

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Monitoring obsahu jodu v kravském mléce

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Michaela Lukáčová

Obor studia: Výživa a potraviny

Vedoucí práce: Ing. Veronika Legarová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Lucie Kejdová Rysová, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Monitoring obsahu jodu v kravském mléce" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.04.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí práce Ing. Veronice Legarové, Ph.D. za poskytnutí odborných rad a věnovaný čas při vypracování této diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala své konzultantce Ing. Lucii Kejtové Rysové, Ph.D. za věnovaný čas, její odborné vedení, rady a připomínky při vypracování této diplomové práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Soně Hermanové za její odborné rady a věnovaný čas při zpracování praktické části této diplomové práce, stejně tak bych ráda poděkovala farmářům za poskytnuté vzorky pro tuto diplomovou práci. Ráda bych poděkovala také Ing. Zuzaně Pacákové, Ph.D. za její odborné rady a pomoc při statistickém zpracování dat praktické části této práce.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mi při zpracování této diplomové práce projevovali pochopení, trpělivost a podporu.

Monitoring obsahu jodu v kravském mléce

Souhrn

Mléko hraje významnou roli v lidské výživě po celém světě. V celosvětové produkci mléka převládá produkce kravského mléka, která se v průběhu desítek let zvýšila o desítky procent, aby bylo možné uspokojit rostoucí poptávku. Mléko je nutričně bohatá potravina dodávající energii, vysoce kvalitní bílkoviny a řadu minerálních látek, jako jsou například vápník, zinek, hořčík a jod. Minerální látky v mléce hrají důležitou roli v lidském zdraví a vývoji, zejména u dětí.

Cílem práce byl monitoring obsahu jodu v kravském mléce pocházející z několika farem v České republice. Obsah jodu byl stanovován pomocí metody založené na Sandell-Kolthoffově reakci. Souběžně se stanovováním obsahu jodu v mléce byly vzorky mléka analyzovány pomocí přístroje MilkoScan FT120, kde byly sledovány hlavní složky jako je tuk, bílkoviny, kasein, laktóza, tukuprostá sušina a celková sušina.

Do experimentu bylo celkově zařazeno 140 vzorků kravského mléka z 5 farem hospodařících konvenčně i ekologicky. Dvě z těchto farem provozovaly mlékomat, ze kterého rovněž byly odebírány vzorky. Vzorky mléka byly odebírány v období od srpna 2022 do ledna 2023 na farmách v Ústeckém, Středočeském, Plzeňském, Pardubickém kraji a v kraji Vysočina.

Touto diplomovou prací bylo zjištěno, že obsah jodu v mléce byl na vybraných farmách ovlivněn několika faktory. Výsledky analýzy jedné z farem poukazují na rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka pocházejícím z jejího mlékomatu, které bylo podrobeno šetrné pasteraci. Konkrétně mléko po šetrné pasteraci vykazovalo vyšší obsah jodu než syrové mléko. Poskytnutí minerálních lizů, jakožto dalšího z faktorů ovlivňující obsah jodu v mléce, poukazovalo na zvýšený obsah jodu v mléce při poskytnutí minerálních lizů dojnícím naproti obsahu jodu v mléce od dojníc bez poskytnutí minerálních lizů. Obsah jodu v mléce může být taktéž ovlivněn použitím dezinfekčních prostředků s obsahem jodu. Při porovnání všech farem, bez ohledu na typ chovu, byl zjištěn vyšší obsah jodu v mléce po použití jodových dezinfekčních prostředků. V neposlední řadě byl sledován vliv způsobu hospodaření na obsah jodu v mléce. Byl zjištěn rozdílný obsah jodu v mléce při porovnání ekologického chovu a konvenčních chovů, kdy mléko z ekologického chovu vykazovalo vyšší obsah jodu než mléko z konvenčních chovů.

U jodu, jakožto velmi důležitého prvku nejen v metabolismu lidí ale i v metabolismu dojníc, je nutné neopomenout jeho suplementaci do krmné dávky dojníc, aby se předešlo onemocněním z jeho nedostatku. Avšak i z nadbytečné expozice u dojníc plyne řada onemocnění. Z poznatků víme, že využívání jodových dezinfekcí při dojení zvyšuje obsah jodu v mléce, proto by měly být nejen farmy používající jodovou dezinfekci obezřetnější a obsah jodu průběžně monitorovat.

Klíčová slova: jod, kravské mléko, stopový prvek, výživa člověka

Monitoring of iodine content in cow's milk

Summary

Milk plays a major role in human nutrition around the world. Global milk production is dominated by cow's milk production, which has increased by tens of percent over the decades to meet the growing demand. Milk is a nutritionally rich food providing energy, high quality protein and a number of minerals such as calcium, zinc, magnesium and iodine. Minerals in milk play an important role in human health and development, especially in children's age.

The aim of the work was to monitor the iodine content in cow's milk from several farms in the Czech Republic. The iodine content was determined using a method based on the Sandell-Kolthoff reaction. In parallel to the determination of milk iodine content, milk samples were analysed using the MilkoScan FT120 machine, where the main components such as fat, proteins, casein, lactose, fat-free dry matter and total dry matter were monitored. The experiment included 140 samples of cow's milk from 5 conventional farms and 1 organic farm. Two of these farms operated a milking machine that was also sampled. Milk samples were collected between August 2022 and January 2023 at farms in the Ústecký, Středočeský, Plzeňský, Pardubický and Vysočina regions.

In this thesis, it was established that the content in milk was influenced by several factors on selected farms. The results of the analysis of one of the farms point to the difference between milk samples from the tank and the milk samples coming from its milking machine, which has been subjected to gentle pasteurization. Specifically, milk after pasteurization has a higher content than raw milk. The provision of mineral licks, as another factor influencing the iodine content of milk, pointed to an increased iodine content in milk when providing mineral licks to dairy cows to the iodine content in milk from dairy cows without providing mineral licks. The iodine content in milk can also be affected by the use of disinfectants containing iodine. When comparing all farms, regardless of the type of farming, a higher content in milk was found after the use of iodine disinfectants. Last but not least, the effect of the farming method on the iodine content of the milk was monitored. Different levels of iodine in milk were found when comparing organic farming and conventional farming, where organic milk was higher in iodine than milk from conventional farming.

For iodine, as a very important element not only in the metabolism of humans but also in the metabolism of dairy cows, it is necessary not to forget its supplementation in the ration of dairy cows in order to prevent diseases caused by its deficiency. However, a number of diseases also result from excess exposure in dairy cows. We know that the use of iodine disinfectants during milking increases the iodine content in milk, therefore not only farms using iodine disinfection should be more careful and continuously monitor the iodine content.

Keywords: iodine, cow's milk, trace element, human nutrition

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Chov dojeného skotu v České republice	10
3.2 Složení kravského mléka	10
3.2.1 Bílkoviny	11
3.2.2 Lipidy	12
3.2.3 Sacharidy	14
3.2.4 Vitaminy	14
3.2.5 Minerální látky	15
3.3 Význam jodu	16
3.3.1 Jod jako chemický prvek	16
3.3.2 Metabolismus jodu v lidském těle	16
3.4 Význam jodu ve vztahu ke zdraví	20
3.4.1 Projevy nedostatku a nadbytku jodu	20
3.4.2 Zdroje jodu pro člověka	23
3.5 Jod ve výživě dojnic	24
3.5.1 Potřeby jodu pro dojnice	24
3.5.2 Zdroje jodu ve výživě dojnic	26
3.6 Obsah jodu ve vztahu ke kvalitě mléka	26
3.7 Faktory ovlivňující obsah jodu v mléce	27
3.7.1 Výživa	27
3.7.2 Způsob hospodaření	29
3.7.3 Dezinfekční prostředky	31
3.7.4 Obsah jodu v mléčných automatech	32
3.7.5 Další faktory	33
4 Metodika	36
4.1 Odběr vzorků	36
4.2 Stanovení jodu v mléce	36
4.2.1 Chemikálie	37
4.2.2 Použité přístroje	37
4.2.3 Použité laboratorní pomůcky	38
4.2.4 Příprava vzorků	38
4.2.5 Postup stanovení	38
4.2.6 Vyhodnocení	39

5	Výsledky	42
5.1	Složení mléka	42
5.2	Obsah jodu v mléce	43
5.3	Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami a ekologickou farmou.....	44
5.4	Vliv přidání minerálních lizů ke KD na obsah jodu v mléce.....	44
5.5	Rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu.....	45
5.6	Rozdíl v obsahu jodu v závislosti na použité dezinfekci.....	46
5.7	Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami	46
6	Diskuze	47
6.1	Složení mléka	47
6.2	Obsah jodu v mléce	47
6.3	Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami a ekologickou farmou.....	47
6.4	Vliv přidání minerálních lizů ke KD na obsah jodu v mléce.....	48
6.5	Rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu.....	48
6.6	Rozdíl v obsahu jodu v závislosti na použité dezinfekci.....	48
7	Závěr	50
8	Literatura.....	51
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	58

1 Úvod

Mléko a mléčné výrobky jsou potraviny bohaté na živiny, jako jsou kaseiny, syrovátkové bílkoviny, mastné kyseliny, laktóza, aj. (Zhang et al. 2021). Mléko a mléčné výrobky hrají klíčovou roli v lidském zdraví a vývoji člověka po celý život, zejména potom v dětském věku. V raném věku má konzumace mléka pozitivní vliv na vývoj, sílu a hustotu kostí. Zatímco ve stáří je důležitá v prevenci úbytku kostní hmoty a osteoporotických zlomenin (Górska-Warsewicz et al. 2019). Je známo, že mléko a mléčné výrobky jsou významným zdrojem vápníku, ale je nutné neopomenout i další minerální látky jako jsou zinek, měď, železo, selen, jod aj. (Haug et al. 2007). I když jsou minerální látky obvykle přijímány ve stopových množstvích jsou kritickou složkou potravy a zdravé výživy (Cimmino et al. 2023).

Jod je nezbytným stopovým prvkem pro člověka, a to díky jeho začlenění do hormonů štítné žlázy, které ovlivňují mnoho biologických procesů v lidském těle. Jeho nedostatek a nadbytek může mít negativní vliv na lidské zdraví (Mikláš et al. 2021). Mezi onemocnění z nedostatku jodu v organismu lze zařadit hypotyreózu, strumu či mentální retardaci, naproti tomu nadbytek jodu v organismu se může projevit jako hypertyreóza či uzly na štítné žláze (Ahad & Ganie 2010). Nejvíce rizikovými skupinami ohroženými nedostatkem jodu jsou těhotné ženy, kojící ženy a děti (Konečný et al. 2019). Nedostatečný příjem jodu může způsobit nedostatek hormonů štítné žlázy s následnými projevy včetně kretenismu, poškození mozku, mentální retardace a strumy (Mikláš et al. 2021).

Koncentrace minerálních látek v mléce je ovlivněna řadou faktorů, které se mohou dělit na genetické a enviromentální. Jako genetický faktor lze považovat plemeno dojnice a mezi enviromentální faktory se řadí například dieta dojnic, dojící praktiky či další zpracování mléka (Cimmino et al. 2023).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy: Výběr dezinfekčního přípravku ovlivňuje obsah jodu v mléce. Obsah jodu v mléce je ovlivněn způsobem hospodaření.

Cílem diplomové práce je monitoring obsahu jodu v kravském mléce, jakožto stopového prvku, který hraje významnou úlohu v lidském organismu. Obsah jodu bude stanoven jednak v bazénových vzorcích mléka, a také ve vzorcích mléka pocházející z mléčných automatů v ČR. Vyhodnocen bude vliv vnějších i vnitřních činitelů na obsah jodu ve vzorcích mléka, a to zvláště vliv dezinfekčního přípravku a způsob hospodaření.

3 Literární rešerše

3.1 Chov dojeného skotu v České republice

Existuje mnoho plemen skotu, která se využívají pro produkci mléka, jsou jimi ayrshire, brown-swiss, holštýnsko-fríský, jerseyký skot aj. (McGuffey & Shirley 2011). V České republice jsou nejvýznamnějšími plemeny s produkcí mléka holštýnsko-fríské plemeno, které je zastoupeno nejpočetněji a český strakatý skot, ostatní chovaná plemena dojnic jsou zastoupena minoritně (Motyčka et al. 2009).

K dubnu roku 2022 se na území České republiky chovalo celkem 1 421 tisíc kusů hovzího dobytka z toho 358 tisíc kusů dojných krav. I přestože v posledních letech bylo možné pozorovat v počtu dojnic klesající trend, mezi roky 2020 a 2021 došlo k mírnému nárůstu z 358 tisíc na 361 tisíc kusů dojnic. Vzrostla také průměrná roční dojivost z 8 893 l/dojnice na 8 916 l/dojnice (Syrůček et al. 2022). V roce 2020 v ekologickém zemědělství hospodařilo 2 907 ekologických farem s chovem skotu, z nichž pouhých 155 farem se zaměřovalo na produkci mléka. Celkový počet chovaných dojnic v tomto režimu byl 7 292 kusů. Tyto farmy vyprodukovaly 32 tisíc litrů čerstvého mléka v roce 2020, což značí pokles o 4,3 % oproti roku 2019, kdy bylo vyprodukováno 34 tisíc litrů čerstvého mléka (Hrabalová 2022).

Spotřeba mléka a mléčných výrobků v České republice pozvolna roste. V roce 2021 byla celková spotřeba mléka a mléčných výrobků na osobu 263 kg/rok, z čehož konzumní kravské mléko tvořilo 58,4 kg, tedy zhruba 22,2 % (Syrůček et al. 2022). Krom konzumního mléka, které bylo tepelně ošetřené a je dostupné na pultech supermarketů, lze v České republice také zakoupit mléko syrové (Váňa & Sedláčková 2020), tudíž bez tepelného ošetření nepřevyšující teplotu 40 °C (Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 853/2004). Surové mléko může chovatel prodávat za specifických podmínek tzv. „ze dvora“, anebo může využít mléčné automaty. Aby farmář mohl prodávat syrové mléko „ze dvora“, musí získat souhlas od Krajské veterinární správy. Na farmě, kde se kravské mléko prodává, musí být také umístěno upozornění: „Surové mléko, před použitím tepelně zpracovat nebo pasterovat“ (Váňa & Sedláčková 2020).

V říjnu 2022 nákupní cena syrového mléka třídy Q vzrostla na 12,17 Kč/l, což je nárůst o 3,13 Kč/l oproti roku 2021 (SZIF 2022). Také stupeň soběstačnosti se zvýšil, kdy v roce 2020 byla Česká republika soběstačná z 133,3 % a v roce 2021 už z 134,7 %, došlo tedy ke zvýšení o 1,4 % (Syrůček et al. 2022).

3.2 Složení kravského mléka

Mléko je komplexní tekutina, kterou vylučují samice všech druhů savců, hlavně pro výživu svých mláďat (Fox 2011a). Je tedy prvotní potravou pro mláďata, kterým dodává energii a živiny potřebné k zajištění správného růstu a vývoje (Pereira 2014). Mléko se skládá z bílkovin, tuků, sacharidů, enzymů, minerálních látek a vitaminů. Složení mléka ovlivňuje řada vnějších a vnitřních faktorů jako jsou plemeno, výživa, stádium laktace, frekvence dojení,

podmínky prostředí či výskyt onemocnění (Manners & Craven 2003). Průměrné složení kravského mléka je následující: 87,3 % vody; 4,8 % laktózy; 3,7 % tuku; 3,4 % bílkoviny a 0,7 % popelovin (Fox 2011a).

3.2.1 Bílkoviny

Celkové bílkoviny kravského mléka se skládají z 95–97 % z čistých bílkovin (kaseiny a syrovátkové bílkoviny) a z 3–5 % z nebílkovinných dusíkatých látek. Mezi nebílkovinné dusíkaté látky řadíme močovinu, volné aminokyseliny, kreatin, kyselinu močovou aj. (Ruska & Jonkus 2014). Čisté bílkoviny lze pak rozdělit na nerozpustné a rozpustné. Nerozpustné bílkoviny jsou označovány jako kaseiny a rozpustné bílkoviny jsou označovány jako syrovátkové bílkoviny. Kaseiny jsou v mléce obsaženy přibližně z 80 %, zatímco syrovátkové bílkoviny představují 20 % (Pereira 2014). Bílkoviny kravského mléka jsou označovány jako vysoce kvalitní s ohledem na lidské požadavky na aminokyseliny, biologickou dostupnost a stravitelnost. Kravské mléko obsahuje všech 9 esenciálních aminokyselin, konkrétně valin, leucin, izoleucin, tryptofan, treonin, fenylalanin, metionin, lysin a histidin. Z pohledu proteinové stravitelnosti k aminokyselinovému spektru (protein-digestibility corrected amino acid score) je považováno mléko za nejlepší zdroj bílkovin. U mléka je hodnota tohoto skóre 1, což je na této škále nejvyšší možné hodnocení (Hess & Slavin 2016).

Konzumní mléko dle nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 1308/2013 musí obsahovat minimálně 2,9 % bílkovin u mléka s obsahem tuku 3,5 %.

Kaseiny

Kasein se v mléce nachází v takzvaných kaseinových micelách nikoliv v roztoku. Kaseinová micela je kulovitá částice o velikosti 40 až 300 nm, která se skládá z komplexu submicel tvořených třemi základními skupinami kaseinů, konkrétně α -kaseinu, β -kaseinu a κ -kaseinu. Jednu kaseinovou micelu může tvořit až 500 submicel o průměrné velikosti 12 až 15 nm (Walstra et al. 2006). Integrita mezi submicelami je pak zajišťována kalcium-fosfátovými můstky (Sadiq et al. 2021).

Kaseiny mléka α_{s1} -, α_{s2} -, β - a κ - nalezneme v následujícím poměru 4:10:40:10. κ -kasein, který je přítomný na povrchu micely, zajišťuje odpudivou sílu mezi jednotlivými micelami (O'Kennedy 2011) a na rozdíl od ostatních struktur kaseinů se nesráží v přítomnosti vápenatých iontů, tudíž ostatní struktury chrání před srážením. Avšak pokud je κ -kasein hydrolyzován syřidlem, ztrácí svou ochrannou funkci (Walstra et al. 2006), jelikož dochází ke specifickému štěpení peptidové vazby mezi 105 (fenylalanin) a 106 (methionin) aminokyselinou, za vzniku hydrofobního para- κ -kaseinu a hydrofilního kaseinomakropeptidu (Krishna et al. 2021). Toto štěpení je prvním krokem při výrobě většiny sýrů vznikající sladkým srážením (Walstra et al. 2006).

Syrovátkové bílkoviny

Syrovátkové bílkoviny jsou bílkoviny, které zůstávají v mléčném séru po vysrážení kaseinů. Vyznačují se dobře uspořádanou globulární strukturou, nesrážejí se v izoelektrickém bodě a lze o nich říct, že jsou tepelně labilnější než kaseiny (Otter 2003). Do této kategorie

řadíme β -laktoglobulin, α -laktalbumin, sérový albumin, imunoglobuliny a proteázový pepton (Séverin & Wenshui 2005).

Kvantitativně je nejvíce ze syrovátkových bílkovin zastoupen v kravském mléce β -laktoglobulin (58 %), který zaujímá důležitou roli v přenosu pasivní imunity z matky na mládě, a také v regulaci metabolismu fosforu v mléčné žláze. V mléce je α -laktalbumin zastoupen přibližně z 20 % z celkových syrovátkových bílkovin a je syntetizován plně v mléčné žláze, kde působí jako koenzym pro biosyntézu laktózy. Sérový albumin, stejně jako imunoglobuliny, není syntetizován v mléčné žláze, ale je přenášen z krve do mléka. Imunoglobuliny se nacházejí ve velkém míře v kolostru, na rozdíl od zralého mléka, kde se nacházejí v minimálním množství (Madureira et al. 2007).

Nebílkovinné dusíkaté látky

Nebílkovinné dusíkaté látky do kravského mléka přecházejí z krve po metabolismu bílkovin. Největší a také nejstabilnější složkou je močovina s obsahem 50 %. Zbylých 50 % nebílkovinných dusíkatých látek v mléce tvoří volné aminokyseliny, kreatin, kyselina močová, peptidy, organické kyseliny a fosfolipidy (Ruska & Jonkus 2014).

3.2.2 Lipidy

Tukové frakce v mléce jsou přítomny převážně ve formě mléčných tukových globulí (Pereira 2014). Velikost těchto globulí může být od 0,1 μm do 15 μm . Jádro těchto tukových globulí je z 98 % tvořeno triacylglyceroly. Na povrchu tukové globule se pak nachází stabilizační třívrstvá membrána (Spitsberg 2005), která je zpravidla silná od 10 do 50 nm a je složená z fosfolipidů, sterolů, esterů sterolů, sfingolipidů, proteinů a glykoproteinů. Díky tomuto složení je mléčný tuk označován jako nejkomplexnější ze všech přírodních tuků (Pereira 2014). Zbylá 2 % celkového mléčného tuku jsou tvořena diacylglyceroly, monoacylglyceroly, fosfolipidy, cholesterolem, glykolipidy a volnými mastnými kyselinami (Djordjevic et al. 2019). Velikost tukových globulí lze rozdělit do tří kategorií. První kategorii představují globule nejmenší s velikostí do 1 μm , které jsou v mléčném tuku obsaženy do 5 %. Druhou kategorii představují pak globule o velikosti 1–8 μm . Ty jsou zastoupeny z 94 %. Zbylé množství mléčného tuku je tvořeno z globulí o velikosti větším než 8 μm (Tai et al. 2022).

