



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

OBSAH JÓDU V MLÉCE

Alena Kobidová, Amálie Berčíková

Purkyňovo gymnázium, Strážnice

2017-2018



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

OBSAH JÓDU V MLÉČE

IODINE CONTENT IN MILK

AUTOR Amálie Berčíková, Alena Kobidová
ŠKOLA Purkyňovo gymnázium, Strážnice,
Masarykova 379, příspěvková organizace
KRAJ Jihomoravský
ŠKOLITEL RNDr. Ivana Borkovcová, Ph.D.
OBOR 7. Zemědělství, potravinářství, lesní a
vodní hospodářství

2017-2018

Prohlášení

Prohlašujeme, že naši práci na téma Obsah jódu v mléce jsme vypracovaly samostatně pod vedením RNDr. Ivany Borkovcové, Ph.D. a RNDr. Jany Hálkové, a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašujeme, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemáme závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

Ve Strážnici dne 22. února 2018

Podpis:



VETERINÁRNÍ A FARMACEUTICKÁ UNIVERZITA
BRNO

Fakulta veterinární hygieny a ekologie

Ústav hygieny a technologie mléka



Jihomoravský kraj



Poděkování

Děkujeme své školitelce RNDr. Ivaně Borkovcové, Ph.D. za obětavou a odbornou pomoc, cenné rady a nekonečnou trpělivost, kterou nám během práce poskytovala. Velké díky patří také vedoucí práce RNDr. Janě Hálkové za podnětné rady a připomínky, Mgr. Janě Šaňkové a Ing. Janu W. Jongepierovi za pomoc při tvorbě textové části. Dále také velmi děkujeme Jihomoravskému kraji za finanční podporu.

Anotace

Jód je stopový prvek, nezbytný pro tvorbu hormonů štítné žlázy. Jeho nedostatek snižuje fyzickou i psychickou kvalitu populace a je příčinou celé řady různě závažných onemocnění. Zvláště je důležitý během těhotenství a v dětství, kdy i mírný nedostatek jódu může způsobit poruchy ve vývoji organismu. Rozhodující je jeho příjem potravou. České země jsou díky svým geografickým a geologickým podmínkám tradičně jódově deficitní.

Významným dietárním zdrojem jódu v našich podmínkách je mléko. Jeho koncentrace v mléce je variabilní, závislá na suplementaci krmných dávek jódem a může se pohybovat od velmi nízkých koncentrací po koncentrace ohrožující zdraví organismu. Z těchto důvodů je užitečné obsah jódu v mléce průběžně sledovat.

Studie se zabývá právě touto problematikou. Byla provedena analýza jódu ve 21 vzorcích konzumního mléka spektrofotometrickou metodou. Cílem práce bylo získat aktuální údaje o přívodu jódu z konzumního mléka.

Provedly jsme rešerši poznatků v této oblasti, v rámci praktické části práce pak stanovily jód ve vzorcích mléka z tržní sítě. Tyto výsledky byly dány do kontextu s obecně uznávanými výživovými doporučeními. Práce se tedy skládá z teoretické přípravy, provedení experimentů v laboratoři, vyhodnocení a interpretace výsledků.

Klíčová slova

Jód; mléko; spektrofotometrie; štítná žláza

Annotation

Iodine is a trace element which is necessary for the formation of thyroid gland hormones. Its deficiency lowers the physical and mental quality of our population and causes many more or less serious diseases. This element is important especially during pregnancy and childhood when only a slight iodine deficiency may cause disorders in the development of the organism. Its intake from food is crucial. The Czech Republic traditionally suffers from an iodine deficiency because of its geographical and geological conditions.

One of the important diet sources of iodine in our conditions is milk. Its concentration in milk is very variable and depends on the supplementation of iodine feed rations. These may vary from very low concentrations to concentrations that might threaten the health of an organism. It is therefore useful to monitor the iodine content of milk continuously.

This study deals particularly with this problem. We analysed iodine in about 21 samples of consumer milk using the spectrophotometric method. Our aim was to acquire current data of the iodine intake from consumer milk.

We have carried out a literature search related to this. In our practical part we determined iodine in milk samples from the market. We compared the results to the generally accepted nutritional recommendations. This work consists of a theoretical preparation, experiments in the laboratory, and an assessment and interpretation of the results.

Keywords

Iodine; milk; spectrophotometry; thyroid gland

Obsah

ÚVOD.....	8
1 LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
1.1 CHARAKTERISTIKA JÓDU.....	9
1.2 VÝSKYT JÓDU V PŘÍRODĚ.....	9
1.3 JÓD V ORGANISMU	10
1.4 METABOLISMUS JÓDU V ORGANISMU	10
1.4.1 <i>Absorpce</i>	10
1.4.2 <i>Transport jódu v krvi</i>	11
1.4.3 <i>Šíření jódu v tkáních</i>	11
1.4.4 <i>Obsah jódu v organismu</i>	11
1.4.5 <i>Vylučování jódu</i>	11
1.4.6 <i>Metabolismus jódu</i>	12
1.5 ZDRAVOTNÍ VÝZNAM JÓDU	12
1.5.1 <i>Štítná žláza a onemocnění</i>	13
1.6 ZDROJE JÓDU.....	14
1.6.1 <i>Potraviny</i>	14
1.6.2 <i>Krmiva</i>	17
1.7 MLÉKO.....	18
1.8 METODY STANOVENÍ JÓDU V POTRAVINÁCH.....	19
1.8.1 <i>Metoda titrační</i>	19
1.8.2 <i>Metoda spektrofotometrická</i>	19
1.8.3 <i>Další metody</i>	20
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
2.1 STANOVENÍ JÓDU	22
2.1.1 <i>Princip metody</i>	22
2.1.2 <i>Analyzované vzorky</i>	22
2.1.3 <i>Použité chemikálie</i>	24
2.1.4 <i>Použité laboratorní sklo a pomůcky</i>	24
2.1.5 <i>Použité přístroje a vybavení</i>	24
2.1.6 <i>Postup práce</i>	25
3 VÝSLEDKY	31
4 DISKUZE.....	35
5 ZÁVĚR	36
6 LITERATURA.....	37
6.1 INTERNETOVÉ ZDROJE	40
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	42
8 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	43
9 SEZNAM TABULEK.....	43
10 SEZNAM GRAFŮ	43
11 PŘÍLOHY	44

Úvod

Příjem minerálních látek má zásadní význam pro výživu člověka. K těmto látkám (k tzv. biogenním prvkům) patří makroelementy, jako je vápník, fosfor, hořčík, sodík, síra, a mikroelementy, jimiž je železo, zinek, selen, měď, mangan, fluor, chrom, a také molybden a jód.

Nedostatek i nadbytek jódu mohou být příčinou selhání štítné žlázy a v důsledku toho mnoha závažných onemocnění. Patří k nim hypothyreóza, hyperthyreóza, strumy nebo kretenismus.

Jód se vyskytuje téměř všude, například ve sladké i slané vodě, v atmosféře, v půdě, ve vegetaci a samozřejmě i v tělech živočichů včetně člověka. Patří ale mezi stopové prvky. Mezi nejdůležitější zdroje jódu pro člověka patří mořské ryby, řasy a potraviny živočišného původu jako jsou vejce, maso, mléko a mléčné výrobky.

V našich podmínkách nejvíce jódu obsahují mořské produkty a masné výrobky, s ohledem na spotřebu je nejvýznamnějším dietárním zdrojem mléko.

Mléko můžeme konzumovat čerstvé bez dalšího zpracování. Obsahuje látky, které jsou důležité pro růst a vývoj jedince, hlavně mlád'at, kterým je mléko určeno předně.

Obsah jódu v mléce je závislý na suplementaci krmných dávek laktujících zvířat minerálními přísadami s obsahem jódu a je velmi kolísavý.

Z těchto důvodů je nutné obsah jódu v mléce sledovat, což jsme si také v rámci této práce dali za úkol. Práce byla uskutečněna ve spolupráci s Veterinární a farmaceutickou univerzitou v Brně, kde nám bylo umožněno provádět experimentální část v jejích laboratořích. Použité vzorky byly ve formě jednotlivých druhů mléka z obchodní sítě. Stanovení obsahu jódu v mléce bylo prováděno spektrofotometrickou metodou.

1 Literární přehled

1.1 Charakteristika jódu

Jód je fialovo-černá, kovově lesklá tuhá látka patřící do skupiny halogenů. Byl objeven v roce 1811 Bernardem Courtoisem, chemikem francouzského původu, při zpracování popela mořských rostlin, kde se vyskytoval jako fialová pára. Podle jeho charakteristické fialové barvy jej L. Gay Lussac roku 1813 pojmenoval jód, chemická značka *I* (VELIKÝ, 1964). Spolu s fluorem, bromem a chlorem patří do 17. skupiny označující se jako halogeny. Elektronová konfigurace základního stavu činí ns^2np^5 (JURSÍK, 2001). Jeho protonové číslo má hodnotu 53 a atomová hmotnost činí 126,9 (VELIKÝ, 1964). Je méně reaktivní než ostatní halogeny, působí jako poměrně slabé oxidační činidlo. Jód je omezeně rozpustný ve vodě, ale snadno se rozpouští v organických rozpouštědlech, jako glycerol nebo ethanol, za vzniku různě zbarvených roztoků (MLYNÁŘ a ŠRÁMEK, 2011). V nepolárních rozpouštědlech se rozpouští na fialové roztoky, v polárních na hnědočervené (MLYNÁŘ a ŠRÁMEK, 2011). Jód dosahuje teploty tání 113,6 °C, teploty varu 184,3°C (GREENWOOD a EARNSHAW, 1993) a hustoty 4,9 g/cm³ (KAIHO, 2014). Patří mezi biogenní prvky. Při syntéze s vodíkem (H) vzniká kyselina jodovodíková, která je nejsilnější bezkyslíkatá kyselina a při styku se vzduchem nestálá. Elementární jód je toxický. Při pokojové teplotě sublimuje (MLYNÁŘ a ŠRÁMEK, 2011). Jeho páry jsou jedovaté, leptají sliznici a způsobují záněty nosní a oční sliznice (REMY, 1972). Jód se využívá na výrobu léčiv, barviv a ve formě jodové tinktury¹.

1.2 Výskyt jódu v přírodě

Jód se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách prakticky všude. Celkové množství jódu na Zemi je odhadováno na miliardy tun (VELIKÝ, 1964). Jód, který byl původně obsažen v zemském povrchu vlivem klimatických a meteorologických vlivů pronikl z půdy do moří a oceánů, kde je jeho koncentrace nejvyšší. Zde je přítomen ve formě jodidů, které se vlivem environmentálního cyklu dostávají zpět do pevninské půdy (TRÁVNÍČEK et al., 2011). Velké množství jódu z hlediska potravinového zdroje člověka obsahují mořské rostliny a živočichové (chaluhy, řasy², korály, ryby).

Obsah jódu v půdách závisí na vzdálenosti od moře, na geologickém podloží a na schopnosti půd udržet si jód (FUGE, 2007). V zemské kůře se nachází v množství 3·10⁻⁵ %, zatímco v půdě 5·10⁻⁴ %. Nejmenší obsah jódu obsahují půdy písčité nebo podzolové, zatímco černozem, půda bohatá na humus, obsahuje vysoké množství tohoto mikroelementu. Průměrná hodnota jódu v půdě je 2,8 mg·kg⁻¹ (ANKE, 2004). Jestliže půda obsahuje méně jódu než 4 mg·kg⁻¹, lze ji považovat za deficitní. OLIVERIUSOVÁ (1997)

¹ 5% ethanolový roztok jódu, bývá obsažena v soupravách pro nouzové přežití pro dezinfekci ran a pitné vody (BENEŠOVÁ et al., 2014).

² Řasy, hlavně jejich sušiny, jsou nejbohatším zdrojem jódu (5000–100 000 µg/100 g potravin, záleží na druhu)

uvádí, že v České republice se nenachází žádná hornina s dostatečným množstvím jódu pro vstup do potravního řetězce, což potvrzují i naměřené průměrné hodnoty z oblastí Šumavy a Jeseníků.

Obsah jódu ve vegetaci je ovlivněn druhem půdy, vzdáleností od moře, věkem rostliny, druhem, částí rostliny a koncentrací jódu obsaženého ve vodě, kterou rostlina přijímá. Přímořské a mořské rostliny obsahují větší množství jódu než vnitrozemské (ANKE, 2004). Rostlina přijímá jód hlavně z půdy, vody a atmosféry. Celkové množství jódu v různých rostlinách se pohybuje od nepatrných množství až do 500–1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ zelené hmoty. Největšího významu nabývá v mořských rostlinách, seně a silážových objemných krmivech (RICHTER a MERZWEILER, 1986).

V atmosféře je množství jódu velmi malé a závisí na vzdálenosti od moře i na teplotě, proudění, vlhkosti vzduchu a především na jeho obsahu v půdě a ve vodě (RICHTER a MERZWEILER, 1986).

