

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4103 Zootechnika

Studijní obor: Zootechnika

Katedra: Zootechnických věd

Vedoucí katedry: prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
ŠTÍTNÁ ŽLÁZA PRASAT

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Konečný, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: prof. Ing. Jan Trávníček, CSc.

Autor bakalářské práce: Petra Štěchová

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petra ŠTĚCHOVÁ**
Osobní číslo: **Z17193**
Studijní program: **B4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Zootechnika**
Téma práce: **Štítná žláza prasat**
Zadávající katedra: **Katedra zootechnických věd**

Zásady pro vypracování

Štítná žláza prostřednictvím hormonů reguluje řadu metabolických procesů v těle.
Nedostatečná nebo naopak zvýšená saturace zvířat jodem vedou k fyziologickým a morfologickým změnám.

Cílem práce je zhodnotit morfometrické parametry štítné žlázy jatečně poražených prasat

Zpracujete literární přehled o morfologii, fyziologii a patologii štítné žlázy.
Ve vybraném jatečném provozu odeberete od prasat štítnou žlázu.
Makroskopicky posoudíte stav štítné žlázy a připravíte vzorky k histologickému zpracování.
Morfometricky získáte data o délce, šířce, ploše folikulů a výšce thyreocytů.
Získané výsledky porovnáte s dostupnými literárními zdroji.

Rozsah pracovní zprávy: 25 – 35 stran
Rozsah grafických prací: 4 tabulky, 3 obrázky
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

Eurell, J. A. C., Frappier, B. L., Dellmann, H. D. (2006): Dellmann's textbook of veterinary histology. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 416 p.

Kameda, Y. (1984): Immunocytochemical studies on differentiation of the thyroid gland in rabbit fetuses and chick embryos. Histochemistry, 80(1), 23-29.

Li, Q., Mair, C., Schedle, K., Hammerl, S., Schodl, K., & Windisch, W.M. (2012): Effect of iodine source and dose on growth and iodine content in tissue and plasma thyroid hormones in fattening pigs. European journal of nutrition, 51 6, 685-691.

Nikiforov, Y.E., Biddinger, P.W., Thompson L. D. R. (2012): Diagnostic Pathology and Molecular Genetics of the Thyroid: A Comprehensive Guide for Practicing Thyroid Pathology. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, USA, 436 p.

Samuelson, D. A. (2007): Textbook of veterinary histology. 1st ed. St. Louis: Saunders-Elsevier, 560 s. ISBN0721681743.

Elektronické informační zdroje Akademické knihovny JU v Č. Budějovicích (internetové databáze): ISI Web of Knowledge (Web of Science), Pubmed, příslušné odborné a vědecké časopisy.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Konečný, Ph.D.
Katedra zootechnických věd

Konzultant bakalářské práce: prof. Ing. Jan Trávníček, CSc.
Katedra zootechnických věd

Datum zadání bakalářské práce: 25. března 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. června 2020



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA 
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůva 1000, 370 00 České Budějovice
L.S.



prof. Ing. Miloslav Soch, CSc., dr. h. c.
vedoucí katedry

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne:

Petra Štěchová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce, Ing. Romanu Konečnému, Ph.D. za pomoc a odborné rady a konzultantovi panu prof. Ing. Janu Trávníčkovi, CSc. A dále bych chtěla poděkovat vedení a pracovníkům podniku Maso Brejcha Blovice za umožnění odebrání vzorků

