navýší náklady na produkci nejvíce zastoupené komponenty směsné krmné dávky. Tyto zvýšené náklady se mohou promítnout do ceny krmné dávky a následně do nákladů na litr vyprodukovaného mléka. Krmiva ať již nakoupená či vlastní, tvoří u dojeného skotu cca 45 % z nákladů na litr vyprodukovaného mléka. Náklady na nákup selenanu a na jeho samostatnou aplikaci v dávce 80 g *Se* na ha zvýšily celkové náklady na pěstování o 660 Kč/ha. Při zastoupení kukuřičné siláže v krmné dávce dojnice ve výši 21 kg/den činí tyto vícenáklady 0,34 Kč/krmný den. Při použití kombinace organického a anorganického *Se* v premixu v odpovídající dávce *Se* činí náklady na sloučeniny *Se* na krmný den dojnice také 0,34 Kč. Z uvedené kalkulace vyplývá, že přirozená transformace selenanu v rostlinách zabezpečí dostatek organického vázaného *Se* v rostlinách při stejných nákladech.

Dalším přínosem aplikace je pozitivní efekt na kvalitu mléka z pohledu technologického. To přinese při zpeněžování zlepšení sazby, resp. nepřímo přes snížení výskytu např. mastitid zvýšení užitkovosti. Promítnutím lepšího zdravotního stavu by pak mělo být i snížení nákladů na léčbu a % brakovaných dojnic. Při neovlivněné reprodukci dojnic pak můžeme očekávat zvýšení výkupní ceny mléka, i kvůli samotnému vyššímu obsahu *Se*. Pokud budeme vycházet z aktuálně cca 750 kusů základního stáda a průměrné produkce 12 500 kg/laktaci a mezidobí okolo 390 dnů (průměr pro toto plemeno z dat kontroly užitkovosti ČMSCH), tak můžeme dojít za ideálních podmínek k produkci cca 8 774 000 litrů. Zvýšení tržeb se poté může rovnat okolo 1 Kč na litr vyprodukovaného mléka. Celkový finanční přínos fortifikace organického *Se* do siláže se v podobném chovu rovná zhruba zvýšení tržeb a pravděpodobně i zisku v hodnotě 8 774 000 Kč. Jedná se nicméně o kvalifikovaný odhad, do kterého vstupují další aspekty, jako je nákazová situace, vývoj sezóny výroby píce, lidský faktor apod. Výsledný ekonomický efekt poté může být o něco odlišný. To ovšem nesnižuje benefit produkce funkční potraviny pro lidskou spotřebu a v případě tohoto konkrétního chovu, kde mají i malovýrobu mléčných produktů, i podpory regionální produkce potravin.

VIII. Seznam použité související literatury.

- Arshad MA., Ebeid HM., Hassan FU. (2021). Revisiting the effects of different dietary sources of selenium on the health and performance of dairy animals: a review. *Biological trace element research*, 199(9), 3319-3337.
- Butt MA., Shahid MQ., Bhatti JA., Khalique AKA. (2019). Effect of dietary vitamin E and Selenium supplementation on physiological responses and reproductive performance in Holstein Friesian bulls during humid hot summer. *Pakistan Veterinary Journal*, 39(4), 593-597.
- Cruickshank, K. (2021). *Effect of dietary source of selenium on absorption, retention, performance, selenium status, and immune function in lactating dairy cattle*. Doctoral dissertation, University of Guelph, 169 s.
- Domosławska A., Zduńczyk S., Janowski T. (2019). Improvement of sperm motility within one month under selenium and vitamin E supplementation in four infertile dogs with low selenium status. *Journal of Veterinary Research*, 63, 293-297.
- Flueck WT., Smith-Flueck JM., Mionczynski J., Mincher, BJ. (2012). The implications of selenium deficiency for wild herbivore conservation: a review. *European Journal of Wildlife Research*, 58, 761-780.
- Ghany-Hefnawy AE., Tórtora-Pérez JL. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 185-192.
- Hosnedlova B., Kepinska M., Skalickova, S., Fernandez C., Ruttkay-Nedecky B., Malevu TD., Sochor J., Baron M., Melcova M., Zidkova J., Kizek R. (2017). A summary of new findings on the biological effects of selenium in selected animal species—a critical review. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2209.
- Hossain A., Skalicky M., Brestic M., Maitra S., Sarkar S., Ahmad Z., Vemuri H., Garai S., Mondal M., Bhatt R., Kumar P., Banerjee P., Saha S., Islam T., Laing, AM. (2021). Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules*, 26(4), 881.
- Hoque MN., Das ZC., Rahman ANMA., Hoque MM. (2016). Effect of administration of vitamin E, selenium and antimicrobial therapy on incidence of mastitis, productive and reproductive performances in dairy cows. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 4(2), 63-70.