Nejvíce zastoupená část mléčného tuku, triacylglyceroly, je syntetizována v sekrečních buňkách mléčné žlázy z glycerolu a mastných kyselin. Přibližně 70 % tukové frakce představují nasycené mastné kyseliny (SFA, saturated fatty acids) a zbylých 30 % tvoří nenasycené mastné kyseliny (Pereira 2014). Z kvantitativního hlediska je nejdůležitější SFA palmitová kyselina, která tvoří 25–30 % z celkového množství mastných kyselin. Dále se v mléce nacházejí SFA s krátkým řetězcem (máselná a kapronová), středně dlouhým řetězcem (kaprinová, kaprylová, laurová) a s dlouhým řetězcem (myristová a stearová) (MacGibbon 2020).

Podíl mononenasycených mastných kyselin (MUFA) se v mléce pohybuje v množství 20–35 %. Z MUFA je nejvíce zastoupena olejová kyselina, která je typická pro mléko většiny savců. Dále se v mléce také nachází v menším množství palmitoolejová kyselina. S ohledem na lidské zdraví mají MUFA pozitivní vliv na koncentraci lipoproteinů o vysoké hustotě (HDL), jejíž

hladinu zvyšují. Zároveň snižují koncentraci lipoproteinů o nízké hustotě (LDL), které se usazují v cévách a transportují cholesterol z cévních stěn do jater (Markiewicz-Kęszycka et al. 2013).

Polynenasycené mastné kyseliny (PUFA) představují v mléce přibližně 2,3 % z celkových mastných kyselin (Pereira 2014). Z PUFA jsou hlavní zástupci v mléce linolová kyselina (omega-6) a α -linolenová (omega-3). Linolová kyselina je důležitá pro zdravou pokožku, nicméně, zvýšená konzumace této mastné kyseliny je spojována se zvýšeným rizikem obezity (Haug et al. 2007). α -linolenová kyselina má význam při snižování krevního tlaku, výskytu kardiovaskulárních onemocnění a také při snižování triglyceridů v krvi (Cloutier 2016). Dalšími omega-3 mastnými kyselinami obsaženými v mléce jsou eikosapentaenová, dokosapentaenová a dokosahexaenová kyselina. Tyto PUFA prokazatelně snižují riziko ischemické choroby srdeční, působí protizánětlivě, antitromboticky a antiaterogenně (Haug et al. 2007).

Volné mastné kyseliny (VMK) se v mléce a mléčných výrobcích tvoří primárně rozkladem triacylglyceridů. VMK jsou v mléce zastoupeny ve velmi malém množství, a to z 0,027 % z celkových lipidů (Amores & Virto 2019). Monitorování obsahu VMK je důležité, jelikož ovlivňují kvalitu finálního produktu. VMK mohou také přispívat k funkčnosti mléka, protože negativně ovlivňují povrchové napětí a pěnivost mléka (Mannion et al. 2016). Z tohoto důvodu je obsah VMK v současné době používán jako indikátor kvality mléka. Zvýšený obsah VMK poukazuje na zhoršený zdravotní stav dojnice či rozklad tuku v důsledku mikrobiální kontaminace mléka (Hanuš et al. 2008). Nicméně, určitý obsah VMK v mléce je žádoucí, jelikož VMK jsou součástí strukové zátky, která hraje důležitou roli při ochraně mléčné žlázy po dojení (Hanuš et al. 2008).

Mléko také obsahuje trans-mastné kyseliny, z nichž lze zmínit vakcenovou kyselinu a konjugovanou kyselinu linolovou (CLA). Vakcenová kyselina se v mléce nachází v množství 2,7 % z celkového obsahu mastných kyselin a CLA je v mléce obsažena z 0,34–0,37 % z celkového obsahu mastných kyselin (Pereira 2014). Účinky vakcenové kyseliny na lidské zdraví jsou diskutabilní, ačkoliv existuje souvislost příjmu vakcenové kyseliny s rizikem rakoviny, několik studií ukazují prospěšný účinek ve snižování růstu nádoru (Field et al. 2009). U CLA byly taktéž pozorovány pozitivní účinky na lidské zdraví. Příkladem lze uvést antikarcinogenní účinky či inhibici aterosklerózy (MacGibbon 2020). Tyto příznivé účinky jsou připisované především dvěma izomerům CLA, a to cis-9, trans-11 a trans-10, cis-12. Nejvíce zastoupený izomer v kravském mléce je cis-9, trans-11 tvořící 76,5–83,5 % CLA v mléčném tuku (Kee et al. 2010).

Krom mastných kyselin se v posledních letech také často diskutuje vliv konzumace mléka na hladinu cholesterolu. Nedávná studie potvrdila souvislost mezi vyšším příjmem mléka a nižším obsahem celkového cholesterolu a LDL cholesterolu. Jako vysvětlení pro nižší hladinu cholesterolu uvádí, že vápník a laktóza v mléce ovlivňují metabolismus lipidů. Laktóza může ovlivnit hladinu lipidů v krvi zvýšením absorpce vápníku. Také je možné, že příjem vápníku ve stravě může zvýšit vylučování žlučových kyselin, což vede k jejich regeneraci z jaterního cholesterolu, a to může vést ke snižování koncentrace cholesterolu (Vimaleswaran et al. 2021).

Dle nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 1308/2013 se konzumní mléko dělí podle obsahu tuku na plnotučné, polotučné a odstředěné mléko. Plnotučné mléko musí obsahovat minimálně 3,5 % tuku, polotučné mléko musí obsahovat tuk v rozmezí 1,5–1,8 % a u odstředěného mléka nesmí obsah tuku přesáhnout 0,5 %.

3.2.3 Sacharidy

Kravné mléko obsahuje kolem 5 % sacharidů. Téměř veškeré sacharidy jsou v mléce přítomny jako laktóza. Laktóza je disacharid složený z monosacharidů, a to z glukózy a galaktózy (Ann Bock & Flores 2011), který je syntetizován sekrečními buňkami mléčné žlázy. V mléce se nachází ve dvou izomerních formách jako α -laktóza a β -laktóza, které se liší svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi, a to rozpustností, pH a krystalizací (Dominici et al. 2022). Laktóza v mléce má dvě hlavní funkce, udržuje osmotický tlak a je využívána jako zdroj energie (Fox 2011b).

Dále mléko obsahuje menší množství monosacharidů a oligosacharidů. Oligosacharidy jsou biogenní molekuly, které se skládají z 3 až 10 molekul monosacharidů spojených glykosidickou vazbou. Jako jeden z pozitivních účinků oligosacharidů ve výživě lidí, konkrétně sialové kyseliny, lze označit podílení se na optimálním vývoji mozku dětí. Některé oligosacharidy, které jsou obsaženy v mléce mají antimikrobiální účinky (např. fukosyllaktózy), a také mají pozitivní vliv na dozrávání imunitního systému. Tato oblast je ale stále předmětem výzkumu (Musilová 2019).

3.2.4 Vitaminy

Mléko obsahuje vitaminy rozpustné v tucích, jako jsou vitaminy A, D, E a K, a také vitaminy rozpustné ve vodě, jako vitaminy skupiny B (B_1 , B_2 , niacin, biotin, kyselina pantothenová, kyselina listová a B_{12}) a vitamin C, tedy kyselina askorbová (Otter 2003). Z vitaminů rozpustných v tucích lze zmínit vitamin A a vitamin D. Vitamin A nazývaný také jako retinol, se v mléce nachází v množství 56 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (Buttriss 2003). Příjem dostatečného množství vitaminu A je důležité pro vývoj a diferenciaci tělních buněk. Kromě toho je vitamin A nepostradatelný v procesu vidění, kde tvoří součást sítnice oka. Odborníci se také shodují na tom, že mléko a mléčné produkty obohacené o vitamin A mohou pozitivně ovlivnit imunitní systém člověka (Woźniak et al. 2022). Druhý ze zmíněných vitaminů je vitamin D, nacházející se v mléce v množství 0,03 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (Buttriss 2003). Vitamin D je souhrnný název pro vitamin D_3 (cholecalciferol) a vitamin D_2 (ergocalciferol). Tyto aktivní formy vitaminu D se v lidském organismu podílejí na udržování optimální koncentrace fosforu a vápníku v krvi. Taktéž hrají důležitou roli při prevenci rakoviny tlustého střeva a při podpoře zdraví kostí a zubů (Bulgari et al. 2013).

Z vitaminů rozpustných ve vodě lze zmínit vitamin B_9 a vitamin B_{12} . Vitamin B_9 , známý jako kyselina listová, se v mléce nachází v množství 6 $\text{mg}/100\text{ g}$ (Buttriss 2003). V lidském těle funguje kyselina listová jako koenzym při syntéze RNA a DNA, kde zajišťuje přenos jednotlivých uhlíkatých skupin v metabolismu aminokyselin. Kyselina listová je také nezbytná pro zdravý

růst a reprodukci. Velice důležitý je dostatečný příjem v těhotenství, kdy nedostatek kyseliny listové může způsobit předčasný porod nebo vývojové defekty nervové trubice plodu (Paksoy et al. 2018). Na rozdíl od jiných vitaminů skupiny B není vitamin B₁₂ syntetizován houbami ani rostlinami. V lidské stravě jsou proto jediným přirozeným zdrojem vitaminu B₁₂ živočišné produkty (Matte et al. 2012). V mléce se vitamin B₁₂ nachází v množství 0,4 µg/100 g (Buttriss 2003) a je důležitý pro normální růst a replikaci buněk, a také pro metabolismus některých aminokyselin (Minigh 2008).

3.2.5 Minerální látky

Mléko obsahuje téměř všechny minerální látky, které jsou pro zdraví člověka nezbytné (Buttriss 2003). Celkový obsah minerálních látek (popelovin) se v mléce pohybuje kolem 0,7–0,8 % (Otter 2003). Minerální látky se dají dělit podle mnoha kritérií, například s ohledem na původ, obsah, nutriční a biologický význam či dietetický účinek. Dle množství se minerální látky dělí do čtyř kategorií, a to na makroelementy (stovky až tisíce mg/kg), mikroelementy (desítky až stovky mg/kg), stopové prvky (desítky mg/kg a méně) a ultra stopové prvky (méně než 1 µg/kg). Mezi makroelementy obsažené v mléce můžeme zařadit sodík, vápník, hořčík, fosfor a draslík. Mezi mikroelementy řadíme železo či zinek a do stopových prvků obsažených v mléce řadíme měď, jod a selen (Velíšek 2014).

Z minerálních látek obsažených v mléce lze zmínit vápník, fosfor a jod. Vápník se v mléce nachází v množství 115 mg/100 g (Buttriss 2003). Dvě třetiny celkového vápníku se vyskytují v koloidní formě spojené s kaseinovými micelami, jako sůl fosforečnanu vápenatého nebo jako vápenaté ionty vázané na fosfoserinové zbytky. Zbývající množství je rozpustný vápník nacházející se mimo micely. Mléko a mléčné výrobky jsou považovány za významný zdroj vápníku pro člověka, a to především díky vysoké využitelnosti, která se u zdravého dospělého jedince pohybuje v rozmezí 21–45 %. Vápník je pro člověka velmi důležitý, nachází se v kostech a zubech, kde zajišťuje správnou strukturu a pevnost. Dále je zodpovědný za mnoho regulačních funkcí, jako je sekrece hormonů, srážení krve, aktivace enzymů či udržování normálního srdečního rytmu aj. (Cashman 2011). Fosfor je v mléce obsažen v množství 92 mg/100 g (Buttriss 2003). Z celkového fosforu obsaženého v mléce je přibližně 20 % přítomno jako organický fosfát vázaný na kasein, zbytek se v něm nachází jako anorganický fosfát. Z anorganického fosfátu je 44 % přítomno v kaseinu jako fosforečnan vápenatý, zbylých 56 % je v rozpustné formě, jako fosfátové ionty. Mléko a mléčné výrobky jsou dobrým zdrojem fosforu ve stravě. V lidském těle fosfor plní řadu důležitých funkcí, je základní složkou nesčetně biologických molekul jako jsou například tuky, sacharidy, bílkoviny a nukleové kyseliny. Také hraje hlavní roli v metabolismu a vyskytuje se v tělních tkáních a tekutinách. Obsah jodu v mléce je velice variabilní a je ovlivněn řadou faktorů, z několika studií je patrné, že jod se v mléce nachází v množství 100–700 µg/l. Jod se v mléce nachází převážně v anorganické formě, převážně jako jodid (Cashman 2011). Problematika týkající se jodu v mléce a mléčných výrobcích je diskutována v následujících kapitolách.

3.3 Význam jodu

3.3.1 Jod jako chemický prvek

Jod je nekovový prvek ze skupiny halogenů a jeho atomová hmotnost je 126,90447. Za standardních podmínek je jod modročerně zbarven, nachází se v pevné formě a má třpytivý krystalický vzhled. V otevřené nádobě jod sublimuje do tmavě fialových par, které dráždí oči hrdlo a nos. Jod je dobře rozpustný v rozpouštědlech, jako je chloroform, benzen či chlorid uhličitý, naopak ve vodě je jeho rozpustnost malá. Rozpustnost elementárního jodu ve vodě lze zvýšit přidáním jodidu draselného nebo sodného (Kaiho 2015). Jod tvoří mnoho organických a anorganických forem. Nejběžnější anorganické formy v podmínkách přirozeného prostředí jsou jodid, kyselina jodná, molekulární jod a jodičan. V přírodě se nacházejí stovky organických sloučenin. Například jodované organické molekuly nalezené v mořských řasách 3-jodpropan-1-ol či 2-jodacetamid (Espino-Vázquez et al. 2022).

Jod je velmi rozšířený stopový prvek v atmosféře, biosféře, litosféře a hydrosféře. Za hlavní zdroj jodu v přírodě se považuje oceán (Moreda-Piñeiro et al. 2011), kde se jod nachází v množství 45–60 ng/ml. Vysoká koncentrace jodu byla pozorována v mořských řasách, především v hnědých řasách, kde se koncentrace jodu pohybuje v rozmezí 100–6000 µg/g. Suchozemské rostliny mají v porovnání s těmi mořskými nižší obsah jodu, a to pod 1 µg/g. V mořské vodě se nachází jod hlavně ve formě jodičnanu, jodidu a organického jodu (Hou et al. 2009).

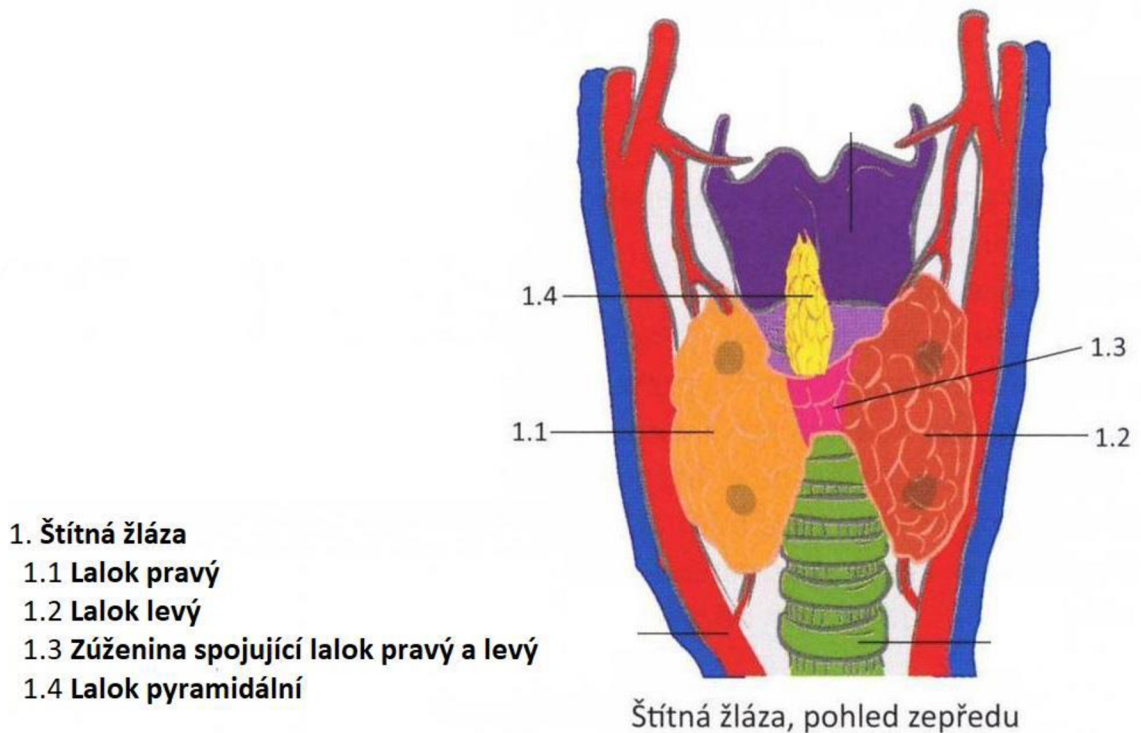
V atmosféře byla pozorována nejnižší koncentrace jodu, a to v množství 1–100 ng/m³. Vyskytuje se zde jako jod spojený s částicemi, anorganický plynný jod (kyselina jodná, elementární jod, jodovodík) a také organický plynný jod (jodoform, diiodmetan, aj.). Koncentrace jodu v atmosféře se mění v závislosti s různými parametry, patří mezi ně například lokalita, klima či roční období (Hou et al. 2009).

V kontinentálním prostředí je jod zachycován půdou, sedimenty a biotou. Dalším zdrojem jodu jsou eroze horninového podloží. Koncentrace jodu v půdě se pohybuje v rozmezí 0,5–40 µg/g, kdy běžná koncentrace je 1–3 µg/g (Hou et al. 2009). Obsah jodu v půdách je obecně vyšší než v horninách. Jod v půdách pochází z atmosféry, a nakonec z mořského prostředí. Právě vzdálenost od moře má silný vliv na obsah jodu v půdě. To znamená, že čím blíže je půda moři, tím větší je obsah jodu v půdě. Taktéž větší srážky v horských oblastech způsobují větší vymývání atmosférického jodu, což má za následek vyšší přísun jodu do půdy. Koncentrace a chování jodu v půdách silně závisí na složení půdy, a to z důvodu silné absorpce jodu různými složkami půdy (Fuge 2013).

3.3.2 Metabolismus jodu v lidském těle

V lidském organismu se jod nachází v množství 10–20 mg, přičemž 70 až 80 % se nachází ve štítné žláze (Zimmermann & Trumbo 2013). Štítná žláza je endokrinní žláza s vnitřní sekrecí, skládající se ze dvou laloků spojených úžinou, která je umístěna na obou stranách průdušnice těsně pod hrtanem, což lze pozorovat na **Obrázku 1** (Khurana & Khurana 2015). Hlavním

úkolem štítné žlázy je shromažďování jodu z krve, který je poté využíván k syntéze hormonů štítné žlázy, konkrétně trijodtyroninu (T_3) a tyroxinu (T_4) (Kittnar et al. 2011). T_3 ve své molekule obsahuje 3 atomy jodu, tudíž je aktivní podobou hormonů štítné žlázy, která se podílí největší měrou na jejich účinku. T_4 ve své molekule obsahuje 4 atomy jodu, jelikož se jedná o neaktivní formu, tak se pomocí enzymu dejodáza v cílových buňkách mění na aktivní formu T_3 (Potlouková 2013).



Obrázek 1 Štítná žláza (Zdroj: Cassan 2005, upraveno autorem)

Hormony štítné žlázy mají velké množství účinků na lidský organismus. U dětí působí hormony štítné žlázy synergicky s růstovým hormonem, a tím stimuluje růst kostí. Důležitý je u dětí taktéž vliv na CNS (centrální nervovou soustavu), kdy se v prenatálním období podílejí na dozrávání mozku. T_3 a T_4 také ovlivňují plodnost, ovulaci a menstruaci (Shahid et al. 2022). Dalším důležitým hormonem štítné žlázy je kalcitonin, což je hormon vylučovaný parafolikulárními buňkami štítné žlázy a jehož funkcí je regulace hladiny vápníku v krvi (Khurana & Khurana 2015).