1.3 Jód v organismu

Jód je obsažen ve všech buňkách, tkáních a tekutinách organismu ve značně rozdílných koncentracích. Z celkového množství jódu obsaženého v těle je 80 % ve štítné žláze, 10–15 % je obsaženo ve svalovině, zbytek pak v kůži, skeletu a ostatních orgánech (ILLEK, 2003). Oproti tomu SOVA et al. (1990) uvádí, že 20 % veškerého jódu je uloženo ve štítné žláze, 50 % ve svalovině a zbytek je uložen v ostatních tkáních. SOVA et al. (1990) zároveň dodávají, že jelikož štítná žláza činí pouze malé procento z celkové hmotnosti organismu (0,02–0,05 %), je obsah jódu ve štítné žláze hodnocen jako velmi významný. KVASNIČKOVÁ (1998) uvádí, že jód v těle je obsažen také ve slinných a prsních žlázách, žaludeční mukóze a v ledvinách. Množství jódu v krvi je velmi nízké a tvoří je převážně hormony štítné žlázy (ILLEK, 2003). Dospělý organismus za normálních podmínek obsahuje asi 10–20 mg jódu, z toho obsah ve štítné žláze činí přibližně 8–15 mg. Obsah jódu v organismu je ovlivněn příjmem jódu (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.4 Metabolismus jódu v organismu

Forma, ve které je jód přiváděn do organismu, má zásadní vliv na jeho účinnost (PHILLIPS et al., 1988).

1.4.1 Absorpce

Nejčastěji vstupuje jód do těla potravou nebo vodou jakožto jodidový ion (GREENSPAN a BAXTER, 2003). Ve střevě je redukován na jodid a v tenkém střevě až z 90 % vstřebán. Absorpci jódu lze ovlivnit řadou látek - železem, hořčíkem, fluorem, vápníkem atd. (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.4.2 Transport jódu v krvi

Jód, který absorbovala střeva, se dostane do krevního oběhu, kde se cirkuluje organická i anorganická látka. Celkový obsah jódu v krvi kolísá mezi 40 a 80 µg/l. Jeho koncentrace se zvyšuje u hyperthyreózy a po požití velkého množství jódu. Organický jód je tvořen především jodovanými aminokyselinami, počítaje i hormony štítné žlázy. Množství anorganického jódu (hlavně jodidů) kolísá při jeho přirozeném přívodu potravou mezi 2 a 6 µg/l (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.4.3 Šíření jódu v tkáních

Jód samotný pravděpodobně v řízení metabolismu nehraje žádnou zásadní roli, přestože je vycytáván v mnoha tkáních, např. v žaludeční sliznici, mléčné žláze, nebo v placentě. Běžné tkáně nejsou vybaveny unikátním transportním systémem pro jód, proto ho nejsou schopny koncentrovat. Štítná žláza a některé další tkáně jsou schopny soustředit jód pomocí natrium-jodidového symportéru (NIS)³. Štítná žláza je jediný orgán, který je schopen organický jód vázat a tvořit z něj thyreoidální hormony. (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014)

1.4.4 Obsah jódu v organismu

Za normálních podmínek obsahuje tělo dospělého jedince zhruba 10–20 mg jódu, z toho štítná žláza kolem 8–15 mg (asi 70 %). Toto množství je závislé na příjmu jódu a snižuje se při jeho poklesu (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.4.5 Vylučování jódu

Při rovnovážném příjmu potravy je kolem 90 % jódu vylučováno močí. Ledvinová (neboli renální) *clearance*⁴ činí průměrně 30–60 ml/min. Pokles můžeme zaznamenat při insuficienci⁵ nebo také při hypothyreóze. Zvýšeném příjmu jódu se renální clearance zvýší za 2–3 týdny.

Menší množství jódu je vylučováno stolicí (kolem 10–30 µg/den). Významnějšího rázu mohou být ztráty potem při přirozeném příjmu jódu, které činí za běžných podmínek 35–40 µg/den. Při velké námaze, kdy se jedinec více potí, mohou být ztráty až 150 µg jódu za den.

U samic je důležité vylučování jódu mlékem. Dostatečné množství jódu v mléce zajišťuje NIS, který způsobuje, že mléko obsahuje až 50x větší koncentraci jódu než v plazmě. Jedná

³ Symportér je přenašeč transportující dvě rozpuštěné látky (v tomto případě se jedná o jód a sodík) týmž směrem, přičemž alespoň jeden z nich je elektricky nabitý (KOTYK, 2003).

⁴ *Clearance* (z angl. Clear= čistit) určité látky je množství plazmy, které je očištěno od této látky za čas. Nejčastěji se stanovuje renální clearance, což označuje množství plazmy očištěné ledvinami od určité látky za jednotku času (nejčastěji se vyjadřuje v jednotkách ml/min nebo ml/s) (Wikipedie).

⁵ Insuficience (nedostatečnost, selhávání) značí pokles funkce orgánu, vzniká se nejčastěji jako následek po těžké nemoci (MAREK V., 1997).

je hlavně o jodid. Je všeobecně znám i lineární vztah mezi příjmem jódu v potravě a jeho množství v mléce. Jeho vysoká koncentrace je dokázána v kolostru⁶ (2000–4000 µg/l). Thiokyanáty, které obsahuje cigaretový kouř, koncentraci jódu v mléce snižují, což může mít pak zásadní dopad na vývoj dítěte (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014). Podle BOBKA (1998) přechází průměrně 8–10 % přijatého jódu do mléka.

Avšak MILLER et al., (1975) a UNREDWOOD (1977) prezentují, že jód je z těla vylučován 40 % močí, 30 % výkaly, 8 % mlékem a v malém množství i potem.

1.4.6 Metabolismus jódu

Jodid, který prochází štítnou žlázou, se z 20 % zachycuje na membráně folikulárních buněk a podléhá oxidaci (TRÁVNÍČEK et al., 2011). Denně zachytí štítná žláza asi 60 µg jódu ve formě jodidu (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Štítná žláza oproti krevnímu oběhu koncentruje jód asi o dva řády pomocí enzymu NIS (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014). Jodid se v buňkách využívá k jodaci thyrozinu v molekulách glykoproteinu thyreoglobulinu za vzniku monojódthyrozinu (MIT) a dijódthyrozinu (DIT) (TRÁVNÍČEK et al., 2011). Jejich kondenzací dochází k tvorbě hormonů trijódthyroninu (T3), který vzniká spojením MIT a DIT a k tvorbě thyroxinu (tj. tetrajódthyronin, T4), který vzniká spojením dvou DIT (JELÍNEK, 2003b). V obou situacích dochází ke ztrátě aminokyselinového zbytku, glycinu a jedné molekuly vody (REECE, 1998).

Hormony štítné žlázy podléhají degradaci, v první řadě dejodaci. Ta se uskutečňuje pomocí systému enzymů dejodáz, které obsahují selen (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014) a působí pouze na MIT a DIT. Uvolněný jód je z části využíván pro syntézu hormonů (GREENSPAN a BAXTER, 2003). Dejodaci mohou ovlivňovat také některé látky jako například thyreostatika, propranololy a glukokortikoidy (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.5 Zdravotní význam jódu

Jód je esenciální stopový prvek pro lidi a zvířata (FLACHOWSKY et al., 2014) a je součástí hormonů štítné žlázy, jimiž jsou T4 a T3 (RYŠAVÁ et al., 2008). Hlavní význam hormonů štítné žlázy je regulace metabolických reakcí (RACEK, 2008), přičemž jsou i nezastupitelné pro správnou činnost centrální nervové soustavy, zejména pro její vývoj a diferenciaci (JELÍNEK, 2003). Vliv hormonů štítné žlázy nelze podceňovat zejména v období těhotenství a kojení, kdy je plod závislý na příjmu thyreoidálních hormonů od matky. Jeho nedostatek může mimo jiné způsobit velice těžké postižení dítěte s růstovou a mentální retardací, dříve nazývané kretenismus (VÍTKOVÁ a POTLUKOVÁ, 2013). Hormony mají také účinek kalorigenní, tj. stimulace spotřeby kyslíku. Kromě toho však oba hormony působí na celou řadu dalších životně důležitých funkcí, jako je např. sexuální vývoj, syntéza bílkovin, střevní absorpce glycidů (PORŠOVÁ-DUTOIT, 1996). Přiměřené

⁶ Kolostrum (též mlezivo) je prvotní mléko u savců. Tvoří se v mléčné žláze těsně před porodem a pak ještě 3–5 dní po porodu. Obsahově se liší od zralého mléka a má zásadní vliv na imunitní systém novorozence (ŠMARDA J., 2000).

množství hormonů štítné žlázy je nutné pro správnou funkci všech orgánů a tkání organismu po celý život (JISKRA, 2011).

1.5.1 Štítná žláza a onemocnění

1.5.1.1 Štítná žláza

Štítná žláza (lat. glandula thyreoidea) je největší endokrinní orgán (PETROVICKÝ P., 2001) motýlovitého tvaru (JODPLUS.cz, 2005) umístěný na přední straně krku. Je uložen v podkoží pod štítnou chrupavkou po obou stranách průdušnice.

Jak už bylo zmíněno, štítná žláza produkuje hormony T4 a T3, pro jejichž tvorbu je zcela nepostradatelný jód, který je aktivně vychytáván štítnou žlázou z krve a poté je do nich „zabudován“. Tvorbu těchto hormonů a funkci štítné žlázy řídí thyreoidální stimulační hormon (TSH), který je tvořen adenohypofýzou⁷ pod vlivem hypotalamu a dalších vyšších oblastí mozku (JISKRA, 2011).

1.5.1.2 Hyperthyreóza

Je to stav, kdy štítná žláza vylučuje více hormonů, než organismus potřebuje. Imunitní systém produkuje látku, která stejně jako TSH stimuluje funkci štítné žlázy. Příznakem může být například pokles hmotnosti při dobré chuti k jídlu, nespavost, neklid, bušení srdce, návaly horka, oslabení svalstva nebo pocení.

Zvýšený přívod jódu zhoršuje průběh onemocnění a podtrhuje její klinické příznaky (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.5.1.3 Hypothyreóza

Příčinou této poruchy bývá nejčastěji chronický autoimunní zánět (thyreoiditis), který poté vede k poškození štítné žlázy a její snížené činnosti. Symptomy jsou opačné oproti hyperthyreóze: únava, ospalost, zimovřivost, zácpa a zpomalení v řeči, pohybech a srdeční činnosti nemocného. Patří k nim i otoky víček a jazyka, suchá a zhrubělá kůže.

U lehčí formy hypothyreózy, kdy je funkce štítné žlázy částečně zachována, může zvýšený příjem jódu příznaky této choroby zmírnit, avšak u těžkých forem je bez účinku na funkci (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.5.1.4 Zdravotní rizika způsobená sníženým příjmem jódu

Některé skupiny obyvatelstva, zejména těhotné a kojící ženy, děti a dospívající trpí, navzdory zavedení jodace jedlé soli v České republice v 50. letech minulého století, mírným jodovým deficitem. Matka je významným a jediným zdrojem jódu pro plod během nitroděložního vývoje, pro novorozence i kojence. Jestliže tedy matka trpí nedostatečným přísunem jódu, dochází k závažným poškozením vývoje mozku plodu či novorozence, které označujeme kretenismus (JISKRA J., 2011). Bylo opakovaně prokázáno, že klesá celková inteligence – hodnota IQ se podle různých zpráv sníží o 8–13 bodů, přičemž tento

⁷ Přední lalok podvěsku mozkového.

pokles je trvalý. Mění se i psychika dítěte – rozvíjí se syndrom hyperaktivního dítěte ADHD (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

Struma neboli vole, je zvětšení štítné žlázy způsobené z jakékoliv příčiny bez souvislosti s její funkcí (struma může být spojena s hyperthyreózou, hypothyreózou i s normální funkcí štítné žlázy). Rozlišujeme strumu difuzní, kdy se štítná žláza zvětšuje rovnoměrně jako celek a neobsahuje uzliny, a strumu uzlovou (nodózní), kdy ve štítné žláze může být přítomen jeden uzel⁸ nebo uzly mnohočetné. Tyto uzly jsou nejčastější v oblastech s nedostatkem jódu (JISKRA J., 2011). Ke vzniku strumy přispívá také kouření či příjem strumigenů⁹ v potravě. Strumigeny najdeme běžně v různých druzích zeleniny, kupříkladu v sóje, brokolici, kapustě, zelí, květáku nebo tuřínu (ČESKA R. et al., 2010).

1.5.1.5 Zdravotní rizika způsobená nadměrným příjmem jódu

Každá organismu prospěšná látka se může při příliš vysokém přísunu projevit v podobě nepříznivých účinků. Platí to samozřejmě i pro jód. Rozlišujeme zde rizika způsobená jednorázovou masivní zátěží jódem a rizika vzniklá dlouhodobým zvýšeným přívodem jódu.

V prvním případě se jedná především o změny způsobené podáváním určitých léků s vysokým obsahem jódu, kde je množství jódu v jedné tabletce několikanásobně vyšší, než je běžný denní příjem. Mnohem větší zátěž jódem nastává při použití kontrastních látek při rentgenovém vyšetření nebo při vyšetření počítačovou tomografií. Masivní zátěž jódem může vyvolat závažné poruchy funkce štítné žlázy a výraznou aktivizaci autoimunity.

Rizika vzniklá dlouhodobým zvýšeným přívodem jódu v potravě jsou z epidemiologického hlediska závažnější, když jeho příjem přesahuje horní hranici tolerance. K tomu často dochází hlavně při řešení jodového deficitu (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

1.6 Zdroje jódu

1.6.1 Potraviny

Na celém světě se vyskytují oblasti s nedostatkem jódu, jedná se především o horské a vnitrozemské oblasti kontinentů. Nedostatek jódu v nížinách se vyskytuje vzácně. Názor, že přímořské regiony nejsou ohroženy jodovým deficitem, se nepotvrdil. Nedostatkem jódu strádají a strádaly Belgie, Nizozemí i Dánsko, tudíž i zde bylo nutné zavést opatření ke kompenzaci jodového deficitu (ZAMRAZIL a ČEŘOVSKÁ, 2014).