Abstrakt

Štítná žláza je významný endokrinní orgán, který zasahuje do celé řady procesů v organismu. Pro optimální produkci tyreoidálních hormonů je nezbytná dostatečná saturace zvířat jodem. Cílem bakalářské práce bylo zjistit zásobení jatečných prasat jodem a ve štítných žlázách vybraných jedinců také morfometrické parametry. Do studie bylo zařazeno 27 kastrováných kříženců plemen česká landrase a pietrain. Obsah jodu v moči byl stanoven pomocí spektrofotometrické metody dle Sandell – Kolthoffa. Mikroskopicky byly stanoveny parametry štítné žlázy: délka, šířka, zevní a vnitřní plocha folikulů a výška tyreocytů. Bylo také zjištěno zastoupení jednotlivých velikostních kategorií folikulů. Průměrný obsah jodu v moči byl u sledované skupiny $350,8 \pm 184,3 \mu\text{g/l}$, maximum $608 \mu\text{g/l}$ a minimum $76 \mu\text{g/l}$. Optimálně bylo satureováno jodem 44,44 % jedinců, u 11,11 % byl zjištěn deficit a u 44,44 % nadbytek jodu.

Průměrná délka folikulu štítné žlázy byla $149,3 \pm 64,8 \mu\text{m}$, šířka $105,9 \pm 50,6 \mu\text{m}$, zevní plocha $16810,6 \pm 18030,0 \mu\text{m}^2$, vnitřní plocha $14318,4 \pm 16985,2 \mu\text{m}^2$ a výška tyreocytů $6,2 \pm 2,6 \mu\text{m}$. Ve štítných žlázách byly zastoupeny z 9,4 % malé, z 62,8 % středních a z 27,8 % velké folikuly. Ve vybrané skupině jedinců byl prokázán dopad různé saturace zvířat jodem na veškeré sledované parametry štítných žláz.

Klíčová slova: prase, štítná žláza, morfometrie, folikuly, tyreocyty, jod, moč, saturace

Abstract

Thyroid gland is very important endocrine organ that interferes with a number of processes in the body. Sufficient iodine saturation of animals is essential for optimal production of thyroid hormones. The aim of the bachelor's thesis was to determine iodine supply of slaughter pigs and morphometric parameters of thyroid glands in selected individuals. The study included 27 castrated hybrids of Czech landrace and Pietrain. Iodine content in urine was determined using the Sandell - Kolthoff spectrophotometric method. Thyroid parameters were determined microscopically: length, width, outer and inner area of the follicles and thyrocyte height. The representation of individual size categories of follicles was also determined. The average content of urinary iodine in the observed group was $350.8 \pm 184.3 \mu\text{g/l}$, the maximum was $608 \mu\text{g/l}$ and the minimum was $76 \mu\text{g/l}$. Optimally saturated with iodine was 44.44 % of individuals, 11.11 % had a deficiency and 44.44 % an excess of iodine.

The average length of the thyroid follicle was $149.3 \pm 64.8 \mu\text{m}$, width $105.9 \pm 50.6 \mu\text{m}$, outer area $16810.6 \pm 18030.0 \mu\text{m}^2$, inner area $14318.4 \pm 16985.2 \mu\text{m}^2$ and thyrocyte height $6.2 \pm 2.6 \mu\text{m}$. In the thyroid glands was 9.4 % small, 62.8 % medium and 27.8 % large follicles. In the selected group of individuals, the impact of different iodine saturation of animals on all monitored thyroid parameters was demonstrated.

Keywords: pig, thyroid gland, morphometry, follicle, thyrocytes, iodine, urine, saturation

Obsah

1.	ÚVOD A CÍL.....	10
2.	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	11
2.1	Anatomie štítné žlázy	11
2.2	Mikroskopická stavba štítné žlázy.....	12
2.2.1	Folikulární epitelové buňky (tyreocyty).....	13
2.2.2	Koloid.....	14
2.2.3	Parafolikulární buňky.....	14
2.3	Cévní zásobení a inervace	14
2.4	Embryonální vývoj	15
2.5	Fyziologie štítné žlázy.....	16
2.5.1	Biochemie tvorby T_3 a T_4	16
2.5.2	Průběh syntézy T_3 a T_4	16
2.5.3	Uvolnění a transport T_3 a T_4	17
2.5.4	Funkce T_3 a T_4	17
2.5.5	Regulace sekrece	18
2.5.6	Kalcitonin.....	19
2.6	Nefyziologické stavy štítné žlázy.....	19
2.6.1	Hyperfunkce	19
2.6.2	Hypofunkce	20
2.7	Jod	20
2.7.1	Metabolizmus jodu.....	21
2.7.2	Vylučování	22
2.7.3	Potřeba jodu	22
2.7.4	Nedostatek jodu.....	22
2.7.5	Otrava jodem.....	23