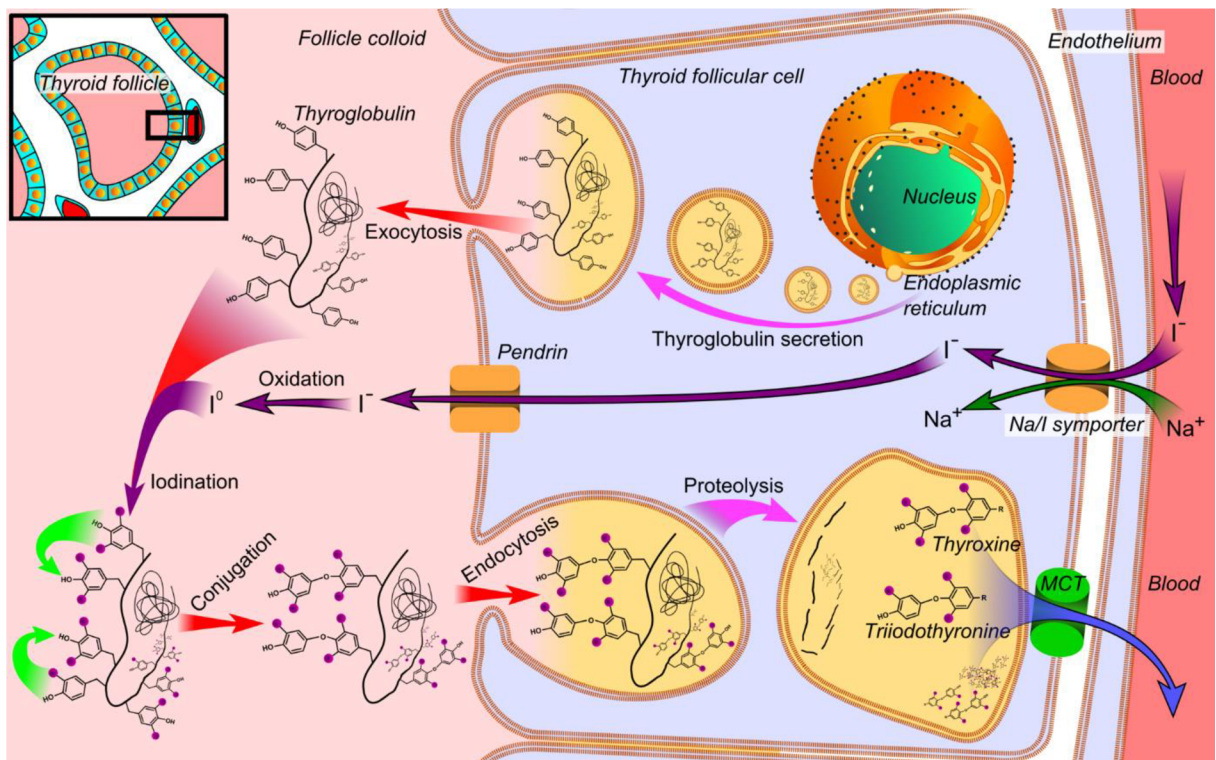
Ústřední roli v metabolismu jodu hraje již zmíněná štítná žláza, která obsahuje mnohočetné folikuly ohraničené folikulárními buňkami. Folikuly jsou vyplněny extracelulárním koloidem zvaným tyreoglobulin, což je čirý viskózní materiál. Prvním krokem v metabolismu jodu je vychytávání jodu z kapilár do folikulárních buněk pomocí aktivního transportu. K vychytávání jodu dochází pomocí sodíko-jodidového symportéru, který zprostředkovává transport jodidu do všech tkání koncentrující jodid (štítná žláza, slinné žlázy, mléčná žláza, střeva, žaludek). Transport pomocí sodíko-jodidového symportéru skrz

membránu potřebuje elektrochemický sodíkový gradient z venku dovnitř buňky, který je udržován pomocí sodno-draselné ATPázy (Milanesi & Brent 2017).

Druhým krokem v metabolismu jodu je syntéza a sekrece tyreoglobulinu, ke které dochází nezávislým procesem uvnitř folikulárních buněk na hrubém endoplazmatickém retikulu. Vytvořené peptidy se spojují do dimeru a následuje přidání sacharidových skupin. Načež se molekula přesune do Golgiho aparátu. Kompletní molekula tyreoglobulinu obsahuje přibližně 140 tyrosinových zbytků. Tyreoglobulin, nacházející se v malých váčcích, se pohybuje směrem k apikálnímu povrchu plazmatické membrány, kde je následně uvolněn do folikulárního lumenu (Ahad & Ganie 2010).

Dalším krokem je oxidace z jodidových aniontů (I^-) na jod (I_2), která probíhá ve folikulárním lumenu, kam byl jodid transportován za pomoci chlorido-jodidového transportéru (pendrinu). Poté následuje organifikace tyreoglobulinu, přičemž dochází k jodaci tyrosinových zbytků v molekule tyreoglobulinu (Ahad & Ganie 2010). Jodace tyreoglobulinu je katalyzována tyreoidální peroxidázou. Tento proces vede ke vzniku monojodtyrosinu (MIT) a dijodtyrosinu (DIT), a poté se za pomoci vazební reakce spojuje MIT a DIT za vzniku T_3 nebo DIT a DIT za vzniku T_4 (Milanesi & Brent 2017).

Koloid obsahující jodovaný tyreoglobulin podléhá endocytóze, kdy je transportován z lumenu folikuly do cytoplazmy ve formě koloidních kapének, které se pohybují k bazální membráně pravděpodobně za pomoci mikrofilamentů a mikrotubulů. Koloidní kapénky se následně spojí s lysozomovými vezikuly, které obsahují proteolytické enzymy. Zvýšený tyreotropní hormon (TSH) stimuluje proteolýzu tyreoglobulinu a uvolňování MIT, DIT, T_3 a T_4 do cytoplazmy. Sekrece tyreotropního hormonu je řízena tyroliberinem (TRH), který je vylučovaný z hypotalamu. Rovnováha mezi TSH a TRH udržuje potřebné množství hormonů štítné žlázy v organismu. Zatímco T_3 a T_4 difundují do krevního řečiště přes bazální povrch, tak MIT a DIT jsou dejodovány pomocí enzymu dejodáza. Dejodace MIT a DIT pomáhá získat jodid spolu s tyrosinem pro recyklaci (Ahad & Ganie 2010). Metabolismus jodu v lidském organismu je také popsán na **Obrázku 2**.

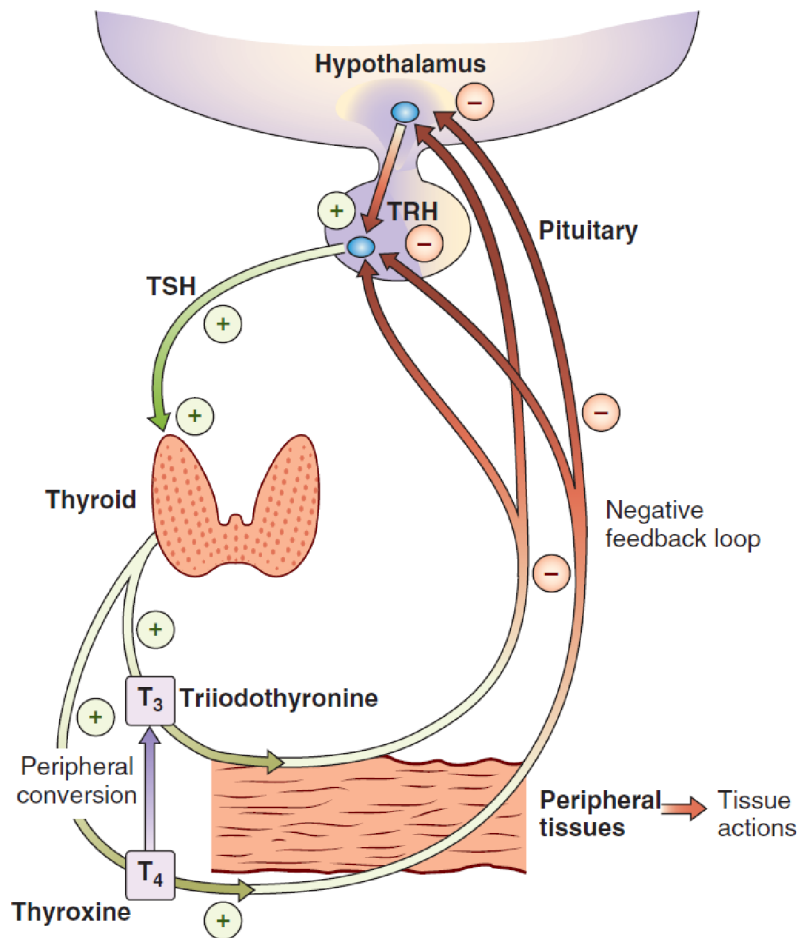


Obrázek 2 Metabolismus jodu (Zdroj: Häggström 2014)

Vylučovaný T_3 a T_4 cirkulují v krevním řečišti ve dvou formách, a to jako volné a vázané. Přibližně 0,5 % T_3 a 0,05 % T_4 cirkulují v plazmě ve volné formě. Více než 99 % T_3 i T_4 jsou vázané na specifické vazebné proteiny:

- tyroxin vázající globulin (TBG), který je hlavním vazebným proteinem a váže přibližně 70 % T_3 a T_4 ;
- tyroxin vázající prealbumin (TBPA) nebo transtyrelin (TTR) vázající přibližně 15–20 % T_4 ;
- tyroxin vázající albumin (TBA) vázající přibližně 10 % T_4 (Khurana & Khurana 2015).

Při sekreci hormonů štítné žlázy hraje významnou roli také regulace, která probíhá pomocí mechanismu negativní zpětné vazby přes hypotalamo-pituiární-tyreoidální osu (**Obrázek 3**). Nízké hladiny cirkulujících hormonů T_3 a T_4 jsou detekovány hypotalamem, který produkuje TRH. Uvolněný TRH stimuluje hypofýzu k produkci TSH. TSH stimuluje štítnou žlázu k produkci hormonů T_3 a T_4 , dokud se hladiny v krvi nevrátí k normálu. Cirkulující T_3 a T_4 vykonávají negativní zpětnou vazbu nad hypotalamem a hypofýzou, řídí uvolňování TRH z hypotalamu a TSH z hypofýzy (Kim et al. 2018).



Obrázek 3 Regulace hormonů štítné žlázy (Zdroj: Kim et al. 2018)

3.4 Význam jodu ve vztahu ke zdraví

3.4.1 Projevy nedostatku a nadbytku jodu

V dnešní době bylo díky studiím prováděným International Committee for Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD) a World Health Organization (WHO) docíleno shody v nejnižší hranici příjmu jodu, který je postačující k udržení přirozené funkce štítné žlázy. Doporučený denní příjem jodu pro různé věkové skupiny je uveden v **Tabulce 1**. Vyšší příjem jodu je důležitý zvláště pro těhotné a kojící ženy. Těhotné ženy by měly během dne přijmout 220 µg jodu a kojící ženy 290 µg jodu (Zamrazil & Čerovská 2014). Potřeba jodu v těhotenství je zvýšena z důvodu zajištění potřeby jodu pro plod, a také aby se kompenzovaly vyšší ztráty jodu močí v době těhotenství (World Health Organization 2001). Během kojení je příjem dostatečného množství jodu důležitý pro správné fungování štítné žlázy matky, a také pro vylučování jodu do mateřského mléka, vzhledem k tomu, že děti kojeneckého věku jsou závislé na obsahu jodu v mateřském mléce během prvních několika měsíců jejich života (Jin et al. 2021).

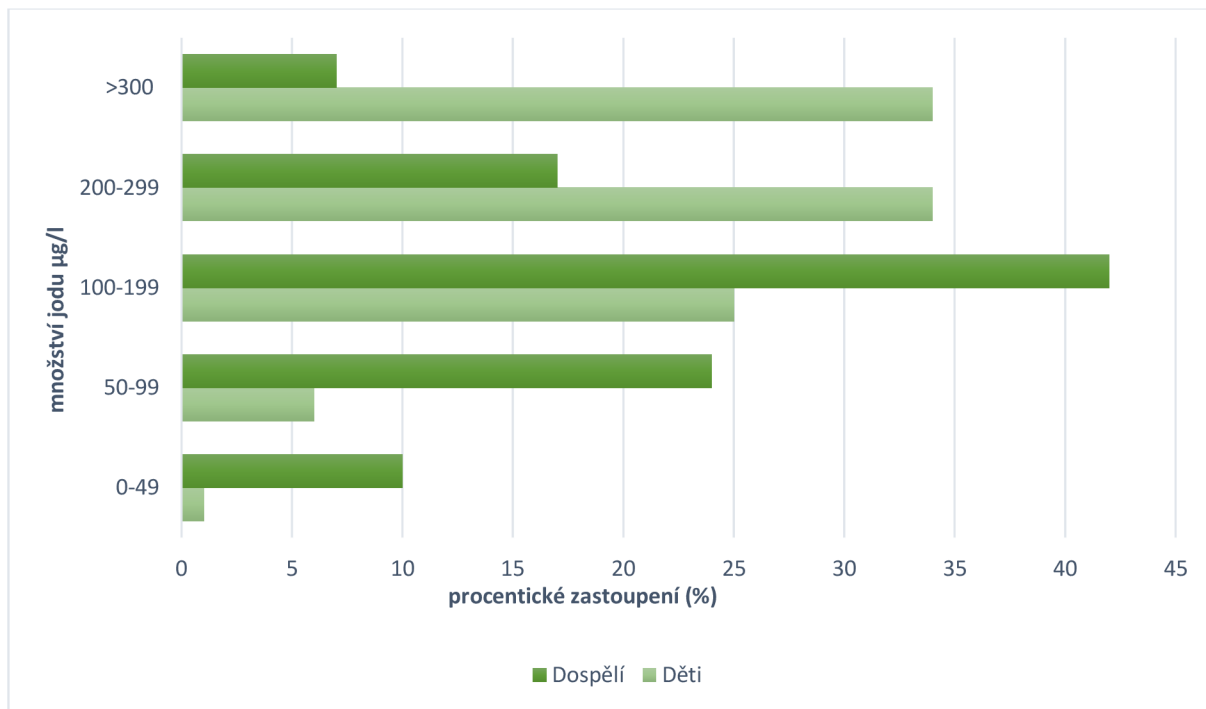
Tabulka 1 Denní referenční příjem jodu ($\mu\text{g}/\text{den}$)

Věková skupina	Doporučený denní příjem	Tolerovatelná horní hranice příjmu
0–6 měsíců	110	–
7–12 měsíců	130	–
1–3 roky	90	200
4–8 let	90	300
9–13 let	120	600
14–18 let	150	900
> 19 let	150	1100
Těhotné ≤ 18	220	900
Těhotné >19	220	1100
Kojící ≤ 18	290	900
Kojící >19	290	1100

Zdroj: Institute of Medicine (2006), upraveno autorem

Štítná žláza disponuje mechanismy, kterými reguluje obsah jodu v organismu. K posouzení hladiny jodu v organismu se používá jodurie, což je velmi přesná metoda, která stanoví množství jodu vyloučeného močí. Hodnoty pod či nad optimální jodurii poukazují na určité poruchy štítné žlázy (Zamrazil 2015). Pro zdravého dospělého jedince je spodní hranice pro optimální jodurii $100 \mu\text{g}/\text{l}$ moči, pro děti do 2 let je to hodnota $90 \mu\text{g}/\text{l}$ moči a pro těhotné a kojící je spodní hranice optimální jodurie $150 \mu\text{g}/\text{l}$ moči. Pro porovnání, optimální hodnota jodurie pro běžného člověka je $100\text{--}199 \mu\text{g}/\text{l}$ moči (Zamrazil & Čerovská 2014).

V roce 2015 a 2016 byla u dospělých a dětí monitorovaná jodurie (**Obrázek 4**), jako ukazatel dostatečné saturace populace jodem. Hodnoty jodurie byly rozděleny do několika kategorií dle hodnocení WHO, a to $0\text{--}49 \mu\text{g}/\text{l}$ nedostatečná saturace, $50\text{--}99 \mu\text{g}/\text{l}$ nedostatečná saturace–mírný deficit, $100\text{--}199 \mu\text{g}/\text{l}$ optimální saturace, $200\text{--}299 \mu\text{g}/\text{l}$ mírně nadprůměrná saturace a $>300 \mu\text{g}/\text{l}$ nadměrná saturace. Z grafu je patrná převažující optimální saturace jodem u dospělé populace, naproti tomu u dětské populace převažuje mírně nadprůměrná a nadprůměrná saturace (Hanzlíková et al. 2018).



Obrázek 4 Hodnoty jodurie u české populace (Zdroj: Hanzlíková et al. 2018, vytvořeno autorem)

Nedostatek jodu

Poruchy z nedostatku jodu jsou nejčastější endokrinopatií na světě a nejvíce preventabilní příčinou mentální retardace. Hlavními faktory poruch z nedostatku jodu jsou nedostatečný příjem jodu a nedostatečné využití jodu organismem (Ahad & Ganie 2010).

Hypotyreóza neboli snížená funkce štítné žlázy je stav, kdy štítná žláza neprodukuje dostatečné množství hormonů pro pokrytí požadavků periferní tkáně. Nejčastější příčinou hypotyreózy je nedostatek jodu v organismu. Další příčinou hypotyreózy je Hashimotova tyreoiditida, radiační terapie o vysokých dávkách či tyreoidektomie. Primární hypotyreóza je forma selhání štítné žlázy v důsledku onemocnění této žlázy, kdy hodnoty TSH jsou zvýšené a hodnoty tyroxinu jsou pod referenčním rozmezím populace. Subklinická hypotyreóza je mírnější forma selhání štítné žlázy, kdy hodnoty TSH jsou mírně či středně zvýšené a hodnoty tyroxinu jsou v referenčním rozmezí. Symptomy hypotyreózy jsou většinou nespecifické, ale pacienti uvádějí nejčastěji suchou kůži, intoleranci chladu, zvýšené pocení, zácpu, únavu aj. (McDermott 2020).

Závažnost nedostatku jodu se může projevit od mírného intelektuálního otupění až po kretenismus, což je stav, který zahrnuje mentální retardaci, hluchotu, malý vzrůst a další vady. Spektrum poruch způsobených nedostatkem jodu postihuje všechny fáze života, tedy od plodu až po dospělost. Pokud strava v těhotenství neobsahuje dostatečné množství jodu, je růst plodu zastaven. Hypotyreoidní plody častokrát zahynou v děloze a velké množství kojenců zahyne v prvním týdnu po porodu. U plodu je nejkritičtější doba pro dostatek jodu v polovině druhého trimestru (14–18 týden), kdy se vytváří neurony mozkové kůry a bazálních ganglií. Nedostatek jodu či hormonů štítné žlázy v této době má za následek zpomalení metabolických aktivit buněk plodu a nevratné změny ve vývoji mozku (Kapil 2007). Nedostatečný příjem jodu

v těhotenství neohrožuje pouze plod, ale také může ohrozit matku, a to vznikem mateřské strumy. Mateřská struma vzniklá během těhotenství může po porodu vymizet pouze částečně, ohrožené jsou nejvíce ženy z oblastí s mírným až středním zásobením jodu (Zimmermann 2012). Důležitá je tedy suplementace jodu během těhotenství, aby se nejen tomuto onemocnění předešlo (Witard et al. 2022).

Na počátku 90. let 20. století bylo prokázáno nedostatečné zásobením populace jodem. Z tohoto důvodu vznikla Meziresortní komise pro řešení jódového deficitu (ICCIDD), jejímž cílem bylo zvýšení nabídky jodu pro populaci a odstranění jódového deficitu a jeho zdravotního dopadu. Z opatření, která byla uskutečněna lze zmínit zvýšení množství jodu v kuchyňské soli. K jodování soli se začal používat jodičnan draselný namísto nestabilního jodidu sodného. Výsledky těchto a dalších opatření byly pravidelně sledovány pomocí jodurie a v roce 2004 bylo potvrzeno ICCIDD, že Česká republika nedostatek jodu odstranila (Nejedlá 2014).

Nadbytek jodu

Nadměrná saturace jodem je stanovena na hodnotu jodurie $>299 \mu\text{g/l}$ moči. Tolerovaná horní hranice příjmu jodu je stanovena na $1100 \mu\text{g/den}$ pro dospělé muže i ženy starší 19 let (Hatch-McChesney & Lieberman 2022).

Hypertyreóza je porucha, při které štítná žláza syntetizuje a vylučuje nadbytečné množství hormonů. Často je pojem hypertyreóza chybně zaměňován za pojem tyreotoxikóza, což označuje stav, kdy jsou tkáně vystaveny nadměrné expozice hormonů štítné žlázy. Hypertyreóza může často vést právě k tyreotoxikóze. Dále hypertyreóza může být příčinou Gravesovy choroby, což je autoimunitní onemocnění, kdy produkované imunoglobuliny stimulují štítnou žlázu, kde se váží na receptor TSH a napodobují účinky TSH. Hypertyreóza se může projevit ztrátou hmotnosti při silné chuti k jídlu, bušením srdce, nervozitou, pocením, svalovou slabostí, únavou či třesem (Mathew & Rawla 2022).

Dalšími příčinami hypertyreózy jsou toxická modulární struma a toxický adenom. Toxická modulární struma se projevuje jako uzly na štítné žláze, které zapříčiňují nadbytečnou produkci hormonů štítné žlázy, což vede ke klinické tyreotoxikóze. Toxický adenom se projevuje papilárním uzlem na štítné žláze, který může potenciálně způsobit hypertyreózu (Mathew & Rawla 2022). Mezi méně časté příčiny hypertyreózy se řadí tyreotoxikóza vyvolaná tyreotropinem a trofoblastické nádory, u kterých jsou receptory TSH stimulovány nadbytkem TSH a choriovým gonadotropinem (de Leo et al. 2016).

3.4.2 Zdroje jodu pro člověka

Jod se do lidského těla dostává pomocí konzumované potravy, vody a vzduchu. Pitná voda je obecně nevýznamným zdrojem jodu. Avšak některé podzemní vody používané jako pitné zdroje, obsahují velké množství jodu. Tyto zdroje pitné vody se nacházejí například v Dánsku, Argentině či Číně. Právě v Číně obsahují některé zdroje pitné vody nadměrné množství jodu, a to až $4,1 \text{ mg/l}$ vody (Fuge & Johnson 2015).

Hlavní formou jodu nacházející se v potravinách jsou jodidové anionty, které jsou vstřebatelné v gastrointestinálním traktu. Další formy jodu, jako například jodičnany, jsou nejdříve redukovány na jodidové ionty a následně jsou již vstřebatelné v gastrointestinálním traktu (Velíšek 2014).

Inhalace jodu z ovzduší je rovněž označována jako nevýznamný zdroj jodu. I v pobřežních oblastech, kde je zvýšená hladina jodu v atmosféře, by odhadem mohla inhalace poskytnout pouze 5 mg jodu/den. V pobřežních oblastech s vysokým výskytem mořských řas byl zjištěn vyšší obsah jodu v lidském organismu než v blízkých oblastech s nízkým výskytem mořských řas. Předpokládá se, že inhalace v pobřežních oblastech s vysokým výskytem mořských řas představuje významný zdroj jodu pro lidský organismus (Fuge & Johnson 2015).