⁸ Uzlem ve štítné žláze se rozumí kulovitý (uzlovitý) útvar bez ohledu na jeho biologickou povahu (většina z nich je nenádorového charakteru, jde o dutiny vyplněné tekutinou). Vyskytují se např. u 30–40 % žen starších 50 let (JISKRA, 2011).

⁹ Strumigeny jsou látky, které mohou narušit činnost štítné žlázy a způsobit její zvětšení (CELOSTNÍMEDICÍNA.cz).

Koncentrace jódu v potravinách a krmivech je podle ANKE (2004) ovlivněna geologickým původem půdy, vzdáleností od moře, věkem a druhem rostliny.

Významným zdrojem jódu pro člověka jsou v poslední době potraviny živočišného původu, jako mléko, jogurty, sýry, mořské ryby a vejce (TRÁVNÍČEK et al., 2009).

Potraviny rostlinného původu obsahují mnohem méně jódu než potraviny živočišného původu. Do potravního řetězce zajišťují hlavní přísun jódu ze 74 % z celkového příjmu potraviny živočišného původu, kdežto rostliny pouze 16 %. Zbýlých 10 % zajišťují nápoje (ANKE, 2004).

Mořská zelenina, především řasy, obsahují velmi vysoké množství jódu, hlavně jejich sušiny.

Jód lze získat i z pitných a minerálních vod jako je Vincentka nebo Hanácká kyselka. Vincentka obsahuje přírodní jód ve formě jodidů o množství 688 µg/ml. Hanácká kyselka obsahuje kromě jódu i další minerální látky jako vápník, hořčík nebo sodík. Avšak tyto vody nejsou vhodné k dlouhodobější konzumaci.

Mezi nejbohatší zdroje jódu pro člověka patří i instantní polévky v prášku, díky jejich vysokému obsahu jodované soli (ŘEHŮŘKOVÁ A RUPRICH, 2013). Mezi nejjednodušší způsob, jak zajistit lidskému tělu dostatek jódu je použití mořské nebo jodované soli.

Jodizace kuchyňské soli byla prováděna od 2. poloviny 90. let a společně se využívala při výrobě potravin. Sůl obohacená o jód se používá přibližně u 80 % pekárenských výrobků, u uzenin se využívají solící dusitanové směsi obohacené o jód a v neposlední řadě jsou k dostání směsi vitamínů a minerálů, kde je častou komponentou právě jód (ČEŘOVSKÁ et al., 2006). Spotřeba jodované soli kolísá, je proto nezbytné provádět monitoring obsahu jódu v organismu (WHO, 2001). Fakt, že močí je vyloučeno asi 90 % přijatého jódu, dokazuje, že sledování jódurie (tedy obsahu jódu v moči) je relativně spolehlivým ukazatelem jeho příjmu. Během dne ovlivňují jódurii změny příjmu jódu potravou. V epidemiologických studiích je vyšetření jódurie opakované a to u dostatečně početného vzorku obyvatel, teprve poté spolehlivě charakterizuje zásobení jódem u sledované populace (ZAMRAZIL A ČEŘOVSKÁ, 2014).

Tabulka 1: Obsah jódu v běžných potravinách v $\mu\text{g}/100\text{g}$

Potravina	Obsah jódu ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Potravina	Obsah jódu ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
Mořské řasy (dle druhu)	5. 10^3 – 1. 10^5	Sýr, Niva, 50 % t. v. s.	19
Losos	200	Sýr, Hermelín, 50 % t. v. s.	19
Uzená makrela	145	Máslo	2,3
Pstruh	4	Jogurt bílý, 3,5 % tuku	18,7
Sleď	92	Vejce	22-30
Olomoucké tvarůžky	27	Sýr, Eidam, 30 % t. v. s.	7,0
Tvaroh tučný i polotučný	19,0	Kapr obecný (syrové maso)	0

Zdroj: Jód | Nutridatabaze.cz., RYŠAVÁ A LISNÍKOVÁ (2014)

Tabulka 2: Obsah jódu v běžných potravinách v mg/kg

Potravina	Obsah jódu (mg/kg)	Potravina (sušiny)	Obsah jódu (mg/kg)
Jahody	0,09	Káva	0,023
Pomeranče	0,008	Kakao	0,052
Arašidy	0,11	Med	0,035
Špenát	0,022–0,028	Těstoviny	0,043
Cibule	0,025	Houska	0,038
Vepřové maso	0,009–0,016	Pšeničný a žitný chléb	0,024
Kuřecí maso	Méně než 0,005	Jelito	0,077
Hovězí maso	0,015–0,019	Játrová paštika	0,091
Treska	2,43	Rýže	0,021

Zdroj: KURSA et al. (1994); KVASNIČKOVÁ (1998); ANKE (2004); MARKALOUS a GREGOROVÁ (2007); VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ (2009a)

1.6.1.1 Potřeba příjmu jódu u člověka

Denní dávka jódu, která zabraňuje symptomům deficitů jódu v lidském organismu, se pohybuje mezi 50–75 μg . Avšak aby byla zajištěna určitá rezerva, doporučují se vyšší dávky (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009a).

Za běžných okolností je nutný denní přívod 150–200 μg , v období těhotenství a při rychlém růstu, například v pubertě, jsou tyto hodnoty 200–250 μg (ZAMRAZIL, 1999).

Tabulka 3: Doporučený denní příjem jódu pro různé období lidského života

Věk	Doporučený příjem jódu v µg
Děti předškolního věku (0-59 měsíců)	90
Školní věk (6-12 let)	120
Dospělí (12+ let)	150
Těhotné a kojící ženy	200

Zdroj: (WHO, 2007a)

1.6.2 Krmiva

Jak je uvedeno výše v kapitole *Potraviny*, koncentrace jódu je závislá na několika faktorech. ANKE (2004) dodává, že obsah jódu v krmivech může být ovlivněn i kontaktem rostliny během sklizně se zemí, což lze považovat za poměrně významné s ohledem na následný obsah jódu v krmivu a při konzervaci takové píce dochází k zachování vyššího množství jódu v silážích. Obsah jódu se snižuje během vegetace a při sušení a skladování dochází k jeho ztrátám (KROUPOVÁ et al., 2000). Obsah jódu v objemných krmivech je ovlivněn dobou sklizně. Variabilita obsahu jódu v objemných krmivech se během roku vlivem klimatických změn může značně lišit (TRÁVNÍČEK et al., 2004). V objemných krmivech kolísá koncentrace jódu mezi 0,1–0,9 mg·kg⁻¹ sušiny (McDOWELL, 1992). HERZIG a SUCHÝ (1996) prezentují, že z důvodů ztráty vody během skladování je obsah jódu v seně a silážových krmivech vyšší než v zelené hmotě.

Nároky organismu na přísun jódu vzrůstají ve spojitosti se zvýšeným metabolismem v období růstu, pohlavního dospívání, březosti a laktace. Vyšší příjem vyžaduje i rostoucí užitečnost, technologická i klimatická zátěž nebo vzájemné působení jódu s dalšími minerálními látkami (TRÁVNÍČEK a kol., 2011).

Jelikož není přirozený příjem jódu v České republice dostačující, musí být krmivo jódem suplementováno¹⁰ (KURSA et al., 1994). Za povolenou formu suplementace se pokládá jodid draselný, jodičnan vápenatý bezvodý, jodičnan vápenatý hexahydrát, jodičnan vápenatý monohydrát a jodované nasycené mastné kyseliny (ČERMÁK et al., 2000).

¹⁰ *Suplementace* znamená doplňování, např. stravy o zdraví prospěšné mikroelementy.

Tabulka 4: Obsah jódu v plodinách v $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny

Plodina	Zelená píce	Semeno
Pšenice	40–90	60–360
Žito	470	80
Ječmen	120–290	50
Oves	140–670	110
Kukuřice	120–260	160
Vojtěška	160–330	–

Zdroj: (SOMMER et al., 1994)

1.7 Mléko

Mléko je mléčný sekret, který vylučují mléčné žlázy samic savců. Je určen pro výživu právě narozených mláďat, pro které představuje jedinou potravu (JANŠTOVÁ a NAVRÁTILOVÁ, 2014). Mléko některých živočišných druhů se využívá jako potravina ve formě mléka nebo se zpracovává na mléčné výrobky (WALSTRA et al., 2005).

Mléko každého druhu zvířat se od sebe chemicky a fyzikálně liší, podle potřeby jejich mláďat. Mléko pojímá látky nepostradatelné pro růst a vývoj mláďat jako například bílkoviny, tuky, sacharidy, minerální látky apod., aby zajistilo správné fyziologické funkce organismu, např. vytváření enzymů, hormonů nebo imunoglobulinů (JANŠTOVÁ a NAVRÁTILOVÁ, 2014).

Původní složky mléka, které vznikají během látkové přeměny v mléčné žláze, jsou přirozenou součástí mléka. Mezi tyto složky patří voda, tuky, bílkoviny, sacharidy a mimo jiné také enzymy, hormony, vitamíny, minerální látky, plyny, nebílkovinné dusíkaté látky, somatické buňky, organické kyseliny a antimikrobní látky (NAVRÁTILOVÁ et al., 2012).

Mléko je důležitý zdroj jódu v lidské výživě. Je také jedním z mála živočišných produktů, které můžeme konzumovat bez dalšího zpracování (DOLEŽAL et al., 2000). Koncentrace jódu v mléce je ovlivněna chemickou formou jódu v krmné dávce, fází laktace, ročním obdobím, strumigeny, použitím jodoforů, managementem zemědělského podniku, zpracováním mléka (FLACHOWSKY et al., 2014) či použitím veterinárních léčiv. Podle JELÍNKA et al., (2003) je množství jódu v mléce poměrně vysoké. Podle TRÁVNÍČKA et al., (2011) by se množství jódu v mléce mělo optimálně pohybovat kolem $100\text{--}200\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, ale podle KURSY et al. (2005) mezi $80\text{--}250\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. TRÁVNÍČEK et al. (2011) prezentuje, že hodnoty jódu mezi $50\text{--}80\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ představují nízký příjem a pokles množství jódu v mléce

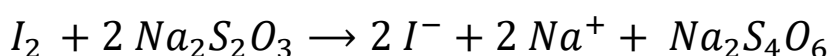
pod $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ je považován za hluboký jodový deficit. Naopak mléko s koncentrací jódu nad $250 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ představuje různý stupeň jeho nevhodného nadbytku (TRÁVNÍČEK et al., 2011a).

1.8 Metody stanovení jódu v potravinách

Ke stanovení jódu (jodidů) se používají metody mineralizace na suché cestě (zpopelňování, v přítomnosti KOH).

1.8.1 Metoda titrační

Jedná se o oxidaci jodidů bromovou vodou, reakci jódu s thiosíranem sodným, přičemž indikátorem je škrob.



(DAVÍDEK A VELÍŠEK, 2001)

1.8.2 Metoda spektrofotometrická

Spektrofotometrie patří mezi optické metody, zakládá se na absorpci ultrafialového a viditelného záření (200–800 nm) zředěnými roztoky molekul. Při této absorpci dochází k excitaci valenčních elektronů.

Platí zde Lambert-Beerův zákon:

$$A = \log \frac{\Phi_0}{\Phi} = c \cdot \varepsilon \cdot l$$

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100$$

Kde:

Φ je světelný tok vystupující z kyvety,

Φ_0 je světelný tok vstupující do kyvety,

A je absorbance,

T je transmittance (%),

c je látková koncentrace absorbující látky (mol/l),

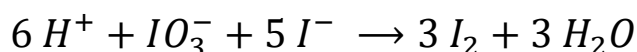
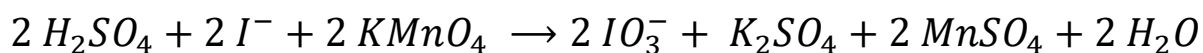
ε je molární absorpční koeficient (konstanta pro danou látku za daných podmínek a pro danou vlnovou délku v $\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$),

l je tloušťka absorbující vrstvy (cm).

Absorbance nebo transmittance se měří při nejvhodnější vlnové délce světla λ (nm). Tato vlnová délka je volena tak, že se proměří absorbance při určitých vlnových délkách a sestrojí se graf $A = f(\lambda)$.

Z absorpční křivky se určí maximum a odečte se nejvhodnější příslušná vlnová délka (HÁLKOVÁ et al, 2000).

Probíhá oxidace jodidů manganistanem draselným na jodičnany. Jód vznikne po reakci s jodidem a dojde k extrakci jódu.



(DAVÍDEK A VELÍŠEK, 2001)

Přímé spektrofotometrické stanovení jódu na základě extrakce jeho elementární formy nebo extrakce iontového asociátu některého aniontu jódu a kationtu bazického barviva (např. neutrální červeň, krystalová violet) do organického rozpouštědla (toluen, chloroform, benzen, nitrobenzen) je méně citlivé než další metody stanovení, které jsou uvedeny v následující kapitole *1.8.3 Další metody*.

Také vzhledem k velmi nízké koncentraci jódu v rostlinných a živočišných matricích se jako nejvhodnější jeví kinetické spektrofotometrické stanovení jódu založené na redoxní reakci iontů Ce^{4+}/As^{3+} (Sandell-Kolthoffova reakce). Jedná se tedy o metodu, kterou jsme ke stanovení obsahu jódu v mléce použily. Průběh reakce Ce^{4+} je funkcí koncentrace jódu v roztoku, což umožňuje stanovení jódu z měření úbytku iontů Ce^{4+} (BROTÁNEK J., 2000).