3.	MATERIÁL A METODY	24
3.1	Odběr vzorků štítné žlázy	24
3.2	Histologické zpracování vzorků	24
3.3	Morfometrická analýza.....	25
3.4	Odběr moči	25
3.5	Analýza jodu v moči.....	25
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE	27
4.1	Obsah jodu v moči.....	27
4.2	Morfometrická analýza.....	27
4.2.1	Morfometrické parametry štítné žlázy prasat.....	27
4.2.2	Morfometrické parametry štítné žlázy prasat ve vztahu k saturaci organismu jodem.....	29
5.	ZÁVĚR	34
6.	SEZNAM ZKRATEK.....	36
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ	37
8.	SEZNAM TABULEK.....	37
9.	SEZNAM GRAFŮ	37
10.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	38

1. ÚVOD A CÍL

Štítná žláza se řadí mezi endokrinní žlázy. U prasete představuje kompaktní útvar umístěný na ventrolaterálním okraji průdušnice. Produkuje hormony trijodtyronin (T_3) a tyroxin (T_4), které ovlivňují celou řadu procesů v organismu. Jsou nepostradatelné pro vývoj a diferenciaci nervové soustavy, správný růst a vývoj organismu. Pro optimální fyziologickou funkci štítné žlázy je důležitá její dostatečná saturace jodem, která je předpokladem dostatečné tvorby tyreoidálních hormonů. Vzhledem ke geologickým podmínkám České republiky a tedy nízkým zásobám tohoto mikroelementu v půdě a následně v rostlinách, je přirozený příjem nedostatečný, takže je důležité jod do krmné dávky přidávat. U prasat byla prokázána vyšší citlivost na nedostatek jodu, avšak k nadbytku je tento druh tolerantnější než jiná hospodářská zvířata. Dysfunkce štítné žlázy u prasat způsobené nedostatkem anebo nadbytkem jodu nejsou časté, ale i tak by tomuto orgánu měla být věnována dostatečná pozornost, zejména u rostoucích zvířat.

Cílem práce bylo zhodnotit morfometrické parametry štítné žlázy jatečně poražených prasat, obsah jodu v moči a vliv saturace organismu jodem na jednotlivé morfometrické parametry štítné žlázy prasat.

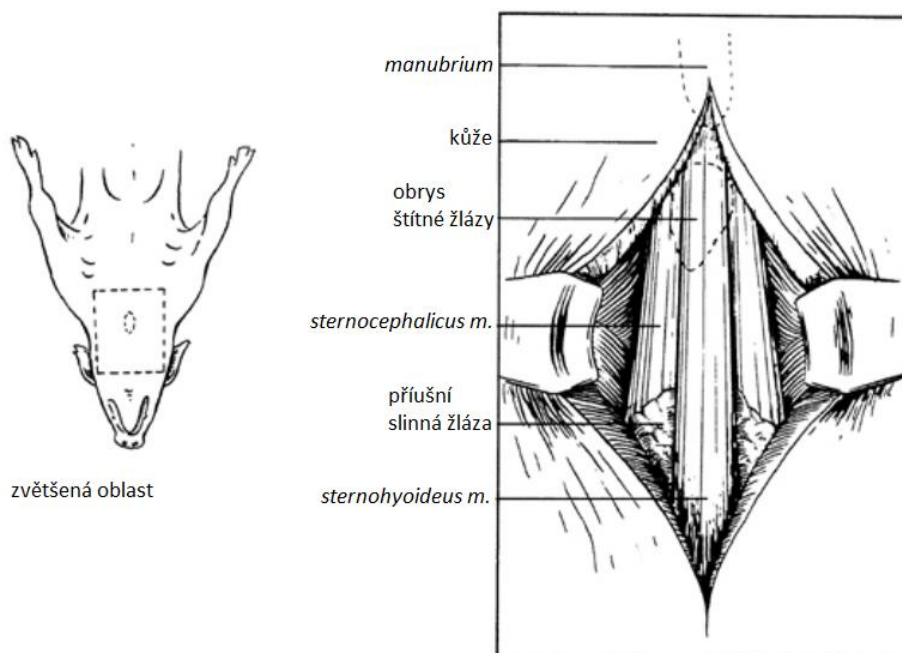
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Anatomie štítné žlázy