V mořském prostředí se jod koncentruje nejvíce v mořských řasách. Řasy, které jsou určeny k lidské spotřebě, mohou obsahovat až 4 920 mg/kg. Dalšími zdroji jodu jsou mořské ryby a korýši s obsahem jodu 0,39–6,9 mg/kg. Rovněž mušle se vyznačují vyšším obsahem jodu, a to 2 470 mg/kg (Fuge & Johnson 2015).

Zatímco produkty moře jsou velmi bohaté na obsah jodu, pro produkci ze suchozemí to neplatí (Fuge & Johnson 2015). Ve většině zeleniny je obsah jodu obecně nízký. Vyšší obsah jodu můžeme ale nalézt v listové zelenině jako je hlávkový salát, který obsahuje $0,236 \pm 0,181$ mg/kg. Vyšší obsah je nejspíše zapříčiněn částečnou absorpcí jodu z půdy a zároveň vyšší absorpcí z atmosféry pomocí listů (Haldimann et al. 2005).

Z živočišných produktů lze zmínit vejce s obsahem jodu $1,625 \pm 0,294$ mg/kg či zpracované maso (sušené maso, hamburgery, klobása, aj.) s obsahem jodu $0,335 \pm 0,395$ mg/kg. Významným živočišným zdrojem jodu jsou také mléko a mléčné výrobky (Haldimann et al. 2005). Obsahem jodu v kravském mléce a syrovátce se zabývali Křížová et al. (2016b), kteří měřili obsah jodu v mléce z 11–13 okresů České republiky. Mléko bylo analyzováno v letech 2013 až 2015 a syrovátka byla analýze podrobena v roce 2013. Obsah jodu v mléce v roce 2013 byl $357,6 \pm 344,6$ µg/l. V roce 2014 byly provedeny dvě měření s výsledným obsahem jodu $235,9 \pm 102,7$ a $209,3 \pm 75,2$ µg/l a v roce 2015 byl stanoven obsah jodu v mléce $203,1 \pm 138,3$ µg/l. Zároveň byl v roce 2013 stanovován obsah jodu v syrovátce, který byl $245,84 \pm 259,97$ µg/l.

Jak již bylo řečeno, nejen mléko, ale i mléčné výrobky jsou dobrým živočišným zdrojem jodu. Tím se také zabývali Dahl et al. (2003), kteří analyzovali mléčné výrobky z několika oblastí Norska. Z mléčných výrobků zkoumali například jogurt, který obsahoval v průměru 147 µg/kg, zakysanou smetanu s obsahem jodu v průměru 87 µg/kg či norský sýr, který obsahoval jod v průměru 414 µg/kg.

3.5 Jod ve výživě dojníc

3.5.1 Potřeby jodu pro dojnice

Stejně jako u člověka je jod jedním z nejdůležitějších mikroelementů ve výživě dojeného skotu i jiných zvířat. Je především nutný pro optimální produkci hormonů štítné žlázy, které hrají významnou roli v udržování energetického metabolismu. Hormony štítné žlázy jsou

rovněž důležité pro reprodukční a produkční výkonnost u dojnic. Adekvátní dostupnost jodu v prenatalním období se také odráží do postnatálního vývoje a růstu novorozených telat. Průměrná potřeba jodu pro dojnice se mění v závislosti na věku, genetice a produkci (Dodovski et al. 2022). Potřeba jodu pro určité kategorie skotu je uvedena v **Tabulce 2**.

Tabulka 2 Přibližné hodnoty potřeby jodu pro určité kategorie skotu

Kategorie skotu	Potřeba jodu
Telata	0,4 mg/kg
Jalovice	1,0 mg/kg
Dojnice	0,8 mg/kg

Zdroj: Pechová et al. (2009), upraveno autorem

Nedostatek jodu ve výživě dojnic může vyvolat hypotyreózu a tvorbu strumy (**Obrázek 5**). U plodu se nedostatek jodu projevuje jako opožděný vývoj, což má za následek vysokou míru mrtvě narozených telat. Telata s nedostatkem jodu jsou také částečně nebo zcela bez srsti. V pozdějším věku vede hypotyreóza k celkovému útlumu metabolismu (Schöne & Rajendram 2009). Rovněž se nedostatek jodu ve výživě dojnic může projevit nižší užitkovostí (Pechová et al. 2009).

Ve výživě dojnic může dojít při nesprávné dietě také k nadbytečnému příjmu jodu. Mezi příznaky nadměrného příjmu jodu u dojnic, ale také u telat, lze zahrnout výtok z nosu, kašel, změny kůže a srsti, jako je například alopecie (Schöne & Rajendram 2009).



Obrázek 5 Tele s vrozenou difúzní hyperplastickou strumou (Zdroj: Homerosky et al. 2019)

3.5.2 Zdroje jodu ve výživě dojnic

Jod je dojnicemi přijímán z několika zdrojů zahrnující napájecí vodu a krmnou dávku (KD), ale také může být jeho vstup do organismu z ovzduší či dezinfekčních prostředků (Trávníček et al. 2011). Obsah jodu v pitné vodě podávané dojnicím není příliš vysoký, pohybuje se v rozmezí 2–7 µg/l (Dodovski et al. 2022). Obsah jodu v rostlinném krmivu je ovlivněn řadou faktorů, a to vzdáleností od moře, použitím hnojiv obsahující jod (Schöne & Rajendram 2009), ročním obdobím, botanickým složením a odrůdovými rozdíly rostlin (Dodovski et al. 2022). Koncentrace jodu v kompletní krmné dávce je limitována nařízením komise (ES) č. 1459/2005, a to na 5 mg/kg krmné dávky s obsahem vlhkosti krmiva 12 %. Obsah jodu v některých rostlinných krmivech je uveden v **Tabulce 3**.

Tabulka 3 Průměrný obsah jodu ve vybraném rostlinném krmivu

Druh krmiva	Průměrný obsah jodu µg/kg
Seno	137 ± 12,1
Směsná siláž (seno, luskoviny)	156 ± 16,5
Kukuřičná siláž	125 ± 21,8
Zrno	55 ± 6,5
Sójový produkt	101 ± 21,2

Zdroj: Schöne et al. (2017), upraveno autorem

Při nedostatečném příjmu jodu dojnicí se využívají jodizované solné lizy či minerální premixy obsahující jod. Forma jodu, která se nejčastěji využívá k trvalé dotaci jodu je jodičnan vápenatý či jodid draselný, dále se může využít jodistan vápenatý či jodid měďný. Pokud je potřebná pouze jednorázová dotace jodu do organismu dojnice, například při graviditě, lze využít jednorázové či opakované perorální aplikace zvýšených dávek jodičnanu draselného či jodidu draselného (Pechová et al. 2009). Podrobněji je problematika výživy rozebrána v kapitole 3.7.1.

3.6 Obsah jodu ve vztahu ke kvalitě mléka

Vliv suplementace jodu na kvalitu mléka byl potvrzen již v několika studiích. Iannaccone et al. (2019) se zabývali vlivem suplementace jodu na kvalitu mléka a mléčných výrobků. Ve studii byl hodnocen počet somatických buněk (PSB), který poskytuje informaci o hygienické jakosti mléka, a tudíž určuje, zdali je mléko vhodné pro výrobu mléčných výrobků. Stádo bylo rozděleno na kontrolní skupinu dojnic a skupinu dojnic, kterým byl suplementován jod v množství 85 mg/den/dojnice. Na začátku studie bylo PSB v 1 ml mléka u obou skupin dojnic v rozmezí 150–200 tisíc. Po osmi týdnech suplementace jodu bylo PSB v 1 ml mléka v rozmezí 100–150 tisíc, zatímco u kontrolní skupiny bylo PSB v 1 ml mléka nad 200 tisíc. Výsledky ukázaly významné snížení PSB v závislosti na obsahu jodu ve výživě, a tím zlepšení imunitní odpovědi proti infekčním onemocněním u dojnic.

K obohacení mléka nejen o jod lze použít suspenzi *Chlorella vulgaris*, která se přidává do krmné dávky dojnic a má vliv na parametry syrového mléka. Suspenze *Chlorella vulgaris* měla

minimální vliv na hustotu mléka i na obsah hlavních složek mléka, kdy se hodnoty změnily o setiny až desetiny procent. Naopak suplementace suspenze *Chlorella vulgaris* znatelně ovlivňuje obsah jodu a železa v mléce. Při nejnižší dávce suspenze *Chlorella vulgaris* (1 l/dojnice/den) se změnil obsah jodu v mléce z 0 mg/kg na 0,2 mg/kg a při nejvyšší suplementaci (1,5 l/dojnice/den) se změnil obsah jodu v mléce z 0 mg/kg na 0,29 mg/kg. Kromě zvýšení těchto parametrů se projevila po suplementaci suspenze i změna v obsahu v aminokyselinovém profilu (Akhmedkhanova et al. 2020).

Nejen u mléka, ale i u sýrů lze pomocí suplementace jodu ovlivnit kvalitu. U čerstvého sýru typu ricotta bylo možné sledovat změnu hladiny malondialdehydu, který vzniká u některých potravin při jejich technologickém zpracování. Při vyšší hladině malondialdehydu byly pozorovány negativní účinky na lidské zdraví, a také byla ovlivněna kvalita sýru. V průměru se obsah malondialdehydu v sýru, vyrobeného z mléka dojníc bez suplementace jodu, zvýšil z $40 \pm 5 \mu\text{g/g}$ na konečných $75 \pm 6 \mu\text{g/g}$. U sýru vyrobeného z mléka dojníc se suplementací jodu, se po 7 dnech zvýšil obsah malondialdehydu z $45 \pm 3 \mu\text{g/g}$ na konečných $51 \pm 4 \mu\text{g/g}$. Je tedy patrné, že suplementací jodu dojnícím z jejichž mléka byl vyroben sýr ricotta, došlo k nižšímu nárůstu obsahu malondialdehydu, což se projevilo vyšší kvalitou sýru ricotta (Iannaccone et al. 2019).

Suspenze *Chlorella vulgaris* neovlivňuje pouze parametry a kvalitu mléka, ale také ovlivňuje parametry a kvalitu sýra. Tyto změny byly pozorovány u sýru Montasio. Významné změny se projevily v obsahu tuku, kdy se po suplementaci suspenze *Chlorella vulgaris* (1,5 litrů/dojnice/den) změnilo množství tuku z 35,20 % (bez suplementace) na celkových 52,4 %. Množství jodu se při stejné suplementaci zvýšilo z neměřitelných hodnot na 312 $\mu\text{g/kg}$ (Akhmedkhanova et al. 2020).

3.7 Faktory ovlivňující obsah jodu v mléce

3.7.1 Výživa

Příjem jodu v krmivu je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích (Flachowsky et al. 2014), což potvrzuje i fakt, že o něm pojednává několik tuzemských i zahraničních studií. Obsah jodu v objemných a jadrných krmivech dle Trávníčka et al. (2011) není dostatečný, s čímž souhlasí i Borucki Castro et al. (2011). Ti se ve své studii zabývali obsahem jodu v různých druzích krmiv dojníc z farem v Kanadě. Obsah jodu zkoumali v senu, kukuřičné siláži, sójových produktech a ve smíšené siláži, která obsahovala traviny a luštěniny. Nejvyšší hodnoty jodu byly stanoveny ve smíšené siláži, která obsahovala v průměru 156 μg jodu na kg sušiny. Naproti tomu nejnižší obsah jodu byl stanoven v sójových produktech, a to v průměru 101 $\mu\text{g/kg}$ sušiny. Ostatní krmiva se pohybovala mezi těmito hodnotami. V rámci této studie také uvedli, že rostlinný druh, klimatické nebo geologické podmínky patří mezi klíčové faktory, které ovlivňují obsah jodu v různých krmivech. Díky těmto faktorům je obsah jodu v rostlinách vysoce variabilní. Závěrem bylo v této studii stanoveno, že získané průměrné hodnoty obsahu jodu v testovaných krmivech by dodaly dojnícím pouze 17 % potřebného jodu, tudíž je nutná jeho suplementace.

Minerální doplňky v krmné dávce

Při suplementaci jodu do krmné dávky musí být nejdříve zvážena forma jodu, která bude dojnícím suplementována. Použit lze organické či anorganické sloučeniny jodu, kdy každá z nich ovlivňuje obsah jodu v mléce rozdílně. Dle nařízení Komise (ES) č. 1459/2005 lze použít jod jako doplňkovou látku v krmivu v následujících formách:

- 1) jodičnan vápenatý, bezvodný;
- 2) jodičnan vápenatý, hexahydrát;
- 3) jodid draselný;
- 4) jodid sodný.

Z nařízení Komise (ES) č. 1459/2005 je patrné, že jodičnany a jodidy jako anorganické sloučeniny jodu lze doplnit do krmiva. V dnešní době je z anorganických sloučenin jodu nejvíce využíván jodičnan vápenatý (Trávníček et al. 2011). Jodičnany patří mezi silně oxidační činidla, naproti tomu jodidy jsou silně redukční činidla. V potravinách obsahující jod a jeho soli, mohou probíhat zvýšené oxidační reakce, čímž dochází ke snížení trvanlivosti a biologické dostupnosti nejen jodu, ale i dalších nutričně významných látek. Tento jev není problém pouze u potravin, ale i u krmiv, kde použití jodidů a jodičnanů může vést také ke snížené trvanlivosti. Správný výběr formy jodu je tedy jeden z faktorů, který ovlivňuje kvalitu a trvanlivost krmné dávky (Winger et al. 2008).

Jako nejběžnější doplňkové zdroje jodu se používají premixy mikro a makroprvků, minerální vitaminové směsi a minerální krmné přísady (MKP). Obsah jodu v minerálních krmných přísadách na trhu v České republice je v rozmezí 39–400 mg/kg. Využívané minerální doplňky v České republice jsou například Camisan (400 mg jodu/kg), M1 (110 mg jodu/kg), MKP B–E (80–120 mg jodu/kg) či Premix M1 (100 mg jodu/kg). Tyto minerální doplňky se využívají hlavně v rámci velkokapacitních chovů pro pokrytí mnoha nepostradatelných mikro a makroprvků. Při pastvě se za nejběžnější formu suplementace jodu považují minerální lizy. Z minerálních lizů se v České republice využívají například Biosaxon (120 mg jodu/kg), Liz PP (90 mg jodu/kg) či MLO (70–85 mg jodu/kg) (Trávníček et al. 2011).

Z organických sloučenin jodu se k suplementaci využívají etylendiamindihydrojodid (EDDI), jodové tuky, nenasycené mastné kyseliny, mořské či sladkovodní řasy vypěstované v jodem obohacené vodě (Trávníček et al. 2011).

Obsah selenu v krmné dávce

Pro využití jodu organismem dojnice je limitujícím faktorem příjem selenu. Česká republika je území na selen chudé. Při nedostatečném příjmu selenu a zároveň jodu se prohlubuje hypothyreodní stav (Trávníček et al. 2011). Selen se podílí na metabolismu hormonů štítné žlázy. Výživa s nedostatkem selenu tak snižuje hladinu T_3 , zvyšuje hladinu T_4 a snižuje poměr T_3/T_4 v krvi. Snížená hladina T_3 a zvýšená hladina T_4 může ovlivnit rychlost růstu, jelikož T_3 se jako aktivní forma účastní růstových procesů (Mehdi & Dufrasne 2016).

Do krmné dávky se selen suplementuje ve dvou formách, a to jako anorganický či organický. Využívané anorganické formy selenu jsou seleničitan sodný a selenan sodný. Mezi organické formy selenu pak patří kvasinky obohacené selenem, kde převládající formou selenu

je selenomethionin. V Evropské unii se mohou používat anorganické a organické formy selenu s maximální povolenou dávkou 0,568 mg/kg sušiny (Phipps et al. 2008). Optimální obsah selenu v kravském mléce se pohybuje v rozmezí 1,3–1,7 µg/100 g (Zamberlin et al. 2012).

Strumigenní látky v krmné dávce

Nejdůležitější vliv na obsah jodu v rostlinných krmivech, a tím následném obsahu jodu v mléce, mají strumigenní látky. Strumigenní látky jsou přirozeně vyskytující se látky v rostlinných produktech, které mohou narušovat normální funkci štítné žlázy (van der Reijden et al. 2017). Strumigenní látky mohou zabraňovat tomu, aby štítná žláza vytvářela dostatečné množství T₃ a T₄, mohou ovlivnit absorpci jodu ve štítné žláze či oxidaci jodidu na elementární jod a jeho následný přenos do tyreoglobulinu (Flachowsky et al. 2014). Mezi strumigenní látky patří dusičnany, dusitany, thiokyanáty, chlorečnany, chloristany, izoflavony, glukosinoláty aj. (Trávníček et al. 2011; Kroupová et al. 2013).

Glukosinoláty nacházející se v brukvovitých rostlinách, které se používají do krmné dávky dojníc, uvolňují do organismu dojnice isothiokyanáty a jiné látky, které snižují vychytávání jodu štítnou i mléčnou žlázou. Mezi rostliny, které obsahují glukosinoláty se řadí sója, kapusta, brukev řepka a některé druhy jetelovin. Glukosinoláty jsou obsažené v krmivu dojníc jako extrahovaný řepkový šrot nebo řepkové pokrutiny (Flachowsky et al. 2014). Extrahovaný řepkový šrot se využívá ve výživě dojníc jako zdroj proteinů. Kromě ovlivnění distribuce jodu v organismu ovlivňují glukosinoláty i chuť krmiva, což vede ke snížení spotřeby krmiva. Aby nebyla chuť krmiva ovlivněna, měla by řepková část krmiva tvořit pouhých 3–5 %. Doporučený maximální denní příjem extrahovaného řepkového šrotu je 2,5 kg/dojnice/den, v němž je maximální obsah glukosinolátů 20 mmol/kg (Křížová et al. 2016a).

3.7.2 Způsob hospodaření

Klimešová et al. (2021) ve své studii potvrdili, že i způsob hospodaření může ovlivnit obsah jodu v mléce. V dnešní době můžeme zemědělství rozdělit dle dvou hlavních směrů, a to na ekologické a konvenční (Urban & Šarapatka 2003). Nejrozšířenějším způsobem hospodaření na zemědělské půdě je konvenční zemědělství. Tento způsob hospodaření lze rozdělit na intenzivní a extenzivní typ. První zmíněný se využívá převážně ve vysoce rozvinutých zemích, zatímco v rozvojových a chudších zemích probíhá produkce mléka tradičním, tedy extenzivním způsobem. Nicméně od druhé poloviny 20. století se v Evropských zemích rozmáhají i další alternativní metody hospodaření jako je například ekologické zemědělství (Brodziak et al. 2021).

Konvenční produkce

Konvenční zemědělství charakterizuje jeho vyšší intenzita hospodaření, a také využití vyšších materiálových a energetických vstupů za účelem maximalizování produkce a zisku. Vykazuje se vysokou intenzitou hospodaření a využitím půdy. Materiální zdroje využívané v konvenčním zemědělství zahrnují hnojiva, závlahovou vodu, pesticidy, moderní technologie a energii využívanou pro pohon strojů (Urban & Šarapatka 2003).

Negativní stránky konvenčního zemědělství jsou například nadměrné využívání chemicko-syntetických pesticidů, což způsobuje množení odolných škůdců, chorob a plevelů v agrosystému; používání průmyslových hnojiv, které mohou kontaminovat spodní i povrchové vody; či umělá inseminace, řízená reprodukce a jednostranné šlechtění plemen pro vysokou užitkovost, které mohou způsobit krátkověkost zvířat či sníženou odolnost proti onemocnění (Urban & Šarapatka 2003).

Ekologická produkce

Ekologické zemědělství je forma hospodaření, které dbá celkově na životní prostředí i na jeho jednotlivé složky. V ekologickém zemědělství se omezuje používání postupů a látek, které znečišťují či zatěžují životní prostředí, nebo které zvětšují riziko kontaminace. Ekologické zemědělství se také vyznačuje šetrnými zpracovatelskými postupy ve výrobě potravin bez použití chemicko-syntetických látek. V České republice se ekologické zemědělství rozvíjí hlavně díky dotačním titulům vypláceným zemědělcům, dále také pro zvýšený zájem obchodníků o bio suroviny z ČR a rozvoj trhu s biopotravinami (Dvorský & Urban 2014).

V ekologickém zemědělství existují určité principy, které formulovala Mezinárodní federace hnutí za ekologické zemědělství (IFOAM). Těmito principy jsou princip zdraví, ekologie, spravedlnosti a péče (Luttikholt 2007).

Ekologické zemědělství má své zásady, co se týče chovu a chovatelských postupů. V oblastech, kde to podmínky dovolují, nemusí být zvířata ustájena v budovách, je postačující, aby měla přístup do zastíněných oblastí či k přístřešku. Intenzita chovu, která je v budovách, zabezpečuje pohodlí zvířat, specifické potřeby a dobré podmínky pro život v závislosti na věku, druhu a plemeni zvířete. Pro chov žádného druhu zvířete nelze používat boxy, klece a etážové plošiny. Chovatelské postupy, zahrnující podmínky ustájení i intenzitu chovu, zajišťují splnění etologických, vývojových a fyziologických potřeb zvířat (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/884).