K měření se používají buď jednodušší fotometry, anebo spektrofotometry. Mezi nejpoužívanější typy spektrofotometrů patří Spekol 11, 1100, 1200 UV-VIS nebo novější typy: WTW PhotoLab Spektral, Hewlett-Packard 8453E a Spectronic GENESYS 2PC (HÁLKOVÁ et al, 2000).

1.8.3 Další metody

Pro stanovení jódu v biologických materiálech lze použít celá řada dalších metod, např. metody elektrochemické (polarografie, iontově selektivní elektrody) a metody chromatografické, což může být např. iontová kapalinová chromatografie s elektrochemickou detekcí. Při analýze mléka byla použita na stanovení jódu, po převedení jódu na jodaceton či jodbutanon, i plynová chromatografie.

Dále také neutronová aktivační analýza, patřící mezi nejcitlivější metody stanovení stop jódu, je založena výhradně na měření radioaktivity isotopu ^{128}I , který vzniká při ozařování vzorků. Tato metoda byla aplikována i přes značnou technickou náročnost.

Stopová analýza vyžaduje předběžný rozklad biologické matrice. Můžeme použít mineralizaci suchou cestou v alkalickém prostředí a v přítomnosti fixativů (Na_2CO_3 ,

ZnSO₄), které snižují ztráty jódu těkáním a adsorpcí na povrch spalovacích nádob a navíc převádějí rušivé látky ve formy ve vodě nerozpustné. Mineralizace mokrou cestou anorganickými kyselinami způsobuje nežádoucí ředění vzorku, vyžaduje separaci jódu a zvyšuje tak nebezpečí kontaminace vzorku (BROTÁNEK J., 2000).

2 Experimentální část

2.1 Stanovení jódu

2.1.1 Princip metody

Ve vzorku je jód převeden na jodid alkalickou mineralizací na suché cestě, tj. spálení vzorku v přítomnosti hydroxidu draselného, síranu zinečnatého a chlorečnanu draselného.

Obsah jódu je stanoven spektrofotometrickou metodou dle Sandell-Kolthoffa, která je založena na oxidoredukční reakci Ce^{4+}/As^{3+} . Průběh reakce je závislý na koncentraci jódu ve vzorku, což umožní stanovení jódu z měření úbytku ceričitých iontů. Reakci ukončujeme přidáním brucinu, který tvoří s Ce^{4+} načervenalé chinoidní formy. Jejich absorbance se měří spektrofotometricky při vlnové délce 430 nm.

Metoda je vhodná pro stanovení celkového jódu v materiálech živočišného i rostlinného původu.

Stanovení ruší zejména přebytky chloridových iontů a látky reagující s Ce^{4+} .

2.1.2 Analyzované vzorky

Obrázek 1: Vzorky zakoupené v běžné obchodní síti



Tabulka 5: Analyzované vzorky

ČÍSLO VZORKU	NÁZEV VZORKU
1	Mléko Moravia, čerstvé, polotučné, pasterované, 1,5 % tuku
2	Acidofilní mléko KUNÍN, pasterované, 1,5 %tuku
3	Mléko CLEVER, polotučné, UHT, 1,5 % tuku
4	Mléko MADETA, Jihočeské, polotučné, UHT, 1,5 % tuku
5	Mléko PRAGOLAKTOS, plnotučné, UHT, 3,5 % tuku
6	Mléko TATRA, polotučné, UHT, 1,5 % tuku
7	Kefírové mléko KUNÍN, pasterované, 1,5 % tuku
8	Mléko BILLA, plnotučné, pasterované, 3,5 % tuku
9	Mléko CLEVER, plnotučné, pasterované, 3,5 % tuku
10	Mléko KUNÍN, Lehké ráno s nízkým obsahem laktózy, pasterované, 1,5 % tuku
11	Mléko OLMA, polotučné, pasterované, 1,5 %
12	Kefírové mléko, MLÉKÁRNA VALAŠSKÉ MEZIŘÍČÍ, nízkotučné; nízký obsah laktózy, pasterované, 1,1 % tuku
13	Mléko TATRA, plnotučné, 3,5 %, UHT
14	Mléko TESCO, plnotučné, 3,5 %, UHT
15	Mléko ARO plnotučné, 3,5% tuku
16	Syrové mléko, mlékárna Jihlava
17	Mléko pasterované, 73°, mlékárna Jihlava
18	Mléko pasterované, 90°, mlékárna Jihlava
19	Mléko ESL, 124°, mlékárna Jihlava
20	Mléko pasterizované, speciál, 95°, mlékárna Jihlava
21	Mléko pasterované, speciál, 105°, mlékárna Jihlava

2.1.3 Použité chemikálie

- hydroxid draselný p. a. (Penta, ČR)
hydroxid draselný, roztok 2 mol. l⁻¹
hydroxid draselný, roztok 0,33 mol. l⁻¹
- síran zinečnatý p. a. (Sigma-Aldrich, Německo)
síran zinečnatý, 10% roztok
- chlorečnan draselný p. a. (Sigma-Aldrich, Německo)
- brucin (Sigma-Aldrich, Německo)
- oxid arsenitý p. a. (Sigma-Aldrich, Německo)
- síran ceričitoamonný p. a. (Sigma-Aldrich, Německo)
- kyselina sírová, konc. p. a. (Penta, ČR)
- kyselina octová, ledová p. a. (Penta, ČR)
- jodid draselný p. a. (Penta, ČR)
- chlorid sodný p. a. (Penta, ČR)
- certifikovaný referenční materiál BCR-063R Skim Milk Powder s obsahem jódu 0,81 ± 0,05 ug/g (Institut for Reference Materials and Measurement, Belgie)

2.1.4 Použité laboratorní sklo a pomůcky

- zkumavky z těžkotavitelného skla (12 ml)
- centrifugační zkumavky
- zkumavky zábrusové 20 ml se zátkami
- odměrné válce 250 ml
- odměrné baňky 10, 50, 100, 250, 500 a 1000 ml
- automatické pipety 200–1000 µl, 1–5 ml
- pipeta 10 ml
- odměrný dávkovač 1–5 ml (2 ks)
- odměrný dávkovač 0–0,5 ml
- kádinky 25–50 ml
- skleněné tyčinky
- stojany na zkumavky
- vodní lázeň

2.1.5 Použité přístroje a vybavení

- muflová pec s programovatelnou teplotou (LAC Rajhrad, ČR)
- přístroj na přípravu deionizované vody Aqua Osmotic 02 (Tišnov, ČR)
- analytické váhy AB 204 (Mettler Toledo, USA)
- ultrazvuková lázeň (Kraintek, ČR)
- centrifuga Herme (Labortechnik GmbH, Německo)
- spektrofotometr Specol 11 (Zeiss Jena, Německo)
- třepačka vortex IKA MS 3 Digital (Laboratory Equipment, USA)
- sušárna Memert (Schwabach, Německo)

- vodní lázeň GFL 1013 (Labortechnik mbH, Německo)

2.1.6 Postup práce

2.1.6.1 Příprava roztoků

Příprava roztoku arsenu:

V 100 ml vody rozpustíme 58,4 g NaCl. V dalších 100 ml vody rozpustíme 5,93 g As₂O₃ a 6 g KOH. 120 ml koncentrované kyseliny sírové zředíme vodou na 500 ml. Ke zředěné kyselině sírové přidáme roztoky NaCl a As₂O₃ a doplníme vodou na 1000 ml a tím vytvoříme roztok arsenu.

Příprava roztoku ceru:

Roztok Ce⁴⁺ připravíme rozpuštěním 1,58 g (NH₄)₄Ce(SO₄)₄ · 2H₂O v 50 ml vody a 40 ml koncentrované kyseliny sírové. Směs doplníme vodou na 500 ml.

Příprava roztoku brucinu:

Ve směsi vody rozpustíme 1 g brucinu a 1,2 ml ledové kyseliny octové, doplníme vodou na 100 ml.

Příprava 2M roztoku hydroxidu draselného

2M roztok připravíme rozpuštěním 56,1 g KOH v 500 ml vody.

Příprava 0,33M roztoku hydroxidu draselného

0,33 M roztok připravíme rozpuštěním 9,2 g KOH v 500 ml vody

Příprava 10% roztoku síranu zinečnatého:

10 g síranu zinečnatého rozpustíme ve vodě na celkovou hmotnost 100 g roztoku.

2.1.6.1.1 Příprava vzorku

Použijeme zkumavky z těžkotavitelného skla, do nichž napipetujeme 1 ml mléka, přidáme 1 ml 2M KOH, 1 ml 10% roztoku ZnSO₄ a několik krystalků KClO₃. Obsah zkumavky promícháme. Poté zkumavky s takto připravenými vzorky vysušíme v sušárně při 105 °C do sucha. Vysušený vzorek přemístíme do muflové pece a spalujeme s postupným nárůstem teploty do 600 °C podle teplotního programu, který je uveden v tabulce číslo 6.

Tabulka 6: Teplotní program pro spalování

Čas (min)	Teplota (°C)
0	laboratoř
60	200
120	200
140	300
170	300
190	400
220	400
240	500
250	500
310	600
490	600

Obrázek 2: Muflová pec



Popel po vychladnutí suspendujeme do 6 ml vody, promícháme skleněnou tyčinkou a zbytky popela odstraňujeme ze stěn zkumavky. Zkumavku se suspenzí umístíme na cca 10 minut do ultrazvukové lázně. Obsah zkumavky převedeme do centrifugační zkumavky a odstředíme při 5000 ot/min/5 min.

2.1.6.2 Spektrofotometrické stanovení

2.1.6.2.1 Standartní roztoky a kalibrace KI

Základní roztok (A)

Základní roztok (A) jodidu draselného o koncentraci 1000 mg I v 1000 ml vody připravíme rozpuštěním 1308 mg KI v 1000 ml vody.

Pracovní roztok (B)

Do 100 ml odměrné baňky nalijeme 10 ml roztoku A a po rysku doplníme vodou. Koncentrace tohoto roztoku (B) je 100 mg I/l, tj. 0,1 mg I/ml.

Pracovní roztok (C)

Do 100 ml odměrné baňky nalijeme 1 ml roztoku B a po rysku doplníme vodou. Koncentrace tohoto roztoku (C) je 1 mg I/l, tj. 1,0 µg I/ml.

Kalibrační roztoky

0,5 ml roztoku (C) doplníme do 50 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 0,5 µg I/50 ml, tj. 10 µg I/l, tj. 10 ng I/ml

0,2 ml roztoku (C) doplníme do 10 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 0,2 µg I/10 ml, tj. 2 µg I/100 ml, tj. 20 µg I/l, tj. 20 ng I/ml

0,3 ml roztoku (C) doplníme do 10 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 0,3 µg I/10 ml, tj. 3 µg I/100 ml, tj. 30 µg I/l, tj. 30 ng I/ml

0,5 ml roztoku (C) doplníme do 10 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 0,5 µg I/10 ml, tj. 5 µg I/100 ml, tj. 50 µg I/l, tj. 50 ng I/ml

1,0 ml roztoku (C) doplníme do 10 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 1,0 µg I/10 ml, tj. 10 µg I/100 ml, tj. 100 µg I/l, tj. 100 ng I/ml

2,0 ml roztoku (C) doplníme do 10 ml vodou

Koncentrace tohoto roztoku je 2,0 µg I/10 ml, tj. 20 µg I/100 ml, tj. 200 µg I/l, tj. 200 ng I/ml

Zpracování kalibrační řady (10–200 ng jódu)

Do zábrusové zkumavky umístíme 1 ml kalibračních roztoků C, 1 ml 2M KOH a 4 ml vody. Slepý vzorek vytvoříme smícháním 1 ml 2M KOH a 5 ml vody.

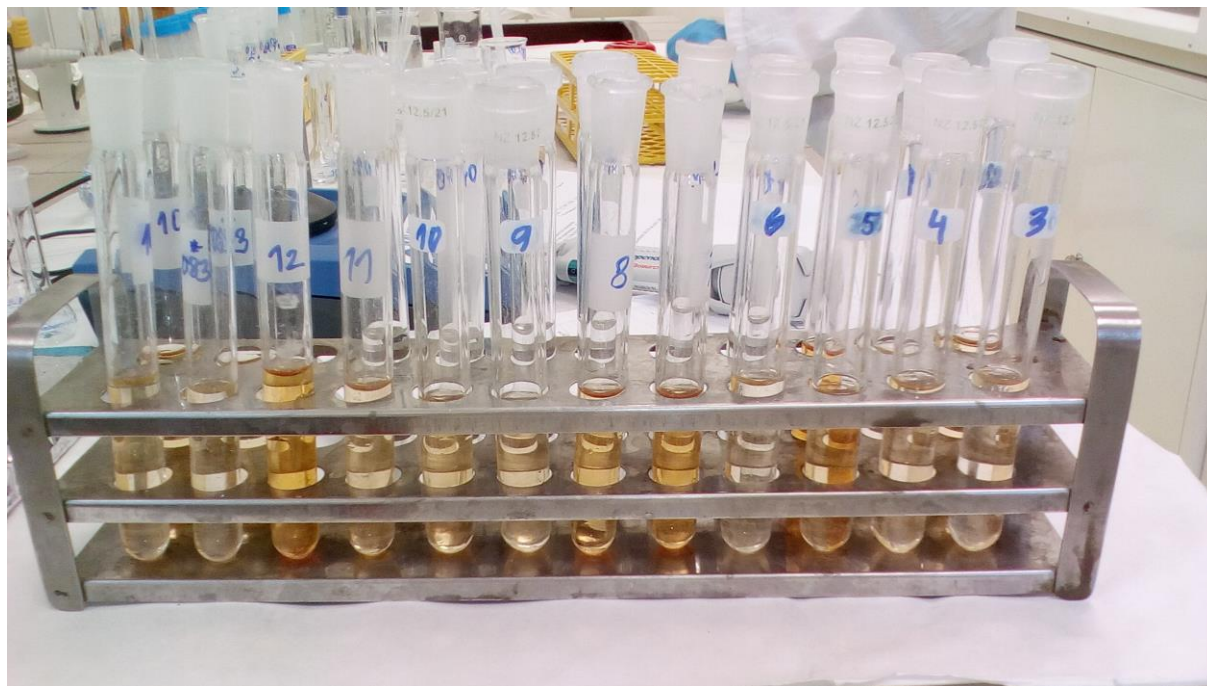
Kalibrační řada se nespaluje, zpracovává se souběžně s každou sérií vzorků.