Štítná žláza, *glandula thyreoidea*, je tvořena pravým a levým lalokem, *lobus dexter et sinister*. Tyto dva laloky spojuje můstek, *isthmus*. Ten se podle charakteru tkáně dělí na žláznatý, *isthmus glandularis*, a vazivový, *isthmus fibrosus* (ČERNÝ, 2002). U prasete vytváří štítná žláza kompaktní útvar tvořený zbytnělým můstkem (MARVAN *et al.*, 1998; JELÍNEK *et JELÍNEK*, 2006). Všechny části štítné žlázy splývají v jediný nepárový pyramidální lalok, *lobus pyramidalis* (NAJBRT *et al.*, 1982). ČERVENÝ *et al.* (1999) však uvádí, že u prasete je vyvinut mohutný můstek, který tvoří podstatu štítné žlázy, laloky jsou pouze naznačeny a pyramidální lalok nemusí být vyvinut. Na povrchu je štítná žláza hladká a má hnědočervenou až červenofialovou barvu. Délka je asi 4 cm, šířka 2 cm a tloušťka 1 až 1,5 cm (NAJBRT *et al.*, 1982). Její průměrná hmotnost dosahuje pouze 0,02 až 0,05 % živé hmotnosti (JELÍNEK *et KOUDELA*, 2003). Hmotnost se pohybuje v rozmezí od 10 do 30 gramů (MARVAN *et al.*, 1998). Velikost a hmotnost štítné žlázy ovlivňují fyziologické procesy v organizmu, úroveň výživy, obsah jodu v krmivu a pitné vodě, teplotní podmínky, roční období, pohlaví, věk a další (JELÍNEK *et KOUDELA*, 2003).

Štítná žláza je uložena na ventrolaterálním okraji průdušnice (NAJBRT *et al.*, 1982; ČERNÝ, 2002). Oproti ostatním domácím savcům je lokalizovaná kaudálněji (JELÍNEK *et JELÍNEK*, 2006). Leží oboustranně kaudálně za hrtanem v úrovni 4. až 6. krčního obratle (ČERNÝ, 2002). Hrotem zasahuje až k prstenčité chrupavce hrtanu. Na laterální straně nedosahuje k hltanu. Z ventrální strany je překryta svaly *musculus sternohyoideus* a *musculus sternocephalicus* (Obrázek 1) (ROMACK *et al.*, 1964; NAJBRT *et al.*, 1982).

Obrázek 1: Uložení štítné žlázy u prasat



Upraveno: ROMACK *et al.* (1964)

2.2 Mikroskopická stavba štítné žlázy

Štítná žláza je endokrinní žláza váčkovitého (folikulárního) typu (NOVOTNÝ *et al.*, 1966). Je obalena tuhým vazivovým pouzdrém. Z něj odstupují jemné vazivové přepážky, které rozdělují parenchym na lalůčky. Oddělení lalůček přepážkami není úplné, takže v hloubce spolu souvisejí (TICHÝ *et al.*, 2004). Obal celé štítné žlázy i přepážky jsou z kolagenního lamelózního vaziva (NOVOTNÝ *et al.*, 1966). Parenchym je složený z folikulů bohatě obetkaných krevními vlásečnicemi, retikulárními vlákny, sítí mízních vlásečnic a sympatickými nervovými vlákny se zakončením na arteriolách, vlásečnicích a v blízkosti epitelových buněk (MARVAN *et al.*, 1998).