Huang Q., Wang S., Yang X., Han X., Liu Y., Khan NA., Tan Z. (2023). Effects of organic and inorganic selenium on selenium bioavailability, growth performance, antioxidant status and meat quality of a local beef cattle in China. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1171751.

Jamali NU., Kaka A., Khatri P., Malhi M., Muhammad Naeem M., Memon AA., Kaleri RR., Janyaro H., Kalhoro DH. (2019). Effect of in vitro selenium addition to the semen extender on the spermatozoa characteristics before and after freezing in Kundhi buffalo bull and in vivo fertility rate. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(1), 317-323.

Li Z., Liang D., Peng Q., Cui Z., Huang J., Lin Z. (2017). Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review. *Geoderma*, 295, 69-79.

Lyons G., Ortiz-Monasterio I., Stangoulis J., Graham R. (2005). Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and soil*, 269, 369-380.

Mainville AM., Odongo NE., Bettger WJ., McBride BW., Osborne VR. (2009). Selenium uptake by ruminal microorganisms from organic and inorganic sources in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 89(1), 105-110.

Mehdi Y., Dufrasne I. (2016). Selenium in cattle: a review. *Molecules*, 21(4), 545.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle. Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press.

Qazi IH., Angel C., Yang H., Zoidis E., Pan B., Wu, Z., Ming Z., Zeng CJ., Meng Q., Han H., Zhou, G. (2019). Role of selenium and selenoproteins in male reproductive function: a review of past and present evidences. *Antioxidants*, 8(8), 268.

Peters KM., Galinn SE., Tsuji PA. (2016). Selenium: Dietary sources, human nutritional requirements and intake across populations. *Selenium: its molecular biology and role in human health*, 295-305.

Raisbeck MF. (2020). Selenosis in ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(3), 775-789.

Rose M., Pearson S., Cratchley, T. (2012). Effect of iodine, selenium and cobalt rumen boluses given to dry dairy cows on the immunoglobulin and thyroid hormone status of calves. *Animal Science Journal*, 83(7), 543-548.

Suttle NF. (2022). *Mineral nutrition of livestock*. 5th Edition, GB: Cabi, Oxfordshire.

Tóth RJ., Csapó J. (2018). The role of selenium in nutrition-a review. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 11, 128-144.

Trippe III RC., Pilon-Smits EAH. (2021). Selenium transport and metabolism in plants: Phytoremediation and biofortification implications. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124178.

IX. Seznam publikací, které předcházely metodice

Praus L., Ducháček J., Mrština T., Kaplan L., Legarová V., Kejdová Rysová L., Sekaninová J., Janků M., Tlustoš P., Száková J., Stádník L. (2025). From biofortified maize to cow milk enriched in selenium: An on-farm strategy using selenium-enriched silage. *Czech Journal of Animal Science*, 70(10), 415-427.

Ducháček J., Száková J., Cihlářová K., Praus L., Gašparík M., Kaplan L., Stádník L., Coudl R., Tlustoš P., Pálová Š. (2025). Může přidavek selenu do diety dojnic holštýnského skotu ovlivnit parametry mléčné užitkovosti? *Náš chov*, 4, 20-23.

Kaplan L., Mrština T., Praus L., Száková J., Tlustoš P., Hlaváček F., Stádník L., Ducháček J. (2024). Aplikace selenu při pěstování sóji pro výrobu selenem obohaceného šrotu, Certifikovaná metodika MZe.

Gašparík M., Stádník L., Ducháček J., Száková J. (2024). Selenizované mléko – Se krmiva do krávy a Se krávy do mléka. *Náš chov*, 4, 44-46.

Mrština T., Praus L., Száková J., Kaplan L., Tlustoš P. (2023). Význam foliární aplikace selenu na ozimou pšenici. *Úroda*, 8, 21-24.