Pro vlastní stanovení napipetujeme po 2 ml těchto roztoků do zkumavek.

2.1.6.2.2 Zpracování vzorku

Do zábrusových zkumavek dáme 1 ml supernatantu po alkalické hydrolyze, 1 ml 0,33M KOH a 2 ml pracovního roztoku As^{3+} . Obsah zkumavek promícháme a necháme inkubovat 10 min v ledové vodní lázni. Pak přidáme 2 ml roztoku Ce^{4+} a promícháme.

Inkubujeme ve vodní lázni při 40°C po dobu 20 min, pak 10 min ochladíme ve vodní lázni a přidáme 0,5 ml roztoku brucinu. Vložíme na 15 min při 105°C do sušárny.



Obrázek 3: Zbarvení vzorků po přidání 2 ml roztoku Ce^{4+}

Po ochlazení měříme absorbance při 430 nm proti vodě.

S každou sérií se stejným způsobem zpracovává kalibrační řada a slepý vzorek.

Vyhodnocení se provádí z hodnot absorbance metodou kalibrační přímky.

2.1.6.2.3 Spuštění přístroje na nastavení parametrů

Spektrofotometrické stanovení se provádí na přístroji Spekol 11 (obrázek 4). Přístroj zapneme a stiskneme tlačítko E (extinkce), čímž zvolíme požadovaný způsob měření. Šroubem nastavíme vlnovou délku na hodnotu 430 nm. Do dráhy paprsků vsadíme skleněnou kyvetu naplněnou deionizovanou vodou. Stisknutím tlačítka R přístroj vynulujeme.

2.1.6.2.4 Analýza vzorků

Provádí se dvojí paralelní stanovení. S každou sérií se zpracovává kalibrační řada a certifikovaný referenční materiál.

2.1.6.2.5 Kvantifikace

Z kalibrační křivky závislosti absorbance na koncentraci jódu, která je exponenciální, po zlogaritmování odečteme koncentraci jódu. Získanou hodnotu vynásobíme koeficientem zohledňujícím ředění vzorku, obsah jódu ve vzorcích vyjádříme v $\mu\text{g}/\text{kg}$ vzorku (BEDÁŇOVÁ A VEČEŘEK, 2007).

Obsah jódu vyjádřený v $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ng/g) vzorku vypočítáme ze vztahu:

$$\text{obsah jódu } [\mu\text{g}/\text{kg}] = c \cdot a/m$$

Kde:

c je koncentrace jódu v ng odečtena z kalibračního grafu,

a je zředovací faktor v případě použití jiného objemu mineralizátoru než 2 ml pro vlastní stanovení,

m je hmotnost navážky v gramech.

Obrázek 4: Spekol 11



2.1.6.3 Systém kontroly a zabezpečení jakosti

S každou sérií se zpracovává kalibrační řada, slepý vzorek a certifikovaný referenční materiál. Jako výsledek se uvádí aritmetický průměr hodnot zjištěných z 2 paralelních měření.

Správnost metody je kontrolována analýzami certifikovaného referenčního materiálu.

Systém statistické regulace je podchycen vedením regulačních diagramů příslušných BCR a slepých pokusů.

2.1.6.3.1 Mez detekce a mez stanovitelnosti

Mez detekce metody vypočítáme podle vztahu:

$$MD = \mu + 3 SD$$

Kde μ je průměrná koncentrace jódu ve slepých vzorcích a SD je směrodatná odchylka.

Mez stanovitelnosti (MS) vypočítáme podle rovnice:

$$MS = \mu + 10 SD$$

Mez detekce je 5,2 $\mu\text{g I/kg}$ při navážce 1g vzorku a mez stanovitelnosti je 15 $\mu\text{g I/kg}$ při navážce 1g vzorku.

2.1.6.4 Chyba stanovení

Průměrná SD_{rel} je 10% pro obsahy 10–1500 $\mu\text{g I/kg}$.

2.1.6.5 Kontrola výtěžnosti

Kontrola výtěžnosti postupu se provádí metodou standartního přídávku. Při této metodě se ke vzorku se známým obsahem jódu přidá před jeho zpracováním definované množství jódu ve formě roztoku. Výtěžnost je 96–100 % při koncentraci 15–1500 $\mu\text{g I/kg}$.

3 Výsledky

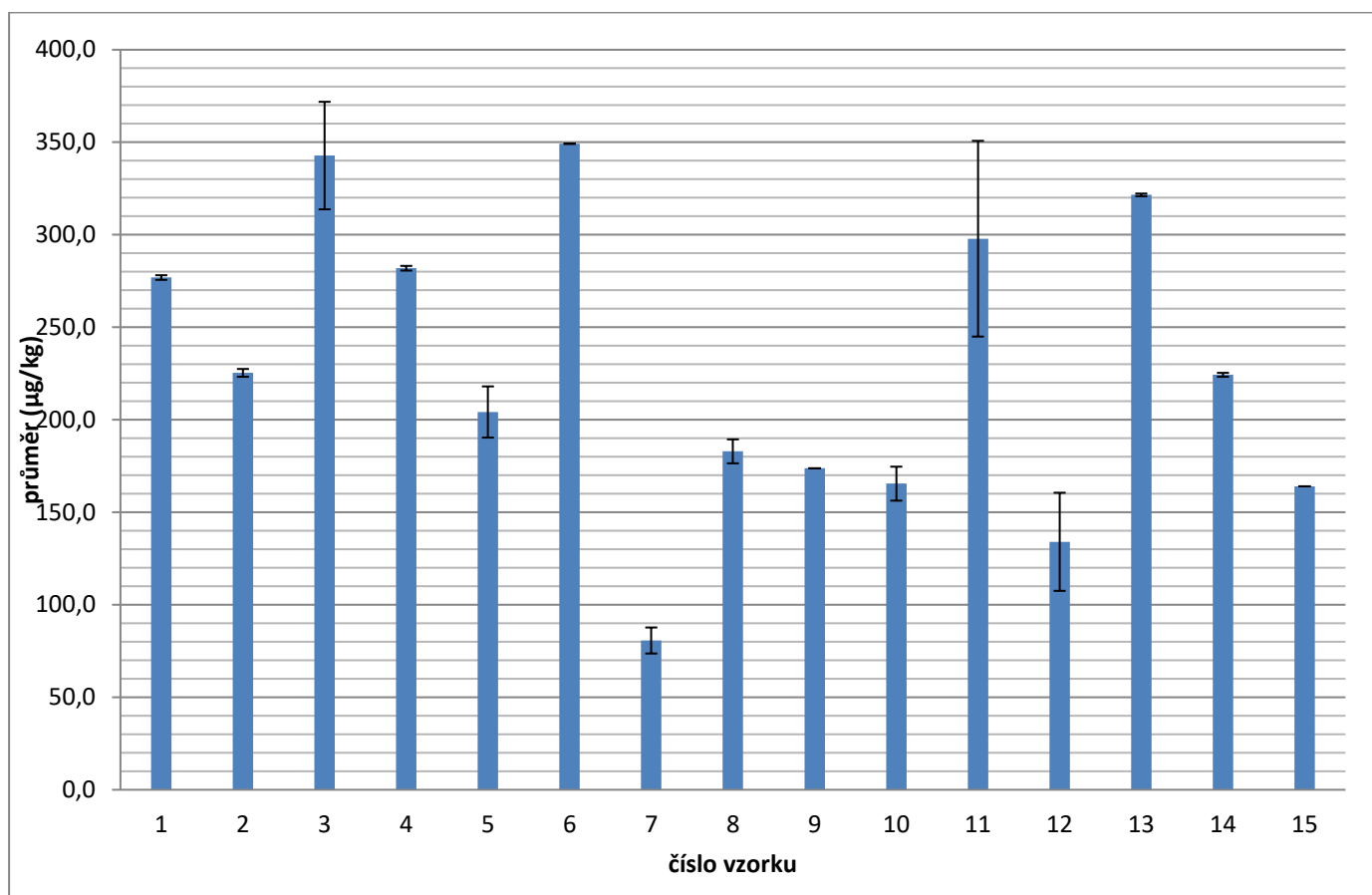
Ve spolupráci s Veterinární a farmaceutickou univerzitou v Brně, Ústavem hygieny a technologie mléka, jsme provedly pokusy, kdy byl každý vzorek analyzován ve dvou paralelních stanoveních, a dospěly jsme k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulkách 7 a 8. Obsah jódu ve všech vzorcích byl stanoven pomocí spektrofotometrické Sandell- Kolthoffovy metody. Pro lepší vizualizaci kolísání obsahu jódu v různých druzích mléka od různých výrobců jsme vytvořily i grafy.

Spolu s provedením dvojího paralelního stanovení byla zpracována i kalibrační řada a certifikovaný referenční materiál. Oba tyto dokumenty se nachází v přílohách této práce.

Tabulka 7: Obsah jódu v různých druzích mléka z běžné obchodní sítě

ČÍSLO VZORKU	Průměrná hodnota jódu (ug/kg)	SD (ug/kg)
1	277	1,2
2	225	2,1
3	343	29,0
4	282	1,3
5	204	13,8
6	349	0
7	81	7,0
8	183	6,5
9	174	0
10	166	9,2
11	298	52,9
12	134	26,5
13	322	0,7
14	224	1,1
15	164	0

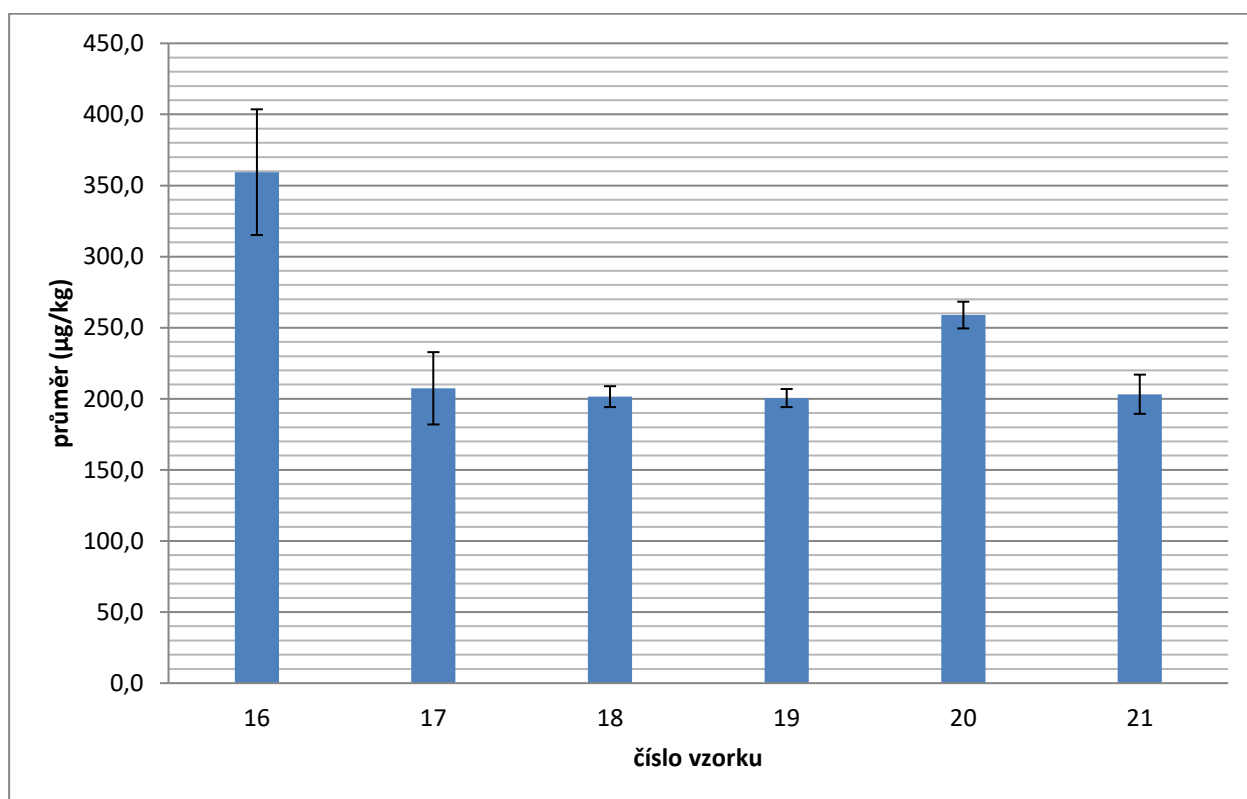
Graf 1: Obsah jódu v různých druzích mléka z běžné obchodní sítě – vychází z tabulky 7