Rozdíly v obsahu jodu mezi konvenčním a ekologickým zemědělstvím

Způsob hospodaření je jedním z významných faktorů, které ovlivňují obsah jodu v mléce. Pokud porovnáme mléko z ekologického a konvenčního hospodaření, nalezneme nižší obsah jodu v mléce z ekologického hospodaření. Rozdíly v obsahu jodu lze vysvětlit odlišnými krmnými dávkami, odlišným množstvím používaných minerálních směsí obsahující jod či použitím odlišných dezinfekčních prostředků na struky (Flachowsky et al. 2014).

Vlivem rozdílného způsobu hospodaření na obsah jodu v mléce se zabývali Walther et al. (2018). Ke studii bylo použito UHT (Ultra High Temperature, ošetření vysokou teplotou) mléko z konvenčních a ekologických chovů odebíraného na území Švýcarska. Průměrný obsah jodu z konvenčního hospodaření byl $111 \pm 26 \mu\text{g/l}$ a z ekologického hospodaření byl $71 \pm 25 \mu\text{g/l}$. Z výsledků byl patrný nižší obsah jodu v mléce z ekologického hospodaření, a to o 36 %. Obsah jodu v mléce pocházející z ekologického a konvenčního hospodaření rovněž zkoumali Sakai et al. (2022). Ti rovněž potvrdili nižší obsah jodu v mléce z ekologického hospodaření, a to o 36,1 %.

3.7.3 Dezinfekční prostředky

Obsah jodu v kravském mléce může být ovlivněn využíváním dezinfekčních prostředků obsahujících jod sloužících k dezinfekci struků či čištění dojcích zařízení (van der Reijden et al. 2018). Ke zvýšení koncentrace jodu v mléce může také docházet při použití dezinfekčních prostředků s obsahem jodu při některých veterinárních zákrocích. Používanými dezinfekčními přípravky k ošetření mléčné žlázy dojnic jako post-dip jsou například Dezi JODIN (<3 % jodu), Kenostart (3 g/l jodu) či Mikasan JD (<4 % jodu). U dojnic se také využívají veterinární přípravky s obsahem jodu. Mezi takovéto přípravky řadíme Betadine (<10 % jodu) a Alfadin (<10 % jodu) využívané jako povrchové dezinfekce při zákrocích, či Mastimol medicamenta (6,5 % jodu), který se používá při nekrotách kůže, abscesech či při akutním i chronickém mastitidním onemocnění (Trávníček et al. 2011). Právě z důvodu zvyšování koncentrace jodu při použití jodových dezinfekčních prostředků, některé země upouštějí od používání těchto přípravků. Mezi látky nahrazující jod v přípravcích používaných k dezinfekci patří panthenol, chlorhexidien či glycerin (Flachowsky et al. 2014).

Vlivem používané dezinfekce na struky dojnic před a po dojení se zabývali Cabral et al. (2022). Ve svém výzkumu se zabývali rozdílnou koncentrací jodu v dezinfekčním prostředku s obsahem jodu 0,5; 1 a 2 %, výsledky byly porovnávány s použitím přípravku s obsahem chlorhexidien. Dezinfekční prostředky s danou koncentrací jodu byly používány před i po dojení. Použitím dezinfekčních prostředků na bázi jodu při použití před a po dojení se očekávaně zvyšovala koncentraci jodu v mléce. Při použití dezinfekčních prostředků s 0; 0,5; 1 a 2 % byl průměrný obsah jodu v mléce 368,9; 400,5; 444,4 a 604,2 µg/l. Nejvyšší zvýšení koncentrace jodu v mléce byla patrná u použití dezinfekčního prostředku s 2 % jodu naproti dezinfekčnímu prostředku s 1 % jodu, a to o 35 %.

Vlivem rozdílného způsobu použití dezinfekčních prostředků s obsahem jodu se zabývali French et al. (2016). Ve své analýze se zaměřili na odlišnosti mezi prostředky k ošetření struků dojnice a na vliv jejich rozdílného způsobu použití na obsah jodu v mléce. V této analýze byl použit post-dip ve formě tekutého dezinfekčního prostředku pro namáčení struků a post-dip ve formě spreje. Post-dip ve formě tekutého dezinfekčního prostředku pro namáčení struků byl použit s koncentrací jodu 0,25 a 0,5 %, zatímco post-dip ve formě spreje byl použit pouze s koncentrací jodu 0,25 %. Použití uvedených post-dipů bylo porovnáváno s kontrolní skupinou, u které byl použit post-dip na bázi peroxidu vodíku. U kontrolní skupiny byl obsah jodu průměrně 148 µg/l, obsah jodu v mléce u skupiny ošetřené post-dipem v tekuté formě s koncentrací jodu 0,25 % byl průměrně 157 µg/l a s koncentrací jodu 0,5 % byl 177 µg/l. U skupiny ošetřené post-dipem ve spreji s koncentrací jodu 0,25 %, byl obsah jodu v mléce v průměru 178 µg/l. Z výsledků jsou patrné odlišné hodnoty jodu po použití různých forem post-dipů, kdy nejvyšší hodnoty jodu v mléce vykazovalo mléko po použití post-dipu ve formě spreje. Vyšší obsah jodu v mléce po použití post-dipu ve formě spreje je zřejmě zapříčiněn větší plochou ošetření struku, a tím zvýšeným množstvím vstřebeného jodu (Borucki Castro et al. 2012). Rozdílné ošetření mléčné žlázy lze pozorovat na **Obrázku 6**, kdy v horní řadě je zobrazeno použití post-dipu ve formě spreje a v dolní řadě použití post-dipu v tekuté formě pomocí namáčení.



Obrázek 6 Ošetření mléčné žlázy pomocí rozdílných post-dipů (Zdroj: Borucki Castro et al. 2012)

3.7.4 Obsah jodu v mléčných automatech

Prodejní automaty se zdají být jako dynamicky se rozvíjející oblast ekonomiky. Obecně existuje v oblasti prodejních automatů velká konkurence, převážně v oblasti teplých a studených nápojů, a také sladkostí. Kromě těchto automatů je možné v České republice využít i prodejní automat určený k nákupu syrového mléka tzv. „mlékomat“ (Doležalová et al. 2014). Mlékomaty v současné době provozují hlavně farmáři nebo farmy, které jsou zároveň producenti syrového mléka. Tudiž také zodpovídají za hygienickou nezávadnost mléka i automatu. Teplota syrového mléka musí být regulována a neměla by překročit 4 °C. Mléko je do mlékomatu dodáváno zpravidla jednou denně a spotřebitel ho může čerpat do vlastních nádob nebo do lahví zakoupených v prodejním automatu, který se zpravidla nachází v blízkosti mlékomatu (Galičič et al. 2015).

Kavřík et al. (2013) se zabývali ve své studii průměrným obsahem jodu v kravském mléce. V rámci studie se hodnotila mléka tuzemská, zahraniční, biomléka a z mlékomatu. Výsledky studie ukázaly, že obsah jodu v mléce z mlékomatu dosahoval dlouhodobě vysokých hodnot. Průměrný obsah jodu v mléce z mlékomatu v roce 2011 byl 486 µg/kg. Tyto hodnoty převyšují optimum obsah jodu v mléce, které je uváděno jako 200 µg/l a mělo by k nim být přihlédnuto při pravidelné konzumaci tohoto mléka. Jelikož studie nebyla primárně zaměřena na mléko

z mlékomatu, a hodnotil se zde pouze jeden vzorek, nelze výsledky tudíž paušalizovat i na ostatní producenty. Další studie k danému tématu nebyly nalezeny.

3.7.5 Další faktory

Roční období

Crnkic et al. (2015) prováděli studii, jejímž cílem bylo stanovení koncentrace jodu v kravském mléce z oblasti Bosny a Hercegoviny. Vzorky mléka byly odebírány z pěti regionů během jara, léta a zimy. Z výsledků studie bylo zjištěno, že v zimním období byl obsah jodu v mléce vyšší ($84,0 \pm 88,2 \mu\text{g}/\text{kg}$) než v letním ($51,3 \pm 51,0 \mu\text{g}/\text{kg}$) i jarním období, kde byl obsah jodu v mléce nejnižší ($45,3 \pm 46,7 \mu\text{g}/\text{kg}$). Obsahem jodu v kravském mléce v tuzemsku se zabývala Hejtmánková et al. (2006). Tato studie byla prováděna na 7 farmách v severních a středních Čechách v letech 2000–2001. Jako letní období byly určeny měsíce duben až září a jako zimní období měsíce říjen až březen. Studie taktéž potvrdily vyšší obsah jodu v mléce v zimním období ($251 \pm 110 \mu\text{g}/\text{kg}$). Vyšší obsah jodu v mléce během zimního období může být vysvětlován vyšší suplementací jodu pomocí jodových doplňků (Crnkic et al. 2015).

Geografické vlivy

Geografické umístění je jeden z dalších faktorů, které může ovlivnit obsah jodu v mléce. Tento faktor zkoumala studie Haug et al. (2012), která se zabývala obsahem jodu v mléce napříč Norskem. Farmy byly rozdělené do kategorií dle polohy, a to vnitrozemí či pobřeží a také dle regionů, a to na jih, sever, východ, západ a střed. Výsledky studie ukázaly, že mezi vnitrozemím a pobřežím nebyl významný rozdíl, ale rozdíly v rámci regionů byly značné. Nejvyšší průměrný obsah jodu v mléce byl naměřen na severu Norska, a to $139 \mu\text{g}/\text{l}$. Naproti tomu nejnižší obsah jodu v mléce byl naměřen na východě Norska, a to $89 \mu\text{g}/\text{l}$. Na jihu Norska se obsah jodu v mléce pohyboval v průměru $92 \mu\text{g}/\text{l}$ a ve středu a na západě Norska to bylo $107 \mu\text{g}/\text{l}$. Rozdílnost koncentrace jodu v mléce napříč Norskem mohla být způsobena rozdílnou krmnou dávkou v rámci farem, taktéž mohla být způsobena vzdáleností zkrmovaných rostlin od pobřeží, kdy rostliny na pobřeží obsahují vyšší množství jodu než ty ve vnitrozemí. I obsah jodu v půdě může mít za následek rozdílnou koncentraci jodu v mléce. Půda z pobřežních oblastí, která je bohatá na organické látky, má vyšší koncentraci jodu než půda ve vnitrozemí.

Velikost farmy

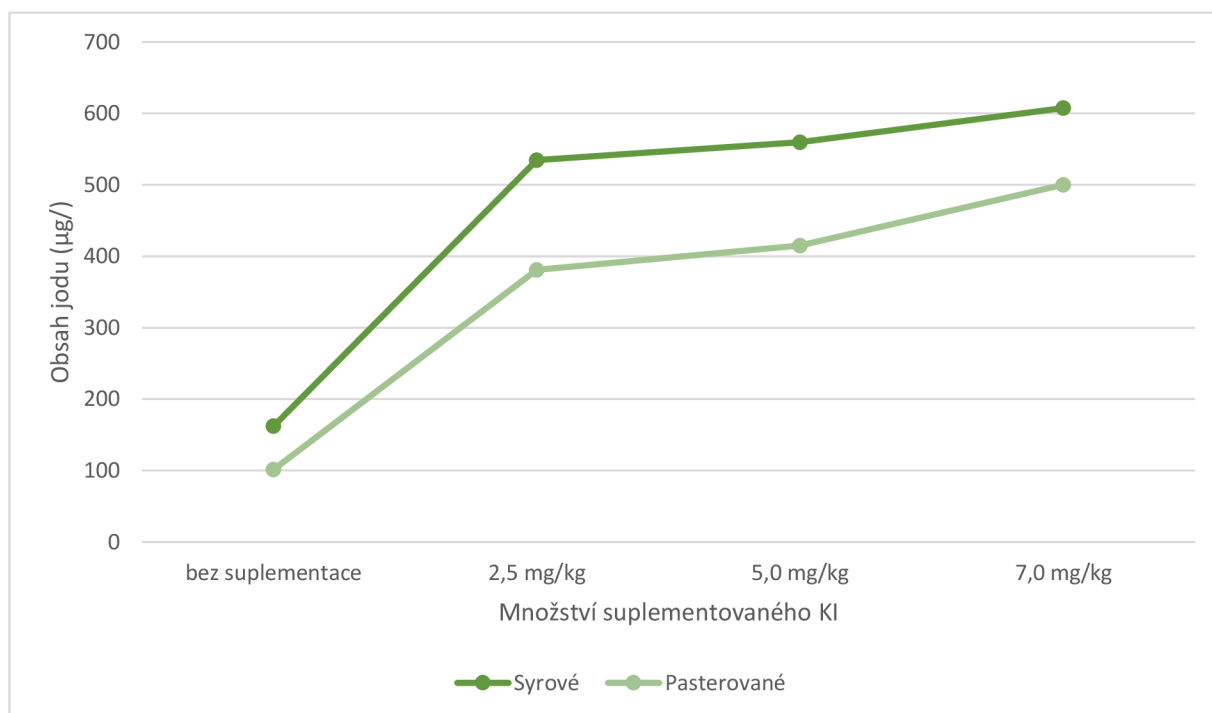
Studii zaměřenou na vliv velikosti farmy na obsah jodu v mléce prováděli Vorlová et al. (2014) na 19 farmách v různých regionech České republiky. Farmy byly rozděleny dle počtu dojnic na malé (15–90 dojnic), střední (180–407 dojnic) a velké (495–710 dojnic). Ve studii byl zjištěn obsah jodu na malých farmách $116,76 \pm 46,29 \mu\text{g}/\text{l}$, na středních farmách $112,92 \pm 94,74 \mu\text{g}/\text{l}$ a na velkých farmách $173,70 \pm 35,42 \mu\text{g}/\text{l}$. Z výsledků je patrný nejvyšší obsah jodu v mléce na velkých farmách a nejnižší obsah jodu na středních farmách, kde ale byla vysoká variabilita v obsahu jodu. Ze studie je tedy zřejmá závislost obsahu jodu v mléce na velikosti farmy.

Fáze laktace

Obsah jodu v mléce může být ovlivněn taktéž fází laktace. Tímto faktorem se zabývala studie Niero et al. (2020), která byla prováděna na farmě v Itálii s holštýnsko-fríským skotem, kde se dojnice nacházely v různé fázi laktace. Výsledky studie ukázaly, že obsah jodu v mléce byl na začátku laktace nízký, a to 95,57 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Následně se mezi 51 a 100 dnem laktace obsah jodu v mléce významně zvýšil na 180,67 $\mu\text{g}/\text{kg}$, od 101 dne laktace se obsah jodu již tolik nezvyšoval a udržoval se v rozmezí od 155,18 do 217,20 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Tepelné ošetření

Pasterace je jedním z nejdůležitějších kroků v průběhu zpracování mléka (Flachowsky et al. 2014). V několika studiích byly zachyceny změny obsahu jodu v mléce po tepelném ošetření, a to nejen po pasteraci, ale také po sprejovém či válcovém sušení. Tyto změny lze vysvětlit formou, ve které se jod v mléce nachází. V mléce se z 90 % nachází jod v anorganické a volné formě, takto vysoké množství volné formy jodu a jeho sublimační charakter může vést ke snižování koncentrace jodu v mléce během tepelného ošetření (Norouzian 2011). Vlivem tepelného ošetření mléka na obsah jodu v mléce se zabýval Norouzian (2011). K tepelnému ošetření mléka ve studii byla využita šetrná pasterace. Dojnice byly rozděleny do 4 skupin, a to na dojnice bez suplementace jodidu draselného (KI), které měly obsah jodu v základní krmné dávce 0,534 mg/kg a na dojnice se suplementací 2,5; 5,0; a 7,5 mg KI/kg. Koncentrace jodu v syrovém mléce těchto skupin byla 162,2 $\mu\text{g}/\text{l}$; 534,5 $\mu\text{g}/\text{l}$; 559,8 $\mu\text{g}/\text{l}$ a 607,5 $\mu\text{g}/\text{l}$. Po tepelném ošetření došlo k významnému poklesu koncentrace jodu v mléce na tyto hodnoty: 101,4 $\mu\text{g}/\text{l}$; 381,2 $\mu\text{g}/\text{l}$; 415,2 $\mu\text{g}/\text{l}$ a 500,2 $\mu\text{g}/\text{l}$ (**Obrázek 7**). Z výsledku je patrný pokles obsahu jodu v mléce v průměru o 27,4 %.



Obrázek 7 Změna obsahu jodu v mléce po tepelném ošetření (Zdroj: Norouzian 2011, upraveno autorem)

Vlivem sterilace se zabývali ve své studii Nazeri et al. (2015), kteří prováděli UHT záhřev vzorků mléka. Ve studii bylo zjištěno, že UHT sterilace nesnižuje obsah jodu v mléce, ale zvyšuje ho. Průměrný obsah jodu v syrovém mléce byl před záhřevem $309,4 \pm 100,57 \mu\text{g/l}$, zatímco obsah jodu v mléce po UHT sterilace byl $327,10 \pm 100,7 \mu\text{g/l}$. Vyšší obsah jodu v mléce po sterilaci může být částečně vysvětlen kondenzací a snížením objemu mléka v důsledku vysokých teplot použitých při sterilaci ve srovnání s pasterací. Starší studie Aumont et al. (1987) uvádí, že pasterace, UHT sterilace ani sprejové sušení mléka nemají vliv na obsah jodu v mléce.

4 Metodika

Obsah jodu v mléce byl stanoven pomocí spektrofotometrické metody založené na Sandell-Kolthoffově reakci. Taktéž všechny vzorky byly proměřeny na přístroji MilkoScan FT120, kde byly sledovány hodnoty obsahu tuku, bílkovin, kaseinu, laktózy, tukuprosté sušiny a celkové sušiny. Získaná data byla následně statisticky zpracována v příslušném statistickém programu.

4.1 Odběr vzorků

V rámci této práce bylo analyzováno 140 vzorků kravského mléka z 5 farem. Dvě farmy provozovaly mlékomat, ze kterého rovněž byly odebírány vzorky mléka. Vzorky mléka byly odebírány v období od srpna 2022 do ledna 2023 na farmách v Ústeckém, Středočeském, Plzeňském, Pardubickém kraji a v kraji Vysočina.

Do experimentu byly zařazeny následující farmy:

- **Farma 1:** Typ chovu ekologický; používání pre-dip bez jodu a post-dip s jodem; KD – zelené krmení (trvalý travní porost a vojtěška), šrot, vápenec, sůl, minerální doplněk pro ekologických chov.
- **Farma 2:** Typ chovu konvenční; používaný pre-dip i post-dip bez jodu; KD – kukuřičná a hrachová siláž, travní a vojtěšková senáž, pivovarské mláto, směs.
- **Farma 3:** Typ chovu konvenční; používaný pre-dip i post-dip s jodem; KD – kukuřičná siláž, jetelotravní senáž, pivovarské mláto, melasa, pšenice, ječmen, kukuřičné vločky, sójový extrahovaný šrot, řepkový extrahovaný šrot, cukrovarské řízky suché, minerální krmivo, soda, sůl, kvasinky.
- **Farma 4:** Typ chovu konvenční; pre-dip i post-dip bez jodu; KD – vojtěšková senáž, kukuřičná siláž, melasa, otruby, řepkový šrot, drcené kukuřičné zrno, doplňková krmná směs.
- **Farma 5:** Typ chovu konvenční; pre-dip i post-dip bez jodu; KD – vojtěšková senáž, kukuřičná siláž, seno, sláma, jádro, minerály, mláto.
- **Mlékomat:** Farma 4 – Mléko pasterováno, dezinfekce mlékomatu bez jodu.
- **Mlékomat:** Farma 5 – Mléko syrové, dezinfekce mlékomatu bez jodu.

Bazénové vzorky mléka i vzorky mléka z mlékomatu byly odebírány do sterilních zkumavek a při převozu do laboratoře na České zemědělské univerzitě byly vzorky uchovány v chladicím boxu. Než byla provedena samotná analýza, byly vzorky mléka uschovány při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2 Stanovení jodu v mléce

V Sandell–Kolthoffově reakci jod vystupuje jako katalyzátor redoxního děje mezi Ce^{4+} a As^{3+} . Množství jodu se stanovuje nepřímo, kdy se redukcí ceričitých iontů kvantifikuje pomocí spektrofotometrického měření zbarvení. Před vlastním stanovením jodu se provádí

alkalická mineralizace s použitím hydroxidu draselného, během mineralizace se oxidují všechny formy jodu na kyselinu jodičnou. Stanovení začíná redukcí kyseliny jodičné na jodid, který má katalytickou aktivitu mezi arsenitanovými a ceričitými ionty.