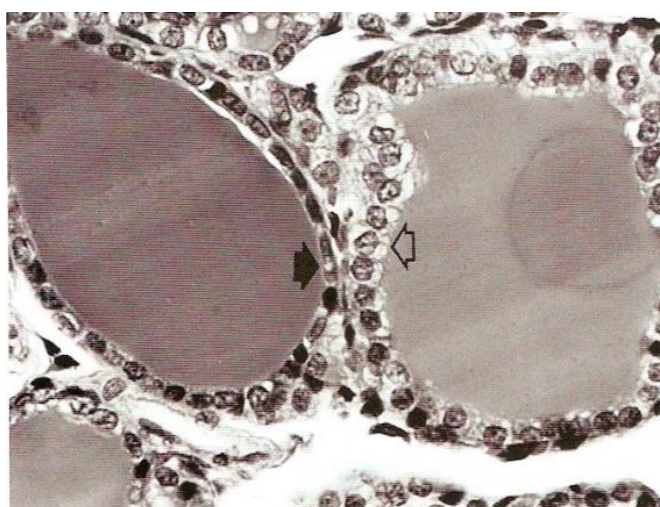
Folikuly mají podobu nepravidelných uzavřených váčků (NOVOTNÝ *et al.*, 1966; MARVAN *et al.*, 1998). Tyto váčky jsou vystlané jednou vrstvou žlázového epitelu (NOVOTNÝ *et al.*, 1966; KUEHLEN, 2003; TICHÝ *et al.*, 2004). Folikuly mají rozmanitou velikost (50-200 μm i více) i tvar (TICHÝ *et al.*, 2004). Výška epitelu i velikost folikulů odráží funkční stav štítné žlázy. Epitel je tvořen dvěma druhy buněk (MARVAN *et al.*, 1998). Z větší části (90 %) folikulárními epitelovými buňkami (tyreocyty), nasedajícími na bazální membránu, která odděluje epitel od

krevních kapilár (MARVAN *et al.*, 1998; TICHÝ *et al.*, 2004). GARTNER *et* HIATT (2007), uvádí, že se v ojedinělých případech sousední folikulární buňky spojí a naruší tak kontinuitu bazální membrány. Mezi tyreocyty se nachází světlé parafolikulární buňky neboli C buňky. Vnitřek folikulů vyplňuje koloid vylučovaný tyreocyty (MARVAN *et al.*, 1998).

2.2.1 Folikulární epitelové buňky (tyreocyty)

Tyreocyty mají měnlivý tvar, závislý na funkčním stavu orgánu a velikosti folikulu. Nejčastěji mají kubický tvar, ale mohou být i nízce cylindrické či ploché (Obrázek 2) (TICHÝ *et al.*, 2004). Cylindrické buňky jsou přítomny zpravidla v menších folikulech, naproti tomu ploché buňky bývají ve velkých folikulech vyplněných značným množstvím koloidu (EURELL *et* FRAPPIER, 2006). Bazálně uložené jádro má kulovitý až vejčitý tvar (BANKS, 1993; GARTNER *et* HIATT, 2007; NIKIFOROV *et al.*, 2012). Cytoplazma tyreocytů je eosinofilní a obsahuje velké množství granulárního endoplazmatického retikula, Golgiho komplexu a sekrečních granul (TICHÝ *et al.*, 2004; EURELL *et* FRAPPIER, 2006; GARTNER *et* HIATT, 2007; NIKIFOROV *et al.*, 2012). Taktéž obsahuje velké množství apikálně umístěných lysozomů a tyčinkovitých mitochondrií (MESCHER, 2013; GARTNER *et* HIATT, 2007). Apikální plocha, směřující dovnitř folikulu, je opatřena mikroklyky, které sahají až do koloidu (NOVOTNÝ *et al.*, 1996; GARTNER *et* HIATT, 2007). Bazální plocha leží na typické bazální membráně (ROSS *et* PAWLINA, 2006).