Tabulka 8: Obsah jódu v různých vzorcích mléka z mlékáren Jihlava

ČÍSLO VZORKU	Průměrná hodnota jódu (ug/kg)	SD (ug/kg)
16	359	44,2
17	207	25,4
18	202	7,4
19	201	6,4
20	259	9,4
21	203	13,8

Graf 2: Obsah jódu v různých vzorcích mléka z mlékáren Jihlava – vychází z tabulky 8



Nejnižší hodnotu obsahu jódu v mléce jsme zaznamenaly u vzorku číslo 7, tedy u pasterovaného keffírového mléka KUNÍN, která činí 81 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Nejvyšší hodnotu jsme pozorovaly u vzorku číslo 16, což je syrové mléko z mlékárny Jihlava. Tato hodnota činí 359 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Průměrný obsah jódu ve všech jednadvaceti vzorcích je 231 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

4 Diskuze

Devět námi zjištěných hodnot měření obsahu jódu v mléce odpovídá požadovaným normám, které jsou uvedeny v kapitole *Mléko*. Existuje více názorů stanovující optimální hodnotu obsahu jódu v mléce. Například JELÍNEK et al. (2003) označuje množství jódu v mléce jako poměrně vysoké. Naproti tomu TRÁVNÍČEK et al. (2011) uvádí optimální hodnotu koncentrace tohoto prvku mezi 100–200 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, přičemž podle KURSY et al. (2005) se tyto hodnoty pohybují mezi 80–250 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Proto usuzujeme, že ideální hodnota koncentrace jódu v mléce je asi kolem 200 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

Tabulky číslo 7 a 8 v části *Výsledky* (Tabulka 7: Obsah jódu v různých druzích mléka z běžné obchodní sítě a Tabulka 8: Obsah jódu v různých vzorcích mléka z mlékáren Jihlava) ukazuje hodnoty obsahu jódu v mléce, které jsme při našem měření získaly. Na základě těchto hodnot jsme určily průměrný obsah jódu v mléce jako 231 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, což můžeme považovat za optimální hodnotu koncentrace, protože je téměř rovna doporučeným hodnotám v předchozím odstavci.

Jeden litr mléka váží přibližně jeden kg, z čehož vyplývá, že jeden litr mléka obsahuje podle našich průměrných hodnot 231 μg jódu (100 ml mléka obsahuje průměrně 23,1 μg). Na základě Tabulky 3 (Tabulka 3: Doporučený denní příjem jódu pro různé období lidského života) v kapitole *Potřeba příjmu jódu u člověka* by děti do 5 let měly přijmout 90 $\mu\text{g}/\text{den}$, což je podle našich dat přibližně 400 ml mléka, u starších dětí činní doporučená denní dávka jódu 120 $\mu\text{g}/\text{den}$, což je 525 ml mléka, osoby starší dvanácti let, které mají doporučeno denně přijmout 150 μg jódu, by musely vypít asi 650 ml mléka za den. U žen v očekávání a kojících žen je doporučená denní dávka 200 $\mu\text{g}/\text{den}$. Pro tyto ženy by tedy bylo velmi vhodné vypít 870 ml mléka za den. Je zřejmé, že tak velkou dávku mléka je obtížné denně zkonsumovat. Zároveň pro lidi s nesnášenlivostí laktózy a alergií na mléčnou bílkovinu nebo jinými onemocněními trávicího ústrojí je podobná konzumace téměř nemožná. Z tohoto důvodu navrhuje vhodnou alternativu jiné potraviny, jako jsou mořské řasy a ryby, další mléčné výrobky, jako například jogurt nebo tvaroh, vejce, některé druhy masa apod. (viz kapitola *Zdroje jódu; Potraviny*).

Nejvyšší námi naměřená hodnota obsahu jódu v mléce byla 359 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ u vzorku číslo 16. Toto mléko svou koncentrací jódu představuje riziko nadbytečného příjmu jódu, kdy je hranice stanovena na 250 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a více. Nejméně jódu obsahoval vzorek 7, a to 81 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Toto mléko svou koncentrací jódu hraničí s rizikem nedostatečného příjmu jódu, kdy podle TRÁVNÍČKA et al. (2011) jsou hodnoty nízkého příjmu jódu mezi 50–80 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a hodnoty pod 20 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ jsou považovány za hluboký jodový deficit.

Alespoň přibližné sjednocení obsahu jódu ve všech druzích mléka či mléčných výrobcích by mohlo sloužit skupinám obyvatel s onemocněními štítné žlázy, s jodovým deficitem nebo matkám i těhotným ženám k orientaci v množství přijímaného jódu ve své stravě.

5 Závěr

V naší práci jsme se zabývaly stanovením jódu v mléce.

Mléko je v našich podmínkách hlavním expozičním zdrojem tohoto stopového biogenního prvku, a proto je důležité jeho obsah v něm průběžně sledovat.

Cílem práce bylo získat aktuální údaje o přívodu jódu z konzumního mléka.

Obsah jódu v mléce je závislý ve značné míře na jeho množství obsaženém v krmivu, resp. na používání minerálních přísad do krmných směsí podávaných laktujícím samicím, a je velmi kolísavý.

Koncentraci jódu jsme zjišťovaly ve vzorcích mléka z tržní sítě. Byly analyzovány vzorky mléka syrového, pasterovaného, UHT a keřírového.

Provedly jsme literární rešerši problematiky obsahu a významu jódu v potravinách a po alkalické mineralizaci experimentální stanovení obsahu jódu v mléce spektrofotometrickou metodou dle Sandell-Kolthoffa, při které je průběh redoxní reakce As^{3+}/Ce^{4+} závislý na obsahu jódu přítomného ve vzorku. Výsledky našich analýz jsou v souladu s nálezy ve studiích zabývajících se obsahem jódu v konzumním mléku v ČR a mohou být příspěvkem k průběžnému monitoringu obsahu jódu v potravinách spotřebního koše ČR.

Naše měření ukázala, že u jednotlivých druhů mléka se průměrné hodnoty velmi liší, z čehož můžeme vyvodit vysokou diferenciaci koncentrací jódu u jednotlivých produktů mlékáren. Obsah jódu v námi vyšetřovaných vzorcích se pohyboval v rozmezích hodnot $134 \pm 26,5 \mu\text{g/l} - 349 \pm 0 \mu\text{g/l}$, průměrná hodnota byla $231 \pm 16,7 \mu\text{g/l}$, medián $207 \pm 25,4 \mu\text{g/l}$. U keřírového mléka (vzorek 7) byla nalezena koncentrace $81 \pm 7,0 \mu\text{g/l}$. U vzorků mléka, které byly ošetřeny různými způsoby pasterace, nebyly zjištěny významné rozdíly v obsahu jódu.

V ČR, kde díky geografickým a geologickým podmínkám jsme tradičně jódově deficitní oblastí, je důležité zajištění kontrolované suplementace krmných dávek jódem a sledování aktuální situace obsahu jódu v mléce průběžným monitoringem.

Z důvodu rizika poruch štítné žlázy a jiných chorob související s nedostatkem či nadbytkem jódu v organismu je vhodné spotřebitele uvědomovat o důležitosti konzumace mléka jako mj. důležitého zdroje jódu v našem jódově deficitním prostředí.

6 Literatura

1. ANKE M.: Iodine. In: MERIAN E., ANKE M., IHNAT M., STOEPLER M.: *Elements and Their Compounds in the Environment*. Weinheim: Wiley-WCH, 2004, s. 1457-1493. ISBN 3-527-30459-2.
2. BENEŠOVÁ M., PFEIFEROVÁ E., SATRAPOVÁ A.: *Odmaturuj! z chemie*. 2., přeprac. vyd. Brno: Didaktis, c2014. Odmaturuj!. ISBN 978-80-7358-232-6.
3. BOBEK, S.: *Profilaktyka jodowa u zwierzat*. Medycyna Weterinaria, 1998, 54 (2), s. 80-86
4. BROTÁNEK J.: */Food and Feed Analysis/, I. Stanovení jódu v premixech a krmných směsích*. 2000. Str. 17-21
5. ČEŠKA R. et al.: *Interna*, 1.vydání, Praha/Kroměříž .: TRITON 2010,.ISBN: 978-80-387-423-0.
6. ČEŘOVSKÁ, J., BÍLEK, R., ZAMRAZILOVÁ H., HOSKOVCOVÁ, P., VOSÁTKOVÁ, M., 2006, *Změny v zásobení jodem české dospělé populace po eradikaci jodového deficitu a jejich příčiny*. Vnitřní lékařství. 52(10), s. 858-863.
7. ČERMÁK, B., KADLEC, J., MUDŘÍK, Z., LÁD, F., SUCHÝ, P., ŠOCH, M., ZEMAN, L.: *Základy výživy a krmení hospodářských zvířat*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2000. 165 s. ISBN 80- 7040-422-1.
8. DAVÍDEK J., a VELÍŠEK J.: *Analýza potravin*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1992. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-7080-163-8.
9. DOLEŽAL, O., HANUŠ, O., HLÁSNÝ, J., JÍLEK, F., VEGRICHT, J., PYTLOUN, J., KVAPILÍK, J.: *Mléko, dojení, dojírny*. Praha: Agrospoj, 2000, 241 s. ISBN nevedeno.
10. FLACHOWSKY G., FRANKE K., MAYER U., LEITERER M., SCHÖNE F.: *Influencing factors on iodine content of cow milk*. European Journal of Nutrition. 2014, 53: 351-365.
11. FUGE R.: *Iodine deficiency: An ancient problem in a Modern Word*. Ambio, 2007, 36:70-72.
12. GREENSPAN F. S., BAXTER J. D.: *Základní a klinická endokrinologie*. Jinočany: H & H, 2003, 843 s. ISBN 80-86022-56-0.
13. GREENWOOD N., EARNSHAW A.: *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993, s. 794-1635. ISBN 80-85427-38-9.
14. HÁLKOVÁ J., RIEGLOVÁ J., RUMÍŠKOVÁ M.: *Fyzikální chemie laboratorní cvičení díl I.*, Brno, vydal RNDr. Ivan Straka, 2000, s. 48-49, ISBN 80-902775-0-0.
15. HERZIG I., SUCHÝ P.: *Actual experience of importance iodine for animals*. Veterinární medicína, 1996, 41: 379-386.

16. ILLEK J.: *Funkce minerálních látek*. In: JELÍNEK P., KOUDELA K., DOSKOČIL J., ILLEK J., KOTRBÁČEK V., KOVÁŘŮF., KROUPOVÁ V., KUČERA M., KUDLÁČE., TRÁVNÍČEK J., VALENT M.: *Fyziologie hospodářských zvířat*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003, s. 173-188. ISBN 80-7157-644-1.
17. JANŠTOVÁ, B., NAVRÁTILOVÁ P., 2014. *Produkce mléka a technologie mléčných výrobků*. Brno: VFU Brno. ISBN 978-80-7305-712-1.
18. JELÍNEK P.: *Endokrinologie*. In: JELÍNEK P., KOUDELA K., DOSKOČIL J., ILLEK J., KOTRBÁČEK V., KOVÁŘŮF., KROUPOVÁ V., KUČERA M., KUDLÁČE., TRÁVNÍČEK J., VALENT M.: *Fyziologie hospodářských zvířat*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003b, s. 248-298. ISBN 80-7157-644-1.
19. JISKRA J.: *Poruchy štítné žlázy*. Praha: Nakladatelství Mladá fronta a. s., 2011, 46 s. ISBN 978-80-204-2456-3.
20. JURŠÍK F.: *Anorganická chemie nekovů*. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická v Praze, 2001, 228 s. ISBN 80-7080-417-3.
21. KAIHO T.: Overview. In: Kaiho T.: *Iodine Chemistry and Applications*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014, s. 1-6. ISBN 978-1-118-46629-2.
22. KVASNIČKOVÁ A.: *Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě*. Praha: ÚZPI, 1998, 128 s. ISBN 80-85120-94-1.
23. KROUPOVÁ V., KURSA J., MATOUŠKOVÁ E., ŠACHOVÁ E.: *Nezbytnost suplementace jódu ve výživě krav v horské oblasti Šumavy*. Silva Gabreta, 2000, 5: 179- 186.
24. KURSA, J., HERZIG. I., TRAVNICEK. J., KROUPOVA V.: *Milk as a food source of iodine for human consumption in the Czech Republic*. Acta Veterinaria Brno, 2005, 74 (2), s. 255–264.
25. KURSA J., KROUPOVÁ V., KRATOCHVÍL P.: *Společně proti výskytu strumy: Jihočeské zkušenosti s řešením jodového deficitu u zvířat*. Zemědělec, 1994, 6: 8-10.
26. MAREK, V.: *Něco v síti: fejetony, které vycházely od roku 1997 na internetu na adrese <http://svet.namodro.cz>*. Praha: Dharma Gaia, 1999. ISBN 80-86013-57-X.
27. MARKALOUS B., GREGOROVÁ M.: *Nemoci štítné žlázy*. Praha: Triton, 2007, 197s. ISBN 80-7254-961-8.
28. MCDOWELL L. R.: *Minerals in Animal and Human nutrition*. London: Academic Press, 1992, 524 s. ISBN 978-0-444-51367-0.
29. MILLER J. K., SWANSON E. W., SPALDING G. E.: *Iodine Absorption, Excretion, Recycling, and Tissue Distribution in the Dairy Cow*. Journal of Dairy Science, 1975, 58 (10): 1578-1593.