4.2.1 Chemikálie

- **Hydroxid draselný** (4M – 22,44 g KOH se rozpustí v destilované vodě a doplní se na objem 100 ml; 1M – 12,5 ml 4M KOH se odpipetuje a doplní se na objem 50 ml destilovanou vodou; Lach–Ner)
- **Kyselina octová 0,3%** (0,3 ml kyseliny octové se odpipetuje a doplní se na objem 100 ml destilovanou vodou; VWR)
- **Jodid draselný** (zásobní roztok 1000 µg/ml – 130,8 mg jodidu draselného se doplní na objem 100 ml destilovanou vodou; pracovní roztok I s obsahem jodidu draselného 5 µg/ml – 0,5 ml zásobního roztoku se odpipetuje a doplní se na objem 100 ml destilovanou vodou; pracovní roztok II s obsahem jodidu draselného 50 ng/ml – 0,5 ml pracovního roztoku I se odpipetuje a doplní na objem 100 ml destilovanou vodou; VWR)
- **Síran ceričitý 0,32%** (160 mg síranu ceričitého se rozpustí v destilované vodě, přidá se 2,5 ml koncentrované kyseliny sírové a doplní se na objem 50 ml destilovanou vodou; Merck)
- **Arsenitanový roztok** (složka A – 2 g oxidu arsenitého se rozpustí v hydroxidu sodném a doplní se na objem 25 ml destilovanou vodou; složka B – 1,5 g chloridu sodného se rozpustí v destilované vodě a doplní se na objem 100 ml destilovanou vodou; složka C – 37,5 g koncentrované kyseliny sírové se zředí 250 ml destilované vody; tyto tři složky se převedou do jedné odměrné baňky a doplní se na objem 500 ml destilovanou vodou; Merck)
- **Brucin** (125 mg soli se rozpustí v 0,3% kyselině octové a doplní se do 25 ml; Merck)

4.2.2 Použité přístroje

- MilkoScan FT120 (Foss, Dánsko)
- Vodní lázeň (STROJOBAL, Česká republika)
- Ultrasonic Cleaner USC–T (VWR International, USA)
- Muflová pec (Termolab, Česká republika)
- Horkovzdušná sušárna (Memmert, Německo)
- Spektrofotometr Helios Epsilon (Thermo Spectronic, USA)
- Analytická váha (A&D, Japonsko)

4.2.3 Použité laboratorní pomůcky

- Automatické pipety
- Odměrné kádinky
- Nálevky
- Zkumavky
- Žíhací kelímky
- Filtrační papíry

4.2.4 Příprava vzorků

Jednotlivé vzorky kravského mléka byly napipetovány (1 ml) do připravených porcelánových kelímků a přidal se 1 ml 4M hydroxidu draselného. Takto připravené vzorky byly vloženy do sušárny, kde se sušily 3 h při 65 °C, poté 17 h při 105 °C a následně se teplota zvýšila po dobu 30 min na 150 °C. Po uplynutí doby se vzorky přenesly do muflové pece, kde se vzorky spalovaly 1 h při 600 °C (**Obrázek 8**).



Obrázek 8 Vzorky kravského mléka po spalování

4.2.5 Postup stanovení

Po vychladnutí se k popelu přidalo 10 ml destilované vody a vzorky se vložily do ultrazvukové lázně, kde se ponechaly 5 min pro uvolnění popela, následně se vzorky zfiltrovaly přes filtrační papír. Část (125 μ l) zfiltrovaných vzorků se napipetovalo do připravených zkumavek spolu s 875 μ l destilované vody, 1 ml arsenitanového roztoku a 1 ml ceričité soli.

Následně se zkumavky vložily do vodní lázně o teplotě 50 °C na 30 min. Pro ukončení reakce se do každé zkumavky, po uplynutí této doby, přidalo 250 µl brucinu. Po uplynutí 5 minut se proměřila absorbance vzorků na spektrofotometru při vlnové délce 420 nm proti nulovacímu roztoku destilované vody.

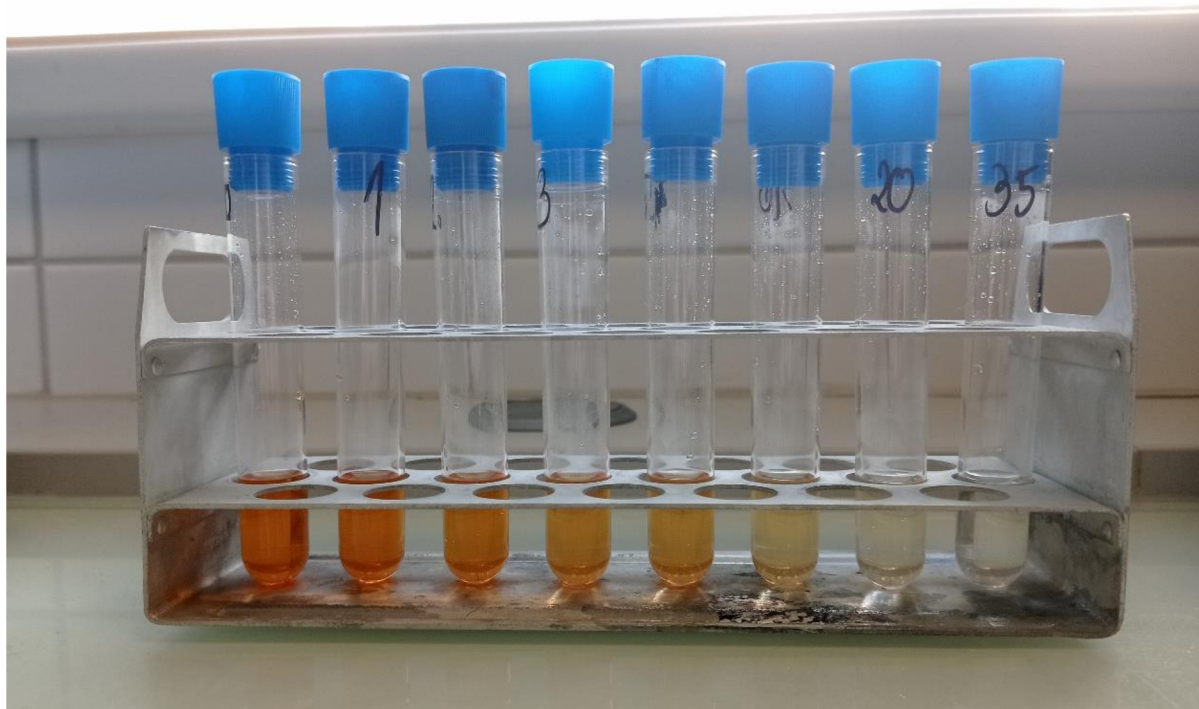
Pro validaci metody se spolu se stanovováním vzorků připravoval referenční materiál (ERM–BD150 Skimmed milk powder), který byl připravován stejným způsobem jako vzorky kravského mléka.

4.2.6 Vyhodnocení

Pro výpočet obsahu jodu v kravském mléce se spolu stanovováním vzorků mléka připravila kalibrační řada. Kalibrační vzorky se připavily do 25 ml odměrných baněk, kam se odpipetovalo dané množství pracovního roztoku II jodidu draselného (**Tabulka 4**), přidalo se 0,25 ml 4M hydroxidu draselného a doplnilo se po rysku destilovanou vodou (**Obrázek 9**).

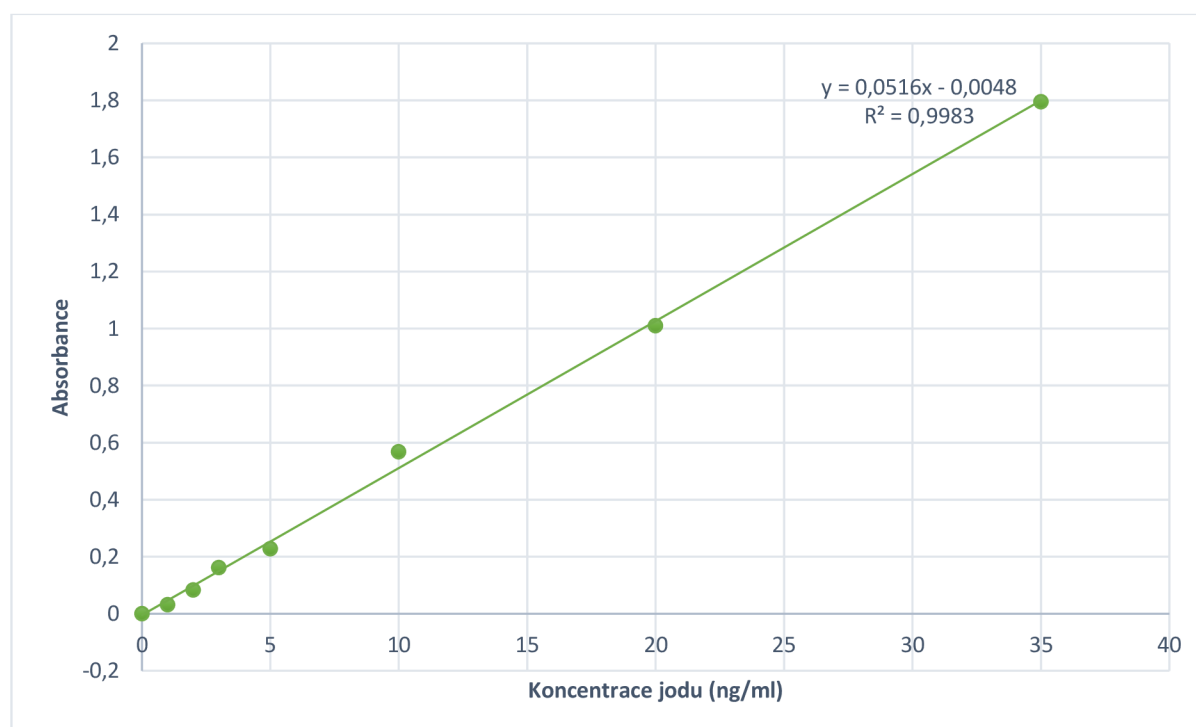
Tabulka 4 Kalibrační řada pro stanovení obsahu jodu v mléce

Vzorek	Koncentrace jodu (ng/ml)	Objem pracovního roztoku II jodidu draselného (ml)
1	0	0
2	1	0,5
3	2	1
4	3	1,5
5	5	2,5
6	10	5
7	20	10
8	35	17,5



Obrázek 9 Kalibrační řada

Z výsledných hodnot absorpance kalibrační řady byl vytvořen graf s lineární funkcí (**Obrázek 10**), který byl zapotřebí pro stanovení obsahu jodu v mléce.



Obrázek 10 Graf s lineární funkcí

Výsledná data byla statisticky zpracována ve statistických programech SPSS 27.0 (SPSS, Inc.) a Statistica 12.0 (StatSoft, Inc.). Jako statistické metody byly využity t-test, jednofaktorová ANOVA a neparametrický Mann-Whitney U test. Použitá statistická šetření, jejichž výsledkem

je p hodnota, tedy míra rozdílnosti, udává dva výsledky. Pokud je p hodnota vyšší než zvolená hladina významnosti (0,05), jedná se o výsledky, mezi kterými není statisticky významná rozdílnost. Pokud je p hodnota nižší než zvolená hladina významnosti (0,05), jedná se o výsledky, mezi kterými je statisticky významná rozdílnost.

5 Výsledky

5.1 Složení mléka

Jako součást analýzy obsahu jodu ve vzorcích kravského mléka byla zahrnuta i analýza vzorků pomocí přístroje MilkoScan FT120. Průměrné hodnoty sledovaných složek, které byly vytvořeny z analýzy 20 vzorků, jsou shrnuty v **Tabulce 5**.

Tabulka 5 Sledované složky vzorků mlék pomocí přístroje MilkoScan FT120

Farma	Tuk (%)	Bílkoviny (%)	Kasein (%)	Laktóza (%)	Tukuprostá sušina (%)	Celková sušina (%)
Farma 1	4,14	3,19	2,46	4,83	8,73	12,81
Farma 2	3,78	3,68	2,94	4,94	9,45	13,09
Farma 3	3,99	3,42	2,72	4,98	9,23	13,05
Farma 4	4,04	3,45	2,74	4,96	9,23	13,13
Farma 5	4,01	3,33	2,57	4,79	8,98	12,81
Farma 4 Mlékomat	3,57	3,39	2,66	4,92	9,08	12,72
Farma 5 Mlékomat	3,91	3,41	2,65	4,83	9,10	12,70

Z uvedených hodnot obsahu tuku je patrný nejvyšší obsah tuku ve vzorcích z Farmy 1, tedy z ekologického chovu, a to 4,14 %. Při porovnání pouze konvenčních farem obsahují nejvíce tuku vzorky z Farmy 4, které obsahovaly 4,04 %. Při porovnání obsahu bílkovin ve vzorcích je patrné, že nejnížší množství bílkovin obsahovalo mléko z ekologického chovu 3,19 %, s tím souvisí i nejnížší obsah kaseinu, který byl v tomto mléce 2,46 %. Laktóza v mléce je ve všech vzorcích téměř srovnatelná. Tukuprostá sušina v mléce je nejvíce variabilní složkou, rozdíl mezi nejnížším (8,73 %) a nejvyšším (9,45 %) obsahem je téměř 1 %. Celková sušina ve vzorcích mléka se pohybuje u všech farem okolo 13 %.

Pokud porovnáme vzorky mléka z Farmy 4 a jejího mlékomatu, kam bylo dodáváno mléko tepelně ošetřené, jsou všechny sledované hodnoty nižší ve vzorcích mléka právě z mlékomatu. Pokud se podíváme na obsah jednotlivých složek z Farmy 5 a jejího mlékomatu, jsou všechny sledované složky téměř shodné, a to z důvodu, že mlékomat obsahoval taktéž syrové mléko stejně jako bazénové vzorky z dané farmy.

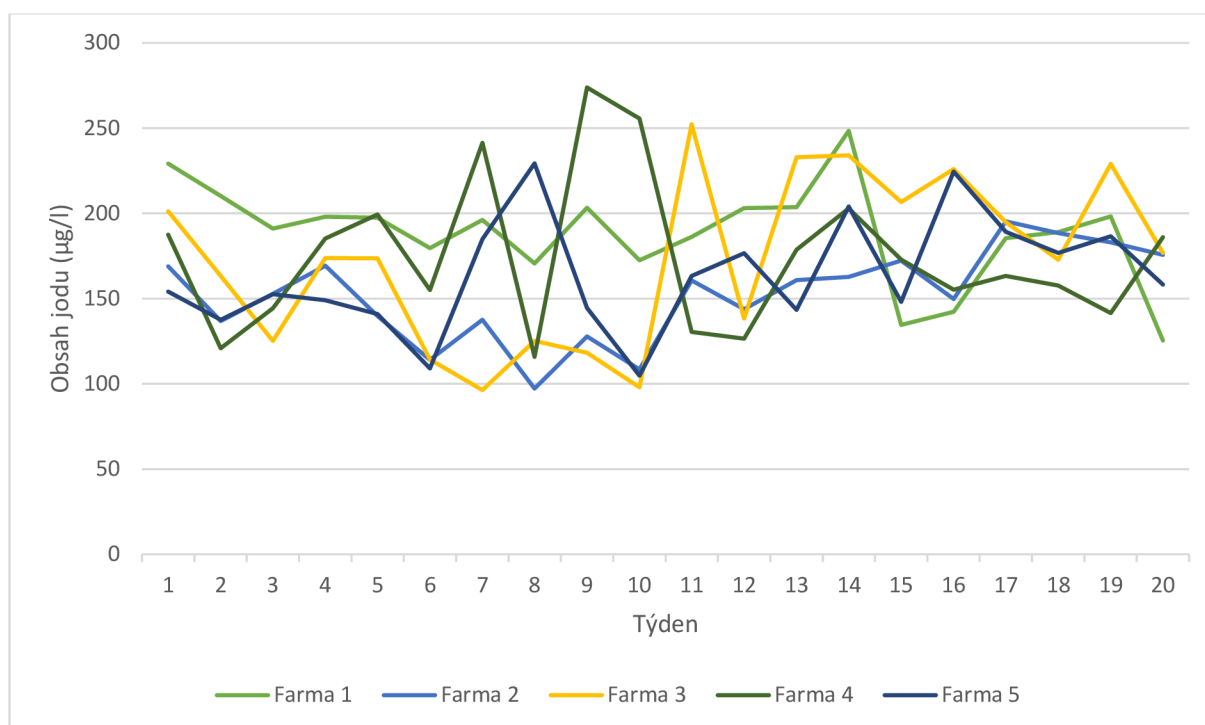
5.2 Obsah jodu v mléce

Obsah jodu v mléce byl na všech farmách sledován v týdenním intervalu, jak je patrné z **Tabulky 6**.

Tabulka 6 Obsah jodu v kravském mléce ze sledovaných farem ($\mu\text{g/l}$)

Týden	Farma 1	Farma 2	Farma 3	Farma 4	Farma 5	Farma 4 Mlékomat	Farma 5 Mlékomat
1	229,24	168,83	201,16	187,43	154,02	200,99	137,57
2	210,14	136,88	163,33	120,83	137,49	138,54	144,64
3	191,11	152,68	125,23	144,35	152,57	130,22	149,27
4	197,93	169,20	173,88	185,20	149,10	175,58	162,64
5	197,46	139,80	173,61	199,32	140,89	197,52	209,35
6	179,64	114,10	114,31	155,06	109,13	172,08	98,13
7	196,06	137,61	96,32	241,26	184,94	274,38	216,47
8	170,65	97,22	125,27	115,85	229,30	120,62	253,04
9	203,33	127,86	118,25	273,83	144,52	266,89	133,10
10	172,56	108,42	98,06	255,55	104,80	256,96	102,93
11	186,22	160,66	252,26	130,39	163,19	148,63	172,79
12	203,14	143,70	138,35	126,51	176,60	117,43	196,55
13	203,66	160,91	232,86	178,61	143,47	174,43	166,99
14	248,39	162,77	234,09	202,88	204,07	204,17	227,69
15	134,54	172,38	206,64	172,85	148,08	184,10	152,83
16	142,19	149,78	225,98	155,23	224,50	165,22	234,09
17	185,40	195,29	194,88	163,34	189,11	173,76	209,46
18	188,92	188,37	172,94	157,60	176,76	163,53	166,06
19	198,12	183,06	229,04	141,51	186,64	184,70	183,25
20	125,38	175,75	176,86	185,93	158,16	191,57	171,16
\bar{x}	188,20	152,26	172,67	174,68	163,87	182,07	174,40
Min	125,38	97,22	96,32	115,85	104,80	117,43	98,13
Max	248,39	195,29	252,26	273,83	229,30	274,38	253,04
Sd	29,39	26,72	49,07	43,81	33,03	44,17	42,07
Vk (%)	15,62	17,55	28,42	25,08	20,16	24,26	24,12

Nejvyšší průměrný obsah jodu v mléce byl naměřen na ekologické farmě ($188,20 \pm 29,39 \mu\text{g/l}$), naproti tomu nejnižší průměrný obsah jodu v mléce byl naměřen na Farmě 2 ($152,26 \pm 26,72 \mu\text{g/l}$). Rozdíl mezi farmami s nejnižším a nejvyšším obsahem jodu v kravském mléce byl $35,94 \mu\text{g/l}$. Minimální obsah jodu v mléce byl $96,32 \mu\text{g/l}$ naproti tomu maximální obsah jodu v mléce byl $274,38 \mu\text{g/l}$. Nejvyšší variabilitu vykazovaly vzorky mléka z Farmy 3, a to $28,42 \%$. Variabilitu jodu v bazénových vzorcích lze pozorovat na grafu vyobrazeném na **Obrázku 11**.



Obrázek 11 Obsah jodu v bazénových vzorcích (µg/l)

5.3 Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami a ekologickou farmou

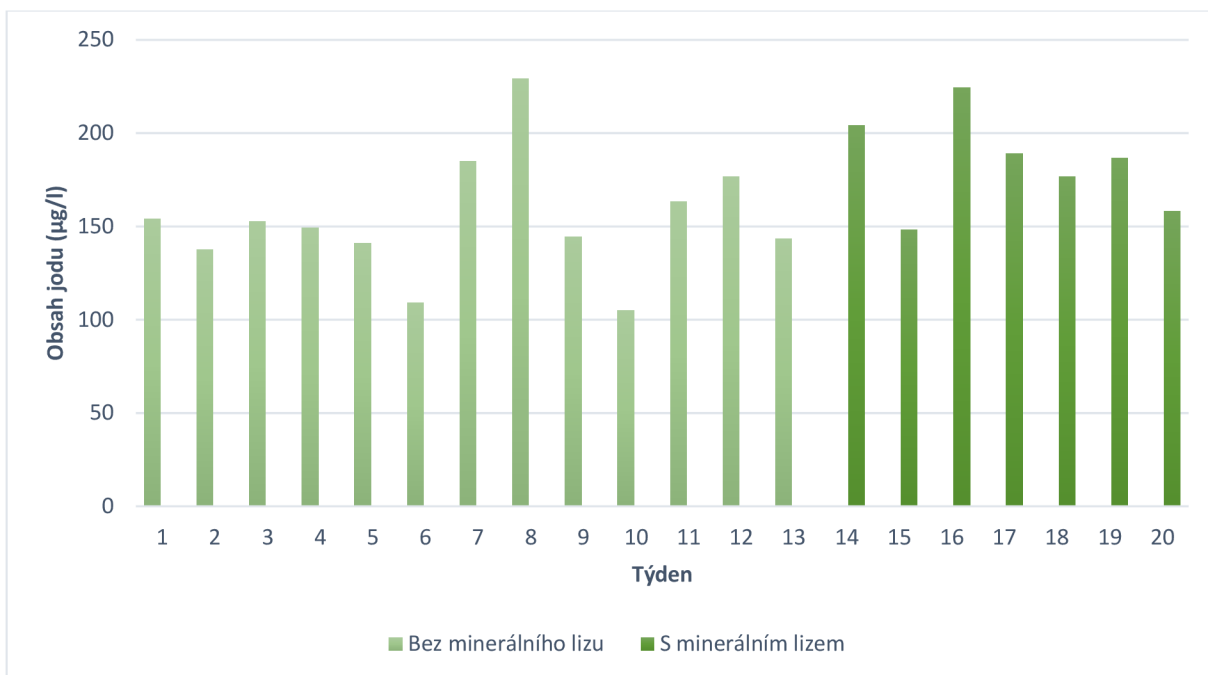
V **Tabulce 7** je patrný průměrný obsah jodu v bazénových vzorcích mléka z konvenčních chovů a z ekologického chovu. Průměrný obsah jodu v bazénových vzorcích mlék z konvenčních chovů byl $165,87 \pm 39,42$ µg/l a průměrný obsah jodu v bazénových vzorcích mléka z ekologického chovu byl $188,20 \pm 29,39$ µg/l. Dle p hodnoty 0,020 lze říct, že mezi obsahem jodu v mléce z konvenčního a ekologického chovem existuje statisticky významný rozdíl.