Mrština T., Praus L., Kaplan L., Száková J., Tlustoš P. (2022). Efficiency of selenium biofortification of spring wheat: the role of soil properties and organic matter amendment. *Plant Soil Environment*, 68(12), 572-579.

Mrština T., Praus L., Kaplan L., Száková J., Tlustoš P. 2022. Vliv aplikace nanoselenu na výnos a obsah celkového selenu v rostlinách špenátu setého. *Racionální použití hnojiv ČZU v Praze*, 11, 143-146.

Kaplan L., Tlustoš P., Praus L., Mrština T., Míchal P. (2021). Pěstování léčivých, aromatických a kořeninových rostlin v pěstebním médiu založeném na bázi odpadních materiálů z bioplynových stanic. PowerPrint s.r.o. Praha. 26 s. ISBN: 978-80-213-3086-3.

Praus L., Száková J. (2019). Role of sulphate in affecting soil availability of exogenous selenate (SeO_4^{2-}) under different statuses of soil microbial activity. *Plant, Soil and Environment*. 65(9), 470-476.

Praus L., Száková J., Steiner O., Goessler W. (2019). Rapeseed (*Brassica napus* L.) biofortification with selenium: How do sulphate and phosphate influence the efficiency of selenate application into soil? *Archives of Agronomy and Soil Science*. 65(14), 2059-2072.

X. Seznam zkratek

Se – selen

GMO – geneticky modifikované organismy

Se^{-II} – selenid

Se^{IV} – seleničitan

Se^{VI} – selenan

*Se*⁰ – elementární selen

SeH – anorganický selenid

As, Cu, Ni, Co, Cr, Mn, Zn, Cd, Sn, Pb, Hg, Mo, I – chemické prvky (astat, měď, nikl, kobalt, chrom, mangan, zinek, kadmium, cín, olovo, rtuť, molybden, jód)

DNA – deoxyribonukleová kyselina

ALH – amplituda bočního posunu hlavičky

TMR – směsná krmná dávka

Na₂SeO₄ – selenan sodný

BBCH – mezinárodně používaná stupnice vývojových a růstových stádií rostlin

DIM – dny v mléce (dny laktace)

FAPPZ, ČZU v Praze – Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdroj, Česká zemědělská univerzita v Praze

USA – spojené státy americké

n – počet sledovaných zvířat

$\bar{x}$ – aritmetický průměr

s – směrodatná odchylka

min. – minimální hodnota

max. – maximální hodnota

s.e. – střední chyba aritmetického průměru

V (%) – koeficient variance

PSB – počet somatických buněk

TPS – tukuprostá sušina

VMK – volné mastné kyseliny.

SeM – selen v mléce

SeK – selen v krvi

SeV – selen ve výkalech

Název:

Úprava krmné dávky dojeného skotu formou selenizované siláže pro dosažení produkce mléka se zvýšeným obsahem selenu jako funkční potraviny

Podíl autorů na tvorbě metodiky:

30 % Ing. Jaromír Ducháček, Ph.D.
20 % Ing. Lukáš Praus, Ph.D.
10 % Ing. Kateřina Cihlářová
10 % Ing. Matúš Gašparík, Ph.D.
5 % prof. Ing. Jiřina Száková, CSc.
5 % prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c.
5 % Ing. Radim Cobl, Ph.D.
5 % Ing. Lukáš Kaplan, Ph.D.
5 % prof. Ing. Luděk Stádník, Ph.D.
5 % Ing. Nikola Marešová

Vydavatel:

Česká zemědělská univerzita v Praze

Vydal:

Katedra chovu hospodářských zvířat, FAPPZ ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchbát

Místo vydání:

Praha

Forma vydání:

Metodika je vydávána pouze elektronicky

Zveřejněno na webovém stránce:

<https://katedry.czu.cz/ksz/vedecke-publikace-skot>

Podíl firem na tvorbě metodiky:

100 % Česká zemědělská univerzita v Praze

Podíl projektů na tvorbě metodiky:

100 % QK22010037 - Implementace agronomických selenizačních postupů při výrobě mléka a mléčných výrobků jako funkčních potravin

Pořadí vydání: 1.**Rok vydání: 2025****ISBN 978-80-213-3531-8**