30. MLYNÁŘ P., ŠRÁMEK D.: *Jód a jeho sloučeniny v magistraliter přípravě*. Edukafarm, 2011, 3, 15-17.
31. OLIVERIUSOVÁ, L.: *Obsah jódu v prostředí v ČR*. In: Sborník "Jak řešit nedostatek jódu v naší výživě". Praha: Státní zdravotní ústav, 1997, s. 8
32. PETROVICKÝ P.: *Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi. II. Svazek, Orgány a cévy*. Martin: Osveta, c2001. ISBN 80-8063-045-3.
33. PHILLIPS, D. I. - NELSON, M. - BARKER, D. J. - MORRIS, J. A. - WOOD, T. J.: *Iodine in milk and the incidence of thyrotoxicosis in England*, Clin. Endocrinol (Oxf.), 28(1), 1988, s. 61-66
34. PORŠOVÁ-DUTOITI.: *Endokrinologie v praxi*. Praha: Grada, 1996, 159 S. ISBN 80-7169-220-4.
35. RACEK P.: *Benigní onemocnění štítné žlázy*. In: VLČEK P., VONDRA K., HAMPL R., HERESOVÁ J., KŘENEK M., RACEK P., VRBLÍKOVÁ J., ZAMRAZIL V.: *Učební texty k praktickým cvičením z endokrinologie*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Karolinum, 2008, s. 22-39. ISBN 978-80-246-1571-4.
36. REECEW. O.: *Fyziologie domácích zvířat*. Praha: Grada, 1998, 456 s. ISBN 80-7169-547-5.
37. REMY H.: *Anorganická chemie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971, 862 s.
38. RICHTER, D. - MERZWEILER, A.: *Jodgehalte Landwirtschaftlich genutzen böden der DDR*. In: Anke, M.: Spurenelement-symposium-Jod., 1986, s. 13-18
39. RYŠAVÁ L., KUBAČKOVÁ J., STRÁNSKÝ M.: *Jod- und Selengehalte in der Milch aus neun europäischen Ländern*. Ernährung, 2008, 32 (2): 65-68.
40. ŘEHŮRKOVÁ I., RUPRICH J.: *Dietární expozice jódu populace ČR a nejdůležitější dietární zdroje*. In: Sborník z X. konference "Zásobení jodem jako prevence tyreopatií a zdroje dietární expozice". Praha: Státní zdravotní ústav, 2013, s. 13-24.
41. SOMMER, A. ČEREŠŇÁKOVÁ, Z. FRYDRYCH, Z. -KRÁLÍK, O. KRÁLIKOVÁ, Z. KRÁSA, A. PAJDÁŠ, M. PETRIKOVIČ, P. POZDÍŠEK, J. ŠIMEK, M. TŘINÁCTÝ, J. VENCL, B. ZEMAN, L.: *Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro přežvýkavce*. ČZS VÚVZ Pohořelice 1994, 198 s.
42. SOVA Z., BUKVAJ J., KOUDELA K., KROUPOVÁ V., PJEŠČAK M., PODANÝ J.: *Fyziologie hospodářských zvířat*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1990, 469 s. ISBN 80-209-0092-6.
43. ŠMARDA J.: *Nová generace imunoproteinového doplňku*, Press Release, 2000
44. TRÁVNÍČEK J., KROUPOVÁ V., ŠOCH M.: *Iodine content in bulk feeds in western and Southern Bohemia*. Czech Journal of Animal Science, 2004, 49: 483-484.

45. TRÁVNÍČEK, J., HERZIG, I., KROUPOVÁ, V., PEŠINOVÁ, H., RICHTEROVÁ, J., STAŇKOVÁ, M.: *Vývoj obsahu jodu v kravském mléce v České Republice*. Veterinářství, 2009, 59 (9), s. 558-560.
46. TRÁVNÍČEK, J., KROUPOVÁ, V., HANUŠ, O., FIALA, K., ZELENÝ, R., KONEČNÝ, R., STAŇKOVÁ, M.: *Nutnost kontinuálního sledování suplementace dojených krav jodem*. Veterinářství, 2011a, 61 (5), s. 273-275.
47. TRÁVNÍČEK J., KROUPOVÁ V., DUŠOVÁ H., KRHOVJÁKOVÁ J., KONEČNÝ R.: *Optimalizace obsahu jódu v kravském mléce*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011b, 56 s. ISBN 978-80-7394-328-8.
48. UNDERWOOD, E. J.: *Trace elements in human and animal nutrition*. 4. vyd., London, Academy Press 1977, 545 s.
49. VELIKÝ, I.: *Mikroelementy v teorii a praxi*. Bratislava, Vydavateľstvo pôdohospodárskej literatury, 1. vyd., 1964, 194 s.
50. VELÍŠEK J., HAJŠLOVÁ J.: *Chemie potravin I*. Tábor: OSSIS, 2009a, 580 s. ISBN 978-80-86659-17-6.
51. VELÍŠEK J., HAJŠLOVÁ J.: *Chemie potravin II*. Tábor: OSSIS, 2009b, 623 s. ISBN 978-80-86659-16-9.
52. VÍTKOVÁ H., POTLUKOVÁ E.: *Suplementace jódu v období těhotenství a kojení*. FarmiNews, 2013, 3: 24.
53. WALSTRA P., WOUTERS J. T. M., GEURTS T. J., 2005. *Dairy science and technology*. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, ISBN 9781420028010.
54. ZAMRAZIL V., ČEŘOVSKÁ J.: *Jód a štítná žláza – Optimální příjem jódu a poruchy z jeho nedostatku*. Praha: Nakladatelství Mladá fronta a. s., 2014, 49 s. ISBN 978-80-204-3302-2.
55. ZAMRAZIL V.: In: STÁRKA L.: *Aktuální endokrinologie: vybrané kapitoly ze současné aktuální problematiky endokrinologie*. Praha: Maxdorf, 1999, s. 366-392. ISBN 80-85912-10-4.

6.1 Internetové zdroje

1. *Jód: několik nezbytných mikrogramů* | Článek | Vincentka - Zdraví z hlubin přírody. [online]. Copyright © 2018 VINCENTKA a.s. [cit. 14.02.2018]. Dostupné z: <http://www.vincentka.cz/cs/archiv/clanek-jod-nekolik-nezbytnych-mikrogramu>
2. *Jód: několik nezbytných mikrogramů* | Článek | Vincentka - Zdraví z hlubin přírody. [online]. Copyright © 2018 VINCENTKA a.s. [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.vincentka.cz/cs/archiv/clanek-jod-nekolik-nezbytnych-mikrogramu>

3. KOTYK A.: *Klasifikace transportních proteinů*, Chem. Listy. 2003, roč. 97, s. 37–40, [online],[cit.20.02.2018]Dostupné z: http://web.archive.org/web/20070929083146/http://www.vscht.cz/chem_listy/download/nom-protony.pdf
4. NutriDatabaze.cz – *Databáze složení potravin České republiky* [online] [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.nutridatabaze.cz/vyhledavani-potravin/podle-nutrientu/?id=39>
5. RYŠAVÁ L. A LISNÍKOVÁ P.: *Jak zajistit dostatek jódu*. SZÚ, 2014, [online],[cit. 14.02.2018]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czsp/edice/Nove/jak_zajistit_dostatek_jodu.pdf
6. *Štítná žláza*. Jodplus.cz. [online]. 2005- [cit. 2016-02-14]). Dostupné z: <http://www.jodplus.cz/stitna-zlaza.htm>)
7. WHO, 2001. *Assessment of Iodine Deficiency Disorders and Monitoring their Elimination. 2nd ed.* [online]. [vid. 2018-02-11]. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/61278/1/WHO_NHD_01.1.pdf
8. WHO, 2007a. *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. 3rd ed.* [online]. [vid. 2018-02-11]. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43781/1/9789241595827_eng.pdf
ISBN: 978 92 4 159582 7
9. *Strumigeny v potravě*. CELOSTNIMEDICINA.CZ | informační server o ZDRAVÍ a alternativní medicína [online]. [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <https://www.celostnimedicina.cz/strumigeny-v-potrave.htm>)
10. *Wikipedie*, [online] [cit. 20.02.2018].. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Clearance>
11. *Jedenáct potravin, ovlivňujících zdraví štítné žlázy* | VyváženéZdraví.cz.| Cítit se lépe [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://vyvazenezdravi.cz/11-potravin-ovlivnujicich-zdravi-stitne-zlazy>

7 Seznam použitých zkratk

ADHD – Attention Deficit Hyperactivity Disorder – hyperkinetická porucha

DIT – dijóđthyrozin

konc. – koncentrovaná (kyselina)

MIT – monojóđthyrozin

NIS – natrium-jodidový symportér

p. a. – pro analysi –označení chemikálií k analytickým účelům

SD – směrodatná odchylka

t. v s. – tuku v sušině

T3 – trijóđthyronin

T4 – tetrajóđthyronin neboli thyroxin

TSH – thyreoidální stimulační hormon neboli thyreotropin

WHO – Světová zdravotnická organizace

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Vzorky zakoupené v běžné obchodní síti.....	22
Obrázek 2: Muflová pec	26
Obrázek 3: Zbarvení vzorků po přidání 2 ml roztoku Ce^{4+}	28
Obrázek 4: Spekol 11.....	29
Obrázek 5: Dávkování připraveného roztoku do kyvety.....	47
Obrázek 6: Centrifuga používaná na odstředění vzorků	48
Obrázek 7: Odstředěné vzorky	48
Obrázek 8: Příprava vzorků.....	49
Obrázek 9: Ultrazvuková lázeň.....	49

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Obsah jódu v běžných potravinách v $\mu\text{g}/100\text{g}$	16
Tabulka 2: Obsah jódu v běžných potravinách v mg/kg	16
Tabulka 3: Doporučený denní příjem jódu pro různé období lidského života.....	17
Tabulka 4: Obsah jódu v plodinách v $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.....	18
Tabulka 5: Analyzované vzorky	23
Tabulka 6: Teplotní program pro spalování.....	26
Tabulka 7: Obsah jódu v různých druzích mléka z běžné obchodní sítě	31
Tabulka 8: Obsah jódu v různých vzorcích mléka z mlékáren Jihlava	33
Tabulka 9: Všechny údaje a výsledky	44
Tabulka 10: Kalibrační řada	45
Tabulka 11: Průměrná hodnota blanku (slepého vzorku)	45

10 Seznam grafů

Graf 1: Obsah jódu v různých druzích mléka z běžné obchodní sítě	32
Graf 2: Obsah jódu v různých vzorcích mléka z mlékáren Jihlava	33
Graf 3: Kalibrační graf	45