Tabulka 7 Obsah jodu v mléce v rámci konvenčního a ekologického chovu (µg/l)

Typ chovu	Průměr	Sd	P hodnota
Konvenční chov	165,87	39,42	0,020
Ekologický chov	188,20	29,39	0,008

5.4 Vliv přidání minerálních lizů ke KD na obsah jodu v mléce

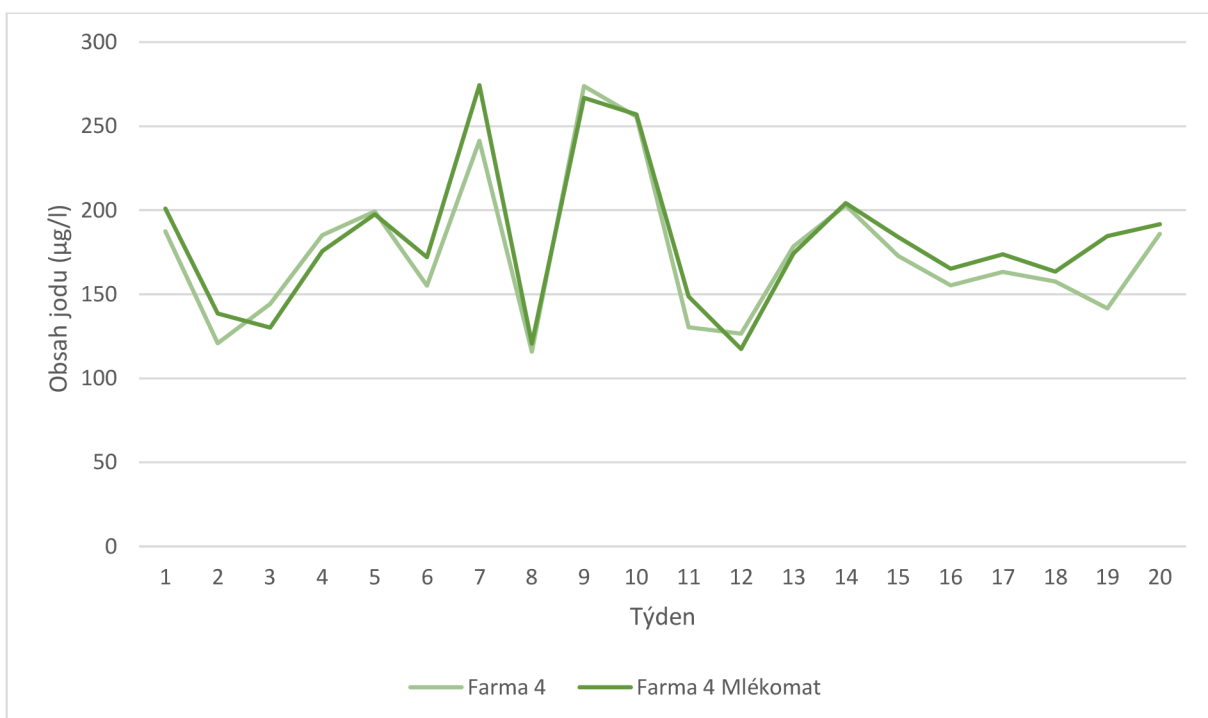
Byl sledován parametr přidání minerálních lizů ke krmné dávce na Farmě 5. Obsah jodu v mléce v době, kdy minerální lizy nebyly dojnícím poskytnuty, byl $153,08 \pm 32,04$ µg/l. Zatímco obsah jodu v mléce od 14. týdne, kdy byly poskytnuty dojnícím minerální lizy, byl $183,90 \pm 26,10$ µg/l. Statistickým testem byl prokázán významný rozdíl ($p = 0,024$) mezi obsahem jodu v mléce při poskytnutí minerálních lizů dojnícím a při jejich neposkytnutí. Grafické znázornění obsahu jodu bez a s poskytnutím minerálních lizů lze vidět na **Obrázku 12**.



Obrázek 12 Obsah jodu v mléce bez a s poskytnutím minerálních lizů dojnicím

5.5 Rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu

Rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka odebranými z mlékomatu na Farmě 4 byl statisticky testován se zjištěným výsledkem p hodnoty 0,032. Z tohoto výsledku je patrné, že existuje statisticky významná rozdílnost mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka odebranými z mlékomatu. Je nutné podotknout, že mléko odebrané z mlékomatu bylo tepelně ošetřeno, konkrétně šetrnou pasterací (**Obrázek 13**).



Obrázek 13 Rozdíl v obsahu jodu mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu u Farmy 4

Mezi vzorky mléka z Farmy 5 a vzorky mléka z jejího mlékomat, kam se dodávalo mléko bez tepelného ošetření, nebyl shledán statisticky významný rozdíl ($p = 0,300$). Obsah jodu v mléce z bazénového vzorku byl $163,87 \pm 33,03 \mu\text{g/l}$ a obsah jodu ze vzorku mléka z mlékomatu byl $174,40 \pm 42,07 \mu\text{g/l}$.

5.6 Rozdíl v obsahu jodu v závislosti na použité dezinfekci

Byl sledován rozdíl v obsahu jodu v mléce v závislosti na použitém typu dezinfekce (**Tabulka 8**). Sledován byl rozdíl v použití nejodového a jodového pre-dipu a nejodového a jodového post-dipu. Mezi obsahem jodu v mléce s použitím nejodového a jodového pre-dipu nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ($p = 0,805$). Zatímco při porovnání obsahu jodu v mléce s použitím nejodového a jodového post-dipu byl shledán statisticky významný rozdíl ($p = 0,037$).

Tabulka 8 Obsah jodu v mléce dle typu použité dezinfekce ($\mu\text{g/l}$)

Typ dezinfekce	Průměr	Sd	p hodnota
Nejodová Pre-dip	169,75	35,81	0,805
Jodová Pre-dip	172,67	49,10	
Nejodová Post-dip	163,60	35,84	0,037
Jodová Post-dip	180,43	40,70	

5.7 Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami

Nebyl prokázán statisticky signifikantní rozdíl v obsahu jodu v mléce v rámci konvenčních farem, které používaly nejodovou dezinfekci. K tomuto testování byla použita jednofaktorová ANOVA, jejímž výsledkem byla p hodnota 0,142.

6 Diskuze

6.1 Složení mléka

Analýza základních složek vzorků mléka zahrnutých do této diplomové práce byla zaměřena na obsah tuku, bílkovin, kaseinu, laktózy, tukuprosté sušiny a celkové sušiny v mléce. Při porovnání výsledků této práce v rámci obsahu tuku, bílkovin a laktózy s výsledky El-Hag et al. (2014), kdy byl obsah tuku 3,9 %; bílkovin 3,7 %; laktózy 4,8 %, lze říct, že se hodnoty námi zkoumaných složek vzorků mléka v této práci pohybovaly kolem totožných hodnot, kromě bílkovin, které u vzorků analyzovaných v této práci byly nižší. Mansour et al. (2012) uvádí obsah celkové sušiny 12,4 % a tukuprosté sušiny 8,8 %, což jsou hodnoty nižší než hodnoty zjištěné touto prací. I přestože byly u některých složek zaznamenány nižší hodnoty, bylo možné vzorky zahrnout do experimentu, a to z toho důvodu, že i vzorky mléka stejného druhu mohou vykazovat vysokou složkovou variabilitu (Roy et al. 2020). Co se týče nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 1308/2013, lze konstatovat, že obsah tuku a bílkovin je v souladu s parametry, které toto nařízení udává.

6.2 Obsah jodu v mléce

Nejen základní složky mléka, ale také minerální látky jsou ovlivněny řadou faktorů. Konkrétně jod je ovlivněn například výživou, dezinfekčními prostředky, typem chovu, tepelným ošetřením aj. (Mikláš et al. 2021). Výsledky této práce rovněž potvrzují vliv různých faktorů na obsah jodu v mléce. Obsah jodu analyzovaných vzorků mléka se pohyboval v rozmezí 96,32–274,38 $\mu\text{g/l}$. Značnou variabilitu potvrzuje i studie Trávníček et al. (2006), kdy se obsah jodu v mléce pohyboval v rozmezí 68,6–1006,6 $\mu\text{g/l}$. Nejen tuzemské ale i zahraniční studie potvrzují vysokou variabilitu jodu v mléce. Ve studii Sakai et al. (2022) detekovali obsah jodu v mléce v rozmezí 71,37–1928,91 $\mu\text{g/l}$.

Při porovnání variability obsahu jodu v mléce v této práci vykazují konvenční farmy vyšší variabilitu v obsahu jodu v mléce než farma ekologická. Tento fakt nepotvrzuje ve své studii Hanuš et al. (2021), kde vyšší variabilitu vykazovalo mléko z ekologického chovu (66,7 %) narozdíl od mléka z konvenčního chovu, kde byla nižší variabilita (22,5 %). Vyšší variabilita obsahu jodu v mléce u námi sledovaných konvenčních farem naproti ekologické farmě mohla být způsobena sledováním pouze jedné ekologické farmy na rozdíl od uváděné studie, kdy byla sledována variabilita obsahu jodu v mléce na více ekologických farmách.

6.3 Rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami a ekologickou farmou

Co se týká vlivu typu chovu na obsah jodu v mléce, tak se výsledky této práce neshodují s výsledky jiných analýz. Experiment této diplomové práce potvrdil rozdíl v obsahu jodu mezi konvenčními farmami a ekologickou farmou. Přičemž na konvenčních farmách byl detekován nižší obsah jodu v mléce než na ekologické farmě. V dříve publikovaných studiích tomu bylo naopak. Obsah jodu v mléce z konvenčních farem vykazoval vyšší hodnoty než obsah jodu

v mléce z ekologických farem. Toto tvrzení potvrzuje i studie Klimešová et al. (2021) , kdy obsah jodu v mléce z konvenčních farem byl $132,6 \pm 56,4 \mu\text{g/l}$, naproti tomu obsah jodu v mléce z ekologických farem byl $115,3 \pm 66,8 \mu\text{g/l}$. I další studie potvrzují, že obsah jodu v mléce z konvenčních farem se pohybuje ve vyšších hodnotách než obsah jodu v mléce z ekologických farem (Bath et al. 2012; Stevenson et al. 2018; Sakai et al. 2022). Vyšší obsah jodu v mléce z ekologického chovu oproti obsahu jodu v mléce z konvenčních chovů může být zapříčiněn rozdílnou krmnou dávkou, vyšším množstvím použité doplňkové minerální směsi či použitím odlišné dezinfekce po dojení.

6.4 Vliv přidání minerálních lizů ke KD na obsah jodu v mléce

V rámci této práce bylo možné na jedné z farem sledovat vliv přidání minerálních lizů ke krmné dávce dojníc, kdy byly minerální lizy přidány dojnícím ke krmné dávce v průběhu odebírání vzorků k analýze. Výsledky této práce potvrzují zvýšení obsahu jodu v mléce po přidání minerálních lizů ke krmné dávce dojníc. Tento faktor sledovali ve své studii i Śliwiński et al. (2015), kteří potvrdili obdobné výsledky. V jejich studii byly dojnícím poskytnuty minerální lizy s obsahem jodu 150 mg l/kg a 300 mg l/kg . Minerální lizy s obsahem jodu 150 mg l/kg zvýšily obsah jodu v mléce o $11,2 \mu\text{g/l}$ a minerální lizy s obsahem jodu 300 mg l/kg zvýšily obsah jodu v mléce o $30,9 \mu\text{g/l}$. Tento fakt potvrzuje také Trávníček & Kurša (2001) ve své studii, která se ale zabývala kozím a ovčím mlékem nikoliv kravským. Přes druhovou odlišnost se obsah jodu v mléce po poskytnutí minerálních lizů zvýšil naproti obsahu jodu v mléce bez poskytnutí minerálních lizů. Z výsledků této diplomové práce a dalších uváděných studií je patrné, že poskytnutí minerálních lizů ke krmné dávce dojníc je důležitým faktorem nejen pro obsah jodu v mléce, ale také pro správný metabolismus dojníc, který ovlivňuje produkční a reprodukční ukazatele.

6.5 Rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu

Statisticky významný rozdíl byl rovněž potvrzen mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka z mlékomatu. Obsah jodu v mléce po šetrné pasteraci byl vyšší než obsah jodu v syrovém mléce. Naproti tomu studie Norouzian (2011) poukazuje na nižší obsah jodu v mléce po šetrné pasteraci při porovnání se syrovým mlékem. Obsah jodu v mléce po pasteraci byl $101,4 \mu\text{g/l}$ na rozdíl od obsahu jodu v syrovém mléce, který byl $162,2 \mu\text{g/l}$. Tento fakt ale nepotvrzuje O'Kane et al. (2018), který zjistil že mezi pasterovaným a syrovým mlékem, není statisticky významný rozdíl ($p = 0,275$). Obsah jodu v mléce po pasteraci byl $475,9 \pm 63,5 \mu\text{g/l}$ naproti tomu obsah jodu v mléce před pasterací byl $451,7 \pm 71,9 \mu\text{g/l}$. Jelikož každá studie poukazuje na odlišné výsledky v obsahu jodu po pasteraci, bylo by vhodné zpracovat další studie zaměřující se na vliv tepelného ošetření na obsah jodu v mléce.

6.6 Rozdíl v obsahu jodu v závislosti na použité dezinfekci

Jedním z nejvýznamnějších faktorů, který se podílí na změně obsahu jodu v mléce, je použití dezinfekce s obsahem jodu při dojení. V této práci bylo zjištěno, že jodový post-dip

zvyšuje obsah jodu v mléce. Vliv použití jodového post-dipu na obsah jodu v mléce potvrdili Śliwiński et al. (2015). V jejich studii byl potvrzen vyšší obsah jodu v mléce po použití post-dipu s obsahem jodu ($59,3 \pm 2,3 \mu\text{g/l}$) než po použití post-dipu bez jodu ($44,0 \pm 1,6 \mu\text{g/l}$). Vzhledem k tomu, že vliv jodového post-dipu na obsah jodu v mléce byl potvrzen, měly by farmy využívající jodový post-dip být více obezřetné při suplementaci jodu do krmné dávky či při poskytování minerálních lizů dojnicím.

7 Závěr

Monitoring obsahu jodu v kravském mléce se ukázal jako podstatná součást úkonů na farmách. Nejen pro svůj následný vliv na lidské zdraví, ale také pro značný vliv na organismus dojnice.

Výsledky této práce bylo potvrzeno, že obsah jodu v mléčných vzorcích může být velmi variabilní, především v důsledku vnějších faktorů. Analýzou vzorků mléka z jedné farmy byl zjištěn rozdíl mezi bazénovými vzorky mléka a vzorky mléka pocházejícího z jejího mlékomatu, které bylo podrobena tepelnému ošetření, konkrétně šetrné pasteraci. Mléko po šetrné pasteraci vykazovalo vyšší obsah jodu než syrové mléko. Dalším z faktorů ovlivňující obsah jodu v mléce bylo použití minerálních lizů v KD dojnic. Po poskytnutí minerálních lizů dojnícím bylo produkováno mléko s vyšším obsahem jodu než bez poskytnutí minerálních lizů. Touto prací bylo taktéž zjištěno, že obsah jodu v mléce může být ovlivněn použitím dezinfekčních prostředků s obsahem jodu. Při porovnání všech farem, bez ohledu na typ chovu, byl zjištěn vyšší obsah jodu v mléce po použití jodových dezinfekčních prostředků po dojení. V neposlední řadě bylo porovnáváno mléko z konvenčních chovů a ekologického chovu. Byl potvrzen rozdílný obsah jodu v mléce při porovnání těchto dvou forem chovu, kdy mléko z ekologického chovu obsahovalo vyšší množství jodu než mléko z konvenčních chovů.

Přestože některé výsledky této práce nejsou ve shodě s výsledky dalších vědeckých studií, mohou poznatky zjištěné během analýzy vzorků mléka posloužit jako podklad pro další výzkum v oblasti faktorů, které ovlivňují obsah jodu v mléce. Právě další výzkum v této oblasti rozšířený o další faktory se jeví jako nezbytný v dané problematice a měl by vést k upřesnění nebo zavedení potřebných opatření na farmách. Protože jod je velmi důležitý prvek nejen v metabolismu lidí ale i v metabolismu dojnic, je důležité neopomenout jeho suplementaci v krmné dávce dojnic, aby se předešlo onemocněním z jeho nedostatku. Avšak i z nadbytečné expozice jodem u dojnic plyne řada onemocnění, a to jak u dojnic, tak u lidí. Proto je pro praxi velmi podstatné průběžné monitorování obsahu jodu.

8 Literatura

- Ahad F, Ganie SA. 2010. Iodine, Iodine metabolism and Iodine deficiency disorders revisited. *Indian journal of endocrinology and metabolism* **14**:13–17.
- Akhmedkhanova R, Dzhambulatov Z, Gadzhaeva Z, Shabanov G, Alieva S. 2020. The influence of chlorella suspension on the quality of milk and its processing products. *E3S Web of Conferences* **222**:1–7.
- Amores G, Virto M. 2019. Total and Free Fatty Acids Analysis in Milk and Dairy Fat. *Separations* **6**:1–22.
- Ann Bock M, Flores N. 2011. *Batters and Breadings in Food Processing*. Elsevier, Amsterdam.
- Aumont G, Le Querrec F, Lamand M, Tressol JC. 1987. Iodine Content of Dairy Milk in France in 1983 and 1984. *Journal of Food Protection* **50**:490–493.
- Bath SC, Button S, Rayman MP. 2012. Iodine concentration of organic and conventional milk: implications for iodine intake. *British Journal of Nutrition* **107**:935–940.
- Borucki Castro SI, Berthiaume R, Robichaud A, Lacasse P. 2012. Effects of iodine intake and teat-dipping practices on milk iodine concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **95**:213–220.
- Borucki Castro SI, Lacasse P, Fouquet A, Beraldin F, Robichaud A, Berthiaume R. 2011. Short communication: Feed iodine concentrations on farms with contrasting levels of iodine in milk. *Journal of Dairy Science* **94**:4684–4689.
- Brodziak A, Wajs J, Zuba-Ciszewska M, Król J, Stobiecka M, Jańczuk A. 2021. Organic versus Conventional Raw Cow Milk as Material for Processing. *Animals* **11**:1–31.
- Bulgari O, Caroli A, Chessa S, Rizzi R, Gigliotti C. 2013. Variation of Vitamin D in Cow's Milk and Interaction with β -Lactoglobulin. *Molecules* **18**:10122–10131.
- Buttriss J. 2003. Milk: Dietary Importance. Pages 3968–3974 in Caballero B, Trugo LC, Finglas PM, editors. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, London.
- Cabral JF, Bánkuti FI, Gurgel ANC, Ítavo, LCV, Sippert MR, Osorio JAC, de Marchini FE, Lourenco JCS, de Almeida KV, Valloto AA, dos Santos GT. 2022. Iodine concentration in milk evaluated by iodized agents during milking. *Food Science and Technology* **42**:1–7.
- Cashman KD. 2011. Milk salts: Macroelements, Nutritional Significance. Pages 925–932 in Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, London.
- Cassan A. 2005. Endokrinní systém. Pages 86–89 in Orlová K, editor. *Anatomie člověka*. Fragment, Havlíčkův Brod.
- Cimmino F, Catapano A, Petrella L, Villano I, Tudisco R, Cavaliere G. 2023. Role of Milk Micronutrients in Human Health. *Frontiers in Bioscience-Landmark* **28**:1–16.
- Cloutier S. 2016. *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier, Amsterdam.
- Crnković Ć, Haldimann M, Hodžić A, Tahirović H. 2015. Seasonal and regional variations of the iodine content in milk from Federation of Bosnia and Herzegovina. *Mljekarstvo* **65**:32–38.
- Dahl L, Opsahl JA, Meltzer HM, Julshamn K. 2003. Iodine concentration in Norwegian milk and dairy products. *British Journal of Nutrition* **90**:679–685.
- de Leo S, Lee SY, Braverman LE. 2016. Hyperthyroidism. *The Lancet* **388**:906–918.
- Djordjevic J, Ledina T, Baltić MZ, Trbović D, Babić M, Bulajić S. 2019. Fatty acid profile of milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **333**:1–6.