Obrázek 2: Rozdíl tvaru a velikosti tyreocytů v závislosti na aktivitě žlázy



plná šipka - nízce kubické buňky; prázdná šipka - cylindrické buňky
Převzato: BANKS (1993)

2.2.2 Koloid

Koloid je více či méně viskózní homogenní tekutina, jejíž konzistence je závislá na funkční aktivitě orgánu. V době, kdy je produkován tyreocyty a střádán v dutině folikulu, je velmi hustý. V období zpětné resorpce se stává řídkým. S rozdílnou konzistencí souvisí i jeho různá barvitelnost. Řídký koloid je acidofilní, hustý koloid je bazofilní. (TICHÝ *et al.*, 2004). V aktivním folikulu se v periferní oblasti koloidu přilehlé k apikální části tyreocytů objevují četné vakuoly, které jsou znakem endocytotické resorpce. V neaktivním folikulu má koloid periferní oblasti hladší a vakuoly nejsou přítomny (BACHA *et BACHA*, 2012; NIKIFOROV *et al.*, 2012). Hlavní strukturální složkou koloidu je glykoprotein tyreoglobulin, který je exocytoticky uvolňován tyreocyty do folikulu (MARVAN *et al.*, 1998; TICHÝ *et al.*, 2004). Tyreoglobulin obsahuje aminokyseliny, které jsou prekurzory tyreoidálních hormonů - trijodtyrozin (T₃) a tetrajodtyrozin neboli tyroxin (T₄) (MARVAN *et al.*, 1998).

2.2.3 Parafolikulární buňky

Parafolikulární buňky (C buňky) vylučují hormon kalcitonin regulující metabolismus vápníku. Jsou větší než tyreocyty a mají světlejší cytoplazmu (MARVAN *et al.*, 1998; BACHA *et BACHA*, 2012). Vyskytují se samostatně nebo v malých skupinách (2 až 3 buňky) ve vazivové tkáni štítné žlázy a také mezi tyreocyty, kde však nedosahují lumen folikulů (TICHÝ *et al.*, 2004; JELÍNEK *et JELÍNEK*, 2006). Oproti tyreocytům mají parafolikulární buňky odlišné vlastnosti i skladbu (MARVAN *et al.*, 1998). Jejich cytoplazma obsahuje velké množství hladkého endoplazmatického retikula a velký počet silně elektronově denzních granul (TICHÝ *et al.*, 2004). Tyto granula slouží jako úložný prostor pro kalcitonin (NIKIFOROV *et al.*, 2012). Jádro je poměrně velké a světlé (BACHA *et BACHA*, 2012).

2.3 Cévní zásobení a inervace

Krevní zásobení štítné žlázy je neobyčejně bohaté. Všechna krev jí projde asi za jednu hodinu (JELÍNEK *et KOUDELA*, 2003). Kapilární síť štítné žlázy patří k jedné z nejhustších v těle (NOVOTNÝ *et al.*, 1966).

Štítnou žlázu krví *arteria carotis communis*. Z té vystupuje slabší *arteria thyroidea caudalis* a silnější *arteria thyroidea cranialis*. Z kraniální artérie štítné žlázy vycházejí i větve, které zásobují hrtan. U prasete je kaudální arterie štítné žlázy hlavní vaskularizační cévou (KÖNIG *et* LIEBICH, 2002). Po vstupu do vazivového pouzdra se tepny větví. Jejich větve probíhají ve vazivových přepážkách a rozpadají se ve vlásečnice. Ty pak košíčkovitě objímají folikuly. Tepny jsou uzavíracího typu. Proud krve v nich regulují polštářky intimy. Celkový průtok také ovlivňují arteriovenózní anastomózy (NOVOTNÝ *et al.*, 1966).

Krev je ze štítné žlázy odvedena *vena thyroidea cranialis* a *vena thyroidea media*, které ústí do *vena jugularis interna* (KÖNIG *et* LIEBICH, 2002).