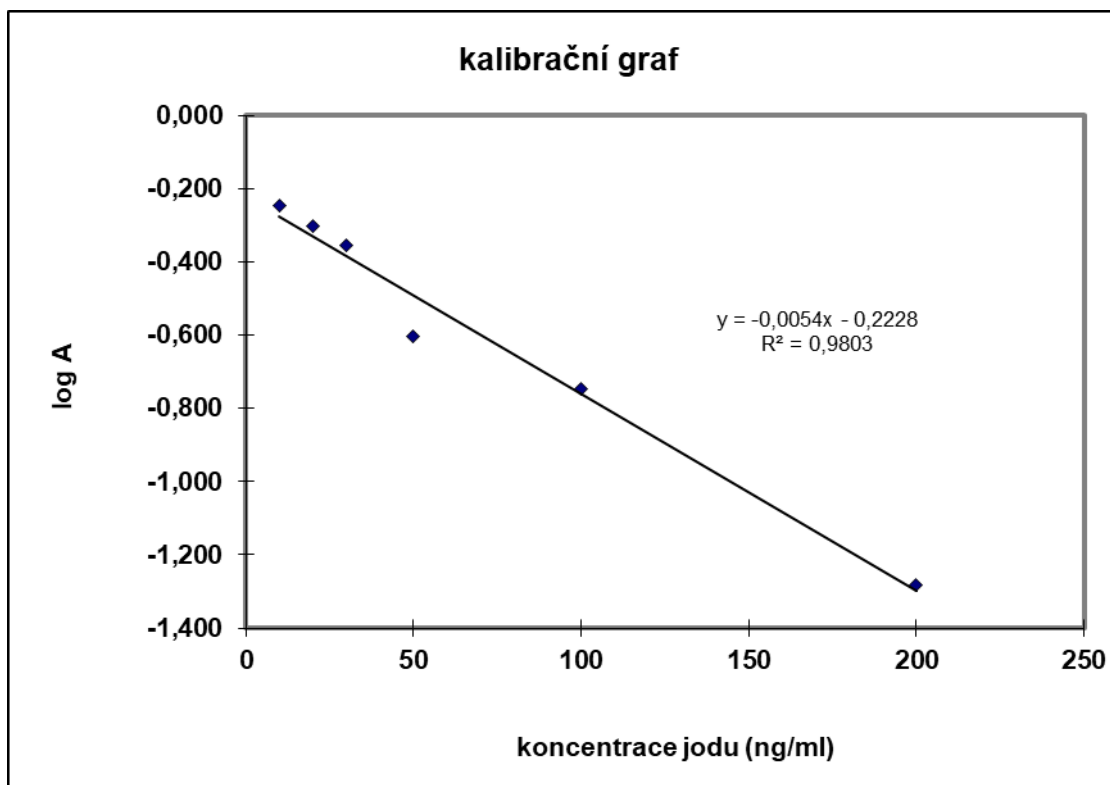
11 Přílohy

Tabulka 9: Všechny údaje a výsledky

název vzorku	m (g)	A	log A	supern (ml)	a	Cvz (ng/ml)	Cvz (µg/kg)	průměr	SD (µg/kg)	RSD (%)
SLP		0,616	-0,211			-0,85				
1a	1,000	0,254	-0,595	0,5	4,0	69,32	278	277	1,2	0,45
1b	1,000	0,256	-0,592	0,5	4,0	68,70	276			
2a	1,000	0,298	-0,526	0,5	4,0	56,65	227	225	2,1	0,94
2b	1,000	0,302	-0,520	0,5	4,0	55,60	223			
3a	1,000	0,227	-0,644	0,5	4,0	78,23	314	343	29,0	8,47
3b	1,000	0,189	-0,724	0,5	4,0	92,75	372			
4a	1,000	0,250	-0,602	0,5	4,0	70,58	283	282	1,3	0,45
4b	1,000	0,252	-0,599	0,5	4,0	69,95	281			
5a	1,000	0,335	-0,475	0,5	4,0	47,37	190	204	13,8	6,78
5b	1,000	0,307	-0,513	0,5	4,0	54,29	218			
6a	1,000	0,203	-0,693	0,5	4,0	87,09	349	349	0,0	0,00
6b	1,000	0,203	-0,693	0,5	4,0	87,09	349			
7a	1,000	0,484	-0,315	0,5	4,0	18,20	74	81	7,0	8,72
7b	1,000	0,463	-0,334	0,5	4,0	21,72	88			
8a	1,000	0,336	-0,474	0,5	4,0	47,14	189	183	6,5	3,54
8b	1,000	0,350	-0,456	0,5	4,0	43,90	176			
9a	1,000	0,353	-0,452	0,5	4,0	43,23	174	174	0,0	0,00
9b	1,000	0,353	-0,452	0,5	4,0	43,23	174			
10a	1,000	0,373	-0,428	0,5	4,0	38,86	156	165	9,2	5,55
10b	1,000	0,352	-0,453	0,5	4,0	43,45	175			
11a	1,000	0,202	-0,695	0,5	4,0	87,48	351	298	52,9	17,76
11b	1,000	0,282	-0,550	0,5	4,0	61,03	245			
12a	1,000	0,368	-0,434	0,5	4,0	39,93	161	134	26,5	19,79
12b	1,000	0,435	-0,362	0,5	4,0	26,67	108			
13a	1,000	0,221	-0,656	0,5	4,0	80,35	322	322	0,7	0,22
13b	1,000	0,222	-0,654	0,5	4,0	79,99	321			
14a	1,000	0,300	-0,523	0,5	4,0	56,12	225	224	1,1	0,47
14b	1,000	0,302	-0,520	0,5	4,0	55,60	223			
15a	1,000	0,364	-0,439	0,5	4,0	40,79	164	164	0,0	0,00
16a	1,000	0,226	-0,646	0,5	4,0	78,58	315	359	44,2	12,30
16b	1,000	0,171	-0,767	0,5	4,0	100,69	404			
17a	1,000	0,344	-0,463	0,5	4,0	45,27	182	207	25,4	12,27
17b	1,000	0,293	-0,533	0,5	4,0	57,99	233			
18a	1,000	0,331	-0,480	0,5	4,0	48,33	194	202	7,4	3,65
18b	1,000	0,316	-0,500	0,5	4,0	52,00	209			
19a	1,000	0,331	-0,480	0,5	4,0	48,33	194	201	6,4	3,17
19b	1,000	0,318	-0,498	0,5	4,0	51,50	207			
20a	1,000	0,262	-0,582	0,5	4,0	66,86	268	259	9,4	3,63
20b	1,000	0,278	-0,556	0,5	4,0	62,16	249			
21a	1,000	0,336	-0,474	0,5	4,0	47,14	189	203	13,8	6,79
21b	1,000	0,308	-0,511	0,5	4,0	54,04	217			

Kalibrace pro stanovení jódu

Graf 3: Kalibrační graf



Tabulka 10: Kalibrační řada

A	C (ng/ml)	logA
0,566	10	-0,247
0,497	20	-0,304
0,442	30	-0,355
0,250	50	-0,602
0,179	100	-0,747
0,052	200	-1,284

Tabulka 11: Průměrná hodnota blanku (slepého vzorku)

A _{bl} (ng/ml)	průměr (ng/ml)
0,566	0,616
0,665	

$$C = \frac{(a \cdot C_{vz} - C_{sl})}{m} \quad [\mu\text{g/kg}]$$

koncentrace jódu ve vzorku v

C: (ug/kg)

C_{vz}: koncentrace jódu v supernatantu v (ng/ml) odečtená z kalibrační. přímky

C_{sl}: koncentrace jódu v blanku v (ng/ml) odečtená z kalibrační přímky

a: koeficient ředění $a = 2/V_{sup}$

objem supernatantu odebraného k analýze v

V_{sup}: (ml)

m: navážka v (g)



EUROPEAN COMMISSION
 JOINT RESEARCH CENTRE
 Institute for Reference Materials and Measurements



**CERTIFIED REFERENCE MATERIAL
 BCR® – 063R**

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SKIM MILK POWDER					
	Mass fraction (based on dry mass)				Number of accepted sets of results p
	Certified value ¹⁾		Uncertainty ²⁾		
Ca	13.49	mg/g	0.10	mg/g	10
Cl	9.94	mg/g	0.30	mg/g	8
K	17.68	mg/g	0.19	mg/g	14
Mg	1.263	mg/g	0.024	mg/g	14
N	62.3	mg/g	0.8	mg/g	4
Na	4.37	mg/g	0.031	mg/g	9
P	11.10	mg/g	0.13	mg/g	5
Cu	0.602	µg/g	0.019	µg/g	14
Fe	2.32	µg/g	0.23	µg/g	11
I	0.81	µg/g	0.05	µg/g	4
Pb	18.5	ng/g	2.7	ng/g	5
Zn	49.0	µg/g	0.6	µg/g	13

1) Unweighted mean value of the means of p accepted sets of data, each set being obtained in a different laboratory and/or with a different method of determination. The values are traceable to the SI.
 2) Half-width of the 95 % confidence interval of the mean defined in 1).

This certificate is valid for one year after purchase.

Sales date: 12. Dez. 2012

The minimum amount of sample to be used is 100 mg for N, Ca, Mg, Na, K and P; 200 mg for I, Zn, Pb and 500 mg for Cl, Cu and Fe.

NOTE

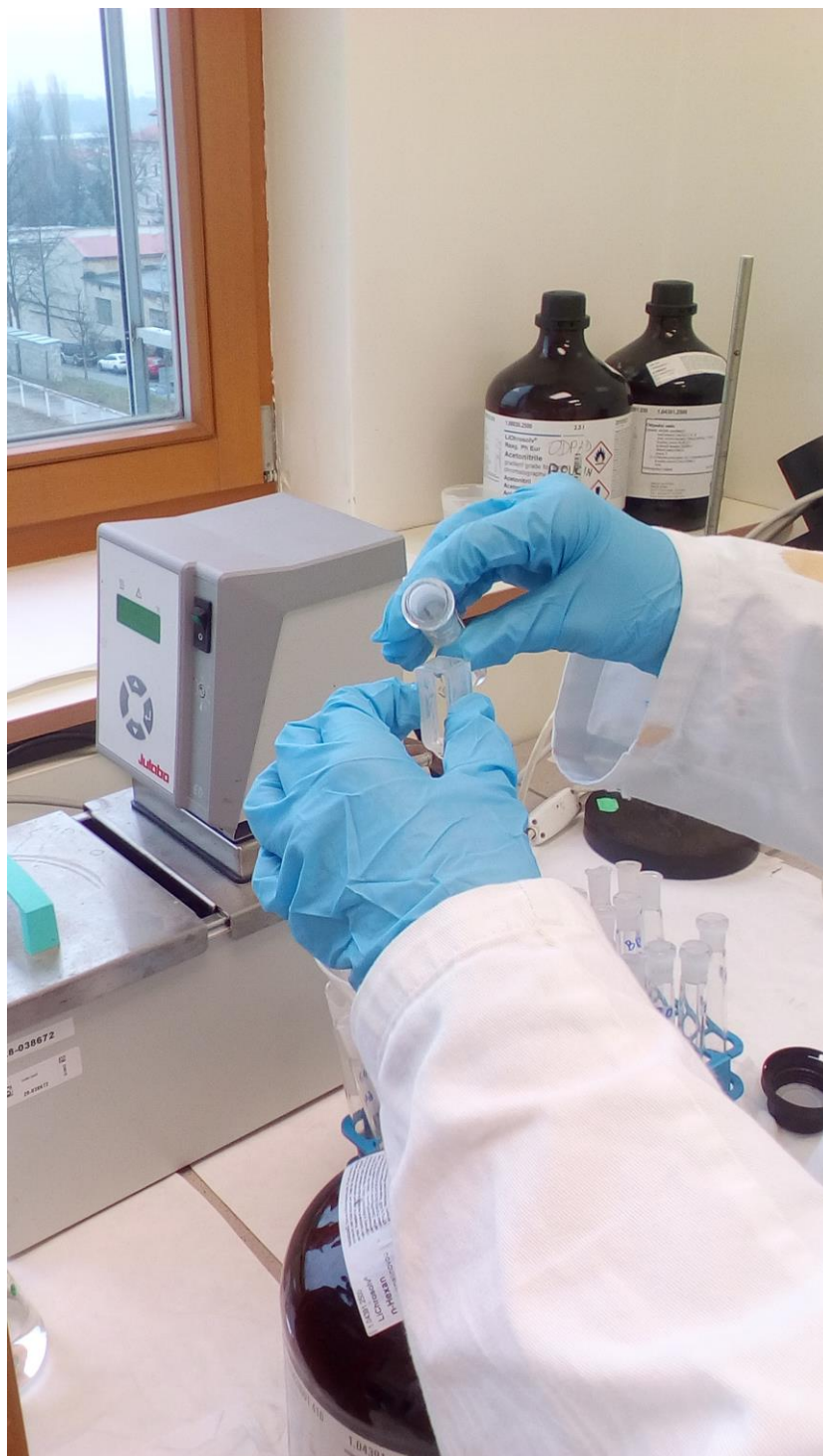
This material has been certified by BCR (Community Bureau of Reference, the former reference materials programme of the European Commission). The certificate has been revised under the responsibility of IRMM.

Brussels, February 1993
 Last revision: October 2006

Signed: _____

Prof. Dr. Hendrik Emons
 Unit for Reference Materials
 EC-DG JRC-IRMM
 Retieseweg 111
 2440 Geel, Belgium

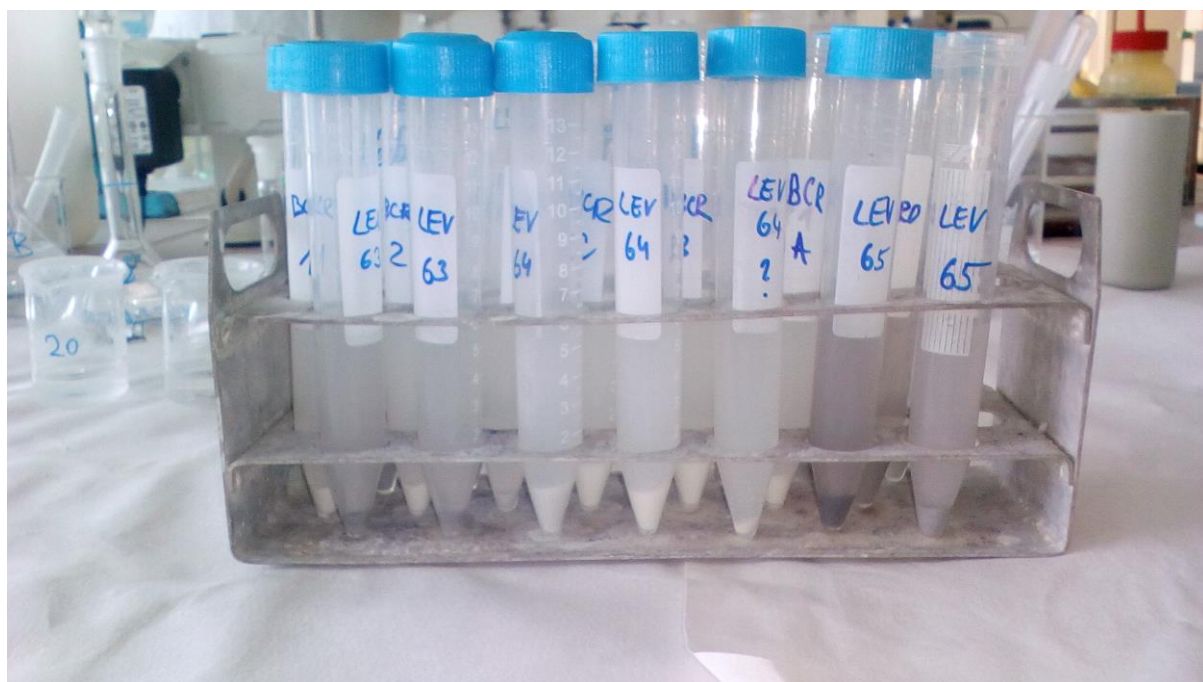
Obrázek 5: Dávkování připraveného roztoku do kyvety



Obrázek 6: Centrifuga používaná na odstředění vzorků



Obrázek 7: Odstředěné vzorky



Obrázek 8: Příprava vzorků



Obrázek 9: Ultrazvuková lázeň