- Dodovski P, Pejcinovska N, Angelovska M, Jankulovska-Petkovska M, Hristovska T, Zdraveski I, Karabolovski N, Dameski P, Ristevski M. 2022. IODINE IN DAIRY CATTLE: A review. *Horizons* DOI 10.20544/HORIZONS.B.09.2. P13.
- Doležalová H, Pícha K, Navrátil J, Bezemková A. 2014. Factors That Influence the Selling of Milk Through Milk Vending Machines. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **62**:641–650.
- Dominici S, Marescotti F, Sanmartin C, Macaluso M, Taglieri I, Venturi F, Zinnai A, Facioni MS. 2022. Lactose: Characteristics, Food and Drug-Related Applications, and Its Possible Substitutions in Meeting the Needs of People with Lactose Intolerance. *Foods* **11**:1–18.
- Dvorský J, Urban J. 2014. *Základy ekologického zemědělství. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský*, Brno.
- El-Hag FM, Bushara I, Ahamed MM, Hag Mahmoud KE, Khair MAM, Elbushra OE. 2014. Assessment of Rural Dairy Products in North Kordofan State, Sudan. *Global Journal of Animal Scientific Research* **2**:1–2.
- Espino-Vázquez AN, Rojas-Castro FC, Fajardo-Yamamoto LM. 2022. Implications and Practical Applications of the Chemical Speciation of Iodine in the Biological Context. *Future Pharmacology* **2**:377–414.
- Evropský Parlament a Rada. 2004. Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 853/2004 ze dne 29. dubna 2004, kterým se stanoví zvláštní hygienická pravidla pro potraviny živočišného původu. Pages 55–205 in *Úřední věstník Evropské unie*, Brusel.
- Evropský Parlament a Rada. 2013. Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 1308/2013 ze dne 17. prosince 2013, kterým se stanoví společná organizace trhů se zemědělskými produkty a zrušují nařízení Rady (EHS) č. 922/72, (EHS) č. 234/79, (ES) č. 1037/2001 a (ES) č. 1234/2007. Pages 671–854 in *Úřední věstník Evropské unie*, Brusel.
- Evropský Parlament a Rada. 2005. Nařízení komise (ES) č. 1459/2005 ze dne 8. září 2005, kterým se mění podmínky pro povolení některých doplňkových látek v krmivech, které patří do skupiny stopových prvků. Pages 8–10 in *Úřední věstník Evropské unie*, Brusel.
- Field CJ, Blewett HH, Proctor S, Vine D. 2009. Human health benefits of vaccenic acid. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* **34**:979–991.
- Flachowsky G, Franke K, Meyer U, Leiterer M, Schöne F. 2014. Influencing factors on iodine content of cow milk. *European Journal of Nutrition* **53**:351–365.
- Fox PF. 2011a. Milk: Introduction. Pages 458–466 in Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, London.
- Fox PF. 2011b. Lactose and Oligosaccharides: Lactose: Chemistry, Properties. Pages 173–181 in Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, London.
- French EA, Mukai M, Zurakowski M, Rauch B, Gioia G, Hillebrandt JR, Henderson M, Schukken YH, Hemling TC. 2016. Iodide Residues in Milk Vary between Iodine-Based Teat Disinfectants. *Journal of Food Science* **81**:T1864–T1870.
- Fuge R. 2013. Soils and Iodine Deficiency. Pages 417–432 in Selinus O, editor. *Essentials of Medical Geology*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Fuge R, Johnson CC. 2015. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry* **63**:282–302.

- Galičič A, Kranjec N, Kirbiš A, Godič Torkar K, Jevšnik M. 2015. Consumer's attitude and manipulation of raw milk from milk vending machines. *International Journal of Sanitary Engineering Research* **9**:21–34.
- Górska-Warsewicz H, Rejman K, Laskowski W, Czczotko M. 2019. Milk and Dairy Products and Their Nutritional Contribution to the Average Polish Diet. *Nutrients* **11**:1–19.
- Häggström M. 2014. Medical gallery of Mikael Häggström 2014. *WikiJournal of Medicine* **1**:1–53.
- Haldimann M, Alt A, Blanc A, Blondeau K. 2005. Iodine content of food groups. *Journal of Food Composition and Analysis* **18**:461–471.
- Hanuš O, Jedelská R, Kopecký J. 2021. Jod v mléce a jeho variabilita. *Mlékařské listy* **187**:1–5.
- Hanuš O, Vegricht J, Frelich J, Macek A, Bjelka M, Louda F, Janů L. 2008. Analysis of raw cow milk quality according to free fatty acid contents in the Czech Republic. *Czech Journal of Animal Science* **53**:17–30.
- Hanzlíková L, Sochorová L, Kašparová L, Fialová A, Kubínová R, Černá M. 2018. Aktuální výsledky biomonitoringu – jodurie u české populace. *Hygiena* **63**:84–88.
- Hatch-McChesney A, Lieberman HR. 2022. Iodine and Iodine Deficiency: A Comprehensive Review of a Re-Emerging Issue. *Nutrients* **14**:1–11.
- Haug A, Høstmark AT, Harstad OM. 2007. Bovine milk in human nutrition – a review. *Lipids in Health and Disease* **6**:1–16.
- Haug A, Taugbøl O, Prestløkken E, Govasmark E, Salbu B, Schei I, Harstad OM, Wendel C. 2012. Iodine concentration in Norwegian milk has declined in the last decade. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A* **62**:127–134.
- Hejtmánková A, Kuklík L, Trnková E, Dragounová H. 2006. Iodine concentrations in cow's milk in Central and Northern Bohemia. *Czech Journal of Animal Science* **51**:189–195.
- Hess J, Slavin J. 2016. Defining “Protein” Foods. *Nutrition Today* **51**:117–120.
- Homerovsky ER, Johnsen M, Steinmann M, Matejka C, Jelinski MJ. 2019. An outbreak of congenital goiter and chondrodystrophy among calves born to spring-calving beef cows. *The Canadian veterinary journal* **60**:981–984.
- Hou X, Hansen V, Aldahan A, Possnert G, Lind OC, Lujanienė G. 2009. A review on speciation of iodine-129 in the environmental and biological samples. *Analytica Chimica Acta* **632**:181–196.
- Hrabalová A. 2022. Ročenka 2020 - Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Iannaccone M, Ianni A, Elgendy R, Martino C, Giantin M, Cerretani L, Dacasto M, Martino G. 2019. Iodine Supplemented Diet Positively Affect Immune Response and Dairy Product Quality in Friesian Cow. *Animals* **9**:866.
- Institute of Medicine. 2006. Iodine. Pages 320–327 in Otten JJ, Pitz Hellwig J, Meyers LD, editors. *Dietary Reference Intakes – The Essential Guide to Nutrient Requirements*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Jin Y, Coad J, Zhou SJ, Skeaff S, Benn C, Brough L. 2021. Use of Iodine Supplements by Breastfeeding Mothers Is Associated with Better Maternal and Infant Iodine Status. *Biological Trace Element Research* **199**:2893–2903.
- Kaiho T. 2015. Physical Properties of Iodine. Pages 7–14 in Kaiho T, editor. *Iodine Chemistry and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Kapil U. 2007. Health consequences of iodine deficiency. *Sultan Qaboos University medical journal* **7**:267–272.

- Kavřík R, Paskerová H, Řehůrková I, Ruprich J. 2013. Vývoj obsahu jódu v různých typech mléka z tržní sítě v průběhu roku. Pages 48–51 in Ryšavá L, Žoltá M, editors. Zásobením jódem jako prevence tyreopatií a zdroje dietární expozice. Státní zdravotní ústav Praha, České Budějovice.
- Kee JI, Ganesan P, Kwak HS. 2010. Bioactive Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Milk. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* **30**:879–885.
- Khurana I, Khurana A. 2015. *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier, India.
- Kim G, Nandi-Munshi D, Diblasi CC. 2018. Disorders of the Thyroid Gland. Pages 1388–1402 in Gleason C, Juul S, editors. *Avery's Diseases of the Newborn*. Elsevier, Philadelphia.
- Kittnar O, Jandová K, Kuriščák E, Langmeirer M, Marešová D, Mlček M, Mysliveček J, Pokorný J, Riljak V, Trojan S. 2011. *Lékařská fyziologie*. Grada Publishing a. s., Praha.
- Klimešová M, Zachovalová H, Vorlová L, Dufek A, Nejeschlebová H, Jadelská R, Kopecký J. 2021. Obsah jodu v kravském mléce z ekologických a konvenčních chovů. *Mlékařské listy* **184**:3–7.
- Konečný R, Křížová Z, Hladký J, Kautská J, Hasoňová L, Samková E, Šimák L, Líbalová K, Trávníček J. 2019. Iodine content development in raw cow's milk in three regions of the Czech Republic between the years 2008 and 2018. *Acta Veterinaria Brno* **88**:265–270.
- Krishna TC, Najda A, Bains A, Tosif MM, Papliński R, Kaplan M, Chawla P. 2021. Influence of Ultra-Heat Treatment on Properties of Milk Proteins. *Polymers* **13**:3164–3179.
- Křížová Z, Trávníček J, Konečný R, Hladký J, Hasoňová L, Kala R. 2016a. The effect of feeding extracted rapeseed meal on the content of iodine in milk, urine and blood plasma in dairy cows. Pages 790–794 in Polák O, Cerkal R, Březinová Belcredi N, Horký P, Vacek P, editors. *Proceedings of International PhD Students Conference*. Mendel University in Brno, Brno.
- Křížová Z, Trávníček J, Samková E, Hasoňová L, Konečný R, Kala R, Hladký J, Staňková M. 2016b. Obsah jodu v mléce a syrovátce. *Mlékařské listy* **155** **27**:1–3.
- Kroupová V, Trávníček J, Staňková M, Richterová J, Dušová H. 2013. Vývoj obsahu jodu v mléce v prvovýrobě na území ČR. Pages 32–33 in Ryšavá L, Žoltá M, editors. *Zásobením jódem jako prevence tyreopatií a zdroje dietární expozice*. Státní zdravotní ústav, Praha.
- Luttikholt LWM. 2007. Principles of organic agriculture as formulated by the International Federation of Organic Agriculture Movements. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences* **54**:347–360.
- MacGibbon AKH. 2020. Composition and Structure of Bovine Milk Lipids. Pages 1–32 in McSweeney PLH, Fox PF, O'Mahony JA, editors. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2*. Springer International Publishing, Cham.
- Madureira AR, Pereira CI, Gomes AMP, Pintado ME, Xavier Malcata F. 2007. Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties. *Food Research International* **40**:1197–1211.
- Manners J, Craven H. 2003. Milk: Liquid Milk for the Consumer. Pages 3947–3951 in Caballero B, Trugo LC, Finglas PM, editors. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, London.
- Mannion DT, Furey A, Kilcawley KN. 2016. Free fatty acids quantification in dairy products. *International Journal of Dairy Technology* **69**:209–220.

- Mansour AIA, El-Loly MM, Ahmed RO. 2012. A Preliminary Detection of Physical and Chemical Properties, Inhibitory Substances and Preservatives in Raw Milk. *Internet Journal of Food Safety* **14**:93–103.
- Markiewicz-Kęszycka M, Czyżak-Runowska G, Lipińska P, Wójtowski J. 2013. Fatty Acid Profile of Milk – A Review. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy* **57**:135–139.
- Mathew P, Rawla P. 2022. *Hyperthyroidism*. StatPearls Publishing. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537053/> (accessed January 2023).
- Matte JJ, Guay F, Girard CL. 2012. Bioavailability of vitamin B12 in cows' milk. *British Journal of Nutrition* **107**:61–66.
- McDermott MT. 2020. Hypothyroidism. *Annals of Internal Medicine* **173**:1–16.
- McGuffey RK, Shirley JE. 2011. Introduction | History of Dairy Farming. Pages 2–11 in Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, The United Kingdom.
- Mehdi Y, Dufrasne I. 2016. Selenium in Cattle: A Review. *Molecules* **21**:1–4.
- Mikláš Š, Tančin V, Toman R, Trávníček J. 2021. Iodine concentration in milk and human nutrition: A review. *Czech Journal of Animal Science* **66**:189–199.
- Milanesi A, Brent GA. 2017. Iodine and Thyroid Hormone Synthesis, Metabolism, and Action. Pages 143–150 in Collins J, editor. *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*. Elsevier, London.
- Minigh J. 2008. Vitamin B12. Pages 1–6 in Enna SJ, Bylund DB, editors. *xPharm: The Comprehensive Pharmacology Reference*. Elsevier, London.
- Moreda-Piñeiro A, Romarís-Hortas V, Bermejo-Barrera P. 2011. A review on iodine speciation for environmental, biological and nutrition fields. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **26**:2107–2152.
- Motyčka J, Kučera J, Chroust J, Kopeček P, Zapletal D. 2009. Chov skotu v České republice. Pages 39–57 in Hofírek B, Dvořák R, Němeček L, Doležal R, Pospíšil Z, editors. *Nemoci skotu. Česká buiatrická společnost, Brno*.
- Musilová Š. 2019. Zázračná složka mléka. *Vesmír* **98**:42–43.
- Nazeri P, Norouzian MA, Mirmiran P, Hedayati M, Azizi F. 2015. Heating Process in Pasteurization and not in Sterilization Decreases the Iodine Concentration of Milk. *International Journal of Endocrinology and Metabolism* **13**:1–4.
- Nejedlá M. 2014. Vyřešení nedostatku jodu. Pages 97–99 in Kodl M, editor. *Zpráva o zdraví obyvatel České republiky. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, Praha*.
- Niero G, Franzoi M, Vigolo V, Peruzzo M, Cassandro M, de Marchi M. 2020. Variation of iodine content in bovine milk and predictive ability of mid-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal* **102**:1–4.
- Norouzian MA. 2011. Iodine in Raw and Pasteurized Milk of Dairy Cows Fed Different Amounts of Potassium Iodide. *Biological Trace Element Research* **139**:160–167.
- O'Kane S et al. 2018. The Effect of Processing and Seasonality on the Iodine and Selenium Concentration of Cow's Milk Produced in Northern Ireland (NI): Implications for Population Dietary Intake. *Nutrients* **10**:1–14.
- Otter D. 2003. Milk: Physical and Chemical Properties. Pages 3957–3963 in Caballero B, Trugo LC, Finglas PM, editors. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, London.
- Paksoy N, Altun SK, Durmaz H. 2018. Determination of vitamin B9 levels in the milk of Brown Swiss and Simmental cows using the ELISA method. *South African Journal of Animal Science* **48**:1110–1114.

- Pechová A, Pavlata L, Dirksen G, Hofírek B, Dvořák R. 2009. Poruchy metabolismu. Pages 665–714 in Hofírek B, editor. *Nemoci skotu*. Noviko a.s., Brno.
- Pereira PC. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition* **30**:619–627. Elsevier, Amsterdam.
- Phipps RH, Grandison AS, Jones AK, Juniper DT, Ramos-Morales E, Bertin G. 2008. Selenium supplementation of lactating dairy cows: effects on milk production and total selenium content and speciation in blood, milk and cheese. *Animal* **2**:1610–1618.
- Potlouková E. 2013. Poruchy štítné žlázy a těhotenství. *Praktické lékařství* **9**:157–160.
- Roy D, Ye A, Moughan PJ, Singh H. 2020. Composition, Structure, and Digestive Dynamics of Milk From Different Species—A Review. *Frontiers in Nutrition* **7**:1–17.
- Ruska D, Jonkus D. 2014. Crude Protein and Non-protein Nitrogen Content in Dairy Cow Milk. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture* **32**:36–40.
- Sadiq U, Gill H, Chandrapala J. 2021. Casein Micelles as an Emerging Delivery System for Bioactive Food Components. *Foods* **10**:1–30.
- Sakai N, Esho OY, Mukai M. 2022. Iodine Concentrations in Conventional and Organic Milk in the Northeastern U.S. *Dairy* **3**:211–219.
- Schöne F, Rajendram R. 2009. Iodine in Farm Animals. Pages 151–170 in Preedy VR, Burrow GN, Watson R, editors. *Comprehensive Handbook of Iodine*. Academic Press, London.
- Schöne F, Spörl K, Leiterer M. 2017. Iodine in the feed of cows and in the milk with a view to the consumer's iodine supply. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **39**:202–209.
- Séverin S, Wenshui X. 2005. Milk Biologically Active Components as Nutraceuticals: Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **45**:645–656.
- Shahid MA, Ashraf MA, Sharma S. 2022. Physiology, Thyroid Hormone. StatPearls. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500006/> (accessed January 2023).
- Śliwiński B, Brzóška F, Węglarzy K, Szybiński Z, Kłopotek E. 2015. The effects of iodised salt licks and teat dipping on the iodine content of cow's milk and blood plasma. *Endokrynologia Polska* **66**:244–250.
- Spitsberg VL. 2005. Invited Review: Bovine Milk Fat Globule Membrane as a Potential Nutraceutical. *Journal of Dairy Science* **88**:2289–2294.
- Stevenson MC, Drake C, Givens DI. 2018. Further studies on the iodine concentration of conventional, organic and UHT semi-skimmed milk at retail in the UK. *Food Chemistry* **239**:551–555.
- Syrůček J, Lipovský D, Sládek M. 2022. Ročenka – Chov skotu v České republice 2021. Českomoravská společnost chovatelů, a. s., Praha.
- SZIF. 2022. Zpráva o trhu s mlékem a mlékařenskými výrobky. TIS ČR **12**.
- Tai P, Golding M, Singh H, Everett D. 2022. The bovine milk fat globule membrane – Liquid ordered domain formation and anticholesteremic effects during digestion. *Food Reviews International* DOI:10.1080/87559129.2021.2015773.
- Trávníček J, Herzig I, Kursá J, Kroupová V, Navrátilová M. 2006. Iodine content in raw milk. *Veterinární medicína* **51**:448–453.
- Trávníček J, Kroupová V, Dušová H, Krhovjáčková J, Konečný R. 2011. Optimalizace obsahu jodu v kravském mléce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Trávníček J, Kursá J. 2001. Iodine Concentration in Milk of Sheep and Goats from Farms in South Bohemia. *Acta Veterinaria Brno* **70**:35–42.
- Urban J, Šarapatka B. 2003. *Ekologické zemědělství*. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

- van der Reijden OL et al. 2018. The main determinants of iodine in cows' milk in Switzerland are farm type, season and teat dipping. *British Journal of Nutrition* **119**:559–569.
- van der Reijden OL, Zimmermann MB, Galetti V. 2017. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism* **31**:385–395.
- Váňa J, Sedláčková L. 2020. Prodej a zpracování mléka. Pages 11–14 in *Legislativní požadavky na zpracování vlastní produkce a prodej malého množství vlastních produktů*. Státní veterinární správa, Praha.
- Velíšek J. 2014. *The Chemistry of Food*. John Wiley & Sons, West Sussex.
- Vimaleswaran KS, Zhou A, Cavadino A, Hyppönen E. 2021. Evidence for a causal association between milk intake and cardiometabolic disease outcomes using a two-sample Mendelian Randomization analysis in up to 1,904,220 individuals. *International Journal of Obesity* **45**:1751–1762.
- Vorlová L, Hodulová L, Borkovcová I, Přidalová H, Kostrhounová R, Klimešová-Vyletělová M, Šustová K. 2014. Iodine content in bulk tank milk samples in relation to dairy farm size. *Acta Veterinaria Brno* **83**:9–13.
- Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ. 2006. *Dairy Science and Technology*. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Walther B, Wechsler D, Schlegel P, Haldimann M. 2018. Iodine in Swiss milk depending on production (conventional versus organic) and on processing (raw versus UHT) and the contribution of milk to the human iodine supply. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **46**:138–143.
- Winger RJ, König J, House DA. 2008. Technological issues associated with iodine fortification of foods. *Trends in Food Science & Technology* **19**:94–101.
- Witard OC, Bath SC, Dineva M, Sellem L, Mulet-Cabero A-I, Dongen LH van, Zheng J-S, Valenzuela C, Smeuninx B. 2022. Dairy as a Source of Iodine and Protein in the UK: Implications for Human Health Across the Life Course, and Future Policy and Research. *Frontiers in Nutrition* **9**:1–12.
- World Health Organization. 2001. *Human Vitamin and Mineral Requirements*. World Health Organization, Rome.
- Woźniak D, Cichy W, Dobrzyńska M, Przysławski J, Drzymała-Czyż S. 2022. Reasonableness of Enriching Cow's Milk with Vitamins and Minerals. *Foods* **11**:1–15.
- Zamberlin Š, Antunac N, Havranek J, Samaržija D. 2012. Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo* **62**:111–125.
- Zamrazil V. 2015. Saturace jodem v České republice a ve světě – nedostatky a perspektivy. *Kardiologická revue – Interní medicína* **17**:167–171.
- Zamrazil V, Čeřovská J. 2014. Jod a štítná žláza – Optimální přívod jodu a poruchy z jeho nedostatku. *Mladá fronta, a.s.*, Praha.
- Zhang X, Chen X, Xu Y, Yang J, Du L, Li K, Zhou Y. 2021. Milk consumption and multiple health outcomes: umbrella review of systematic reviews and meta-analyses in humans. *Nutrition & Metabolism* **18**:1–18.
- Zimmermann M, Trumbo PR. 2013. Iodine. *Advances in Nutrition* **4**:262–264.
- Zimmermann MB. 2012. The Effects of Iodine Deficiency in Pregnancy and Infancy. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* **26**:108–117.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

CLA	z anglického „conjugated linoleic acid“
CNS	centrální nervová soustava
DIT	dijodtyrosin
EDDI	etylendiamindihydrojodid
HDL	z anglického „high density lipoprotein“
ICCIDD	z anglického „International Committee for Control of Iodine Deficiency Disorders“
IFOAM	z anglického „International Federation of Organic Agriculture Movements“
KD	krmná dávka
LDL	z anglického „low density lipoprotein“
MIT	monojodtyrosin
MKP	minerální krmné přísady
MUFA	z anglického „mono unsaturated fatty acids“
PSB	počet somatických buněk
PUFA	z anglického „poly unsaturated fatty acids“
Sd	směrodatná odchylka
SFA	z anglického „saturated fatty acids“
T ₃	trijodtyronin
T ₄	tyroxin
TBA	z anglického „thyroxine binding albumin“
TBG	z anglického „thyroxine binding globulin“
TBPA	z anglického „thyroxine binding prealbumin“
TRH	z anglického „thyrotropin releasing hormone“
TSH	z anglického „thyrotropin“
TTR	z anglického „transthyretin“
UHT	z anglického „ultra high temperature“
Vk	variační koeficient
VMK	volné mastné kyseliny
WHO	z anglického „World Health Organization“
\bar{x}	průměr