Mízní cévy jsou také velmi početné. Začínají slepě mezi folikuly ve vazivu. Sbíhají se v pleteně míznic pod vazivovým pouzdrém a odtud opouštějí štítnou žlázu (NOVOTNÝ *et al.*, 1966).

Podobně jako krevní zásobením tak i inervace štítné žlázy je mohutná (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Sympatická vlákna pocházejí z *ganglion cervicale craniale*. Parasympatická z *nervus laryngeus cranialis* a *nervus laryngeus caudalis seu recurrens* (větve *nervus vagus*) (KÖNIG *et* LIEBICH, 2002). Vlákna jsou převážně vazomotorická. Denervace má malý účinek na sekreční aktivitu (DYCE *et al.*, 2010).

2.4 Embryonální vývoj

Vývoj štítné žlázy úzce souvisí s vývojem jazyka. Vzniká z epitelu ve ventrální části budoucího hltanu v místě první žaberní štěrbin. Entodermový epitel se začne vychlípovat ventrokaudálním směrem v podobě buněčného čepu. Ten se později rozdělí na pravý a levý lalok. Spojka laloků s místem původního vychlípení, *ductus thyreoglossus*, zaniká (HORKÝ *et* MIKYSKA, 1984). Místo původního odstupu zůstává naznačeno na kořeni jazyka jako jamkovité *foramen caecum* (NOVOTNÝ *et al.*, 1966; HORKÝ *et* MIKYSKA, 1984). Laloky se zvětšují a spojka mezi nimi se zužuje. Buňky základu žlázy tvoří kompaktní masu. Do ní vrůstá okolní mezenchym a člení ji v buněčné pruhy. Ty postupně tvoří folikuly, vystlané jednou vrstvou epitelových buněk. Z mezenchymu se na povrchu vydiferencuje vazivové pouzdro (HORKÝ *et* MIKYSKA, 1984).

2.5 Fyziologie štítné žlázy

2.5.1 Biochemie tvorby T_3 a T_4

Tyreoidální hormony se syntetizují z aminokyseliny tyrozinu (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Velké množství tyrozinových molekul obsahuje glykoproteinová molekula tyreoglobulin (REECE, 2011), která má také zásadní roli při tvorbě, skladování a vylučování tyreoidálních hormonů (KAMEDA, 1984). Jodizací tyreoglobulinu vzniká jak monojodtyrozin (T_1), tak dijodtyrozin (T_2). (REECE, 2011).

2.5.2 Průběh syntézy T_3 a T_4

Průběh syntézy lze rozdělit do osmi po sobě jdoucích fází. Těmi jsou: vychytávání jodidových aniontů, syntéza tyreoglobulinu, oxidace jodidových iontů, jodidace tyrozinu, spojování T_1 a T_2 , pinocytóza a natrávení koloidu, sekrece hormonů štítné žlázy a přeprava v krevní plazmě (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

Tyreocyty intenzivně vychytávají z krve jodidové ionty (I^-) pomocí natrium jodidového symportéru (NIS) na bazolaterální membráně a dále je přepravují do cytosolu (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; NIKIFOROV *et al.*, 2012; MESCHER, 2013). Koncentrace těchto iontů v tyreocytech převyšují třicetkrát až čtyřicetkrát jejich koncentraci v krevní plazmě. Poté se syntetizuje tyreoglobulin. Pro jeho syntézu se používají aminokyseliny včetně tyrozinu. (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Syntéza tyreoglobulinu probíhá na ribozomech drsného endoplazmatického retikula (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; MESCHER, 2013). Tyreoglobulin prochází Golgiho komplexem, kde je zabalen do sekrečních váčků. Ty jsou exocytózou uvolněny do nitra folikulu a akumulují se do koloidu. Následuje oxidace jodidových iontů (I^-), která umožní vazbu jodu na tyrozin (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Oxidace jodidových iontů je katalyzována tyreoidální peroxidázou (TPO). Jodidové ionty jsou oxidovány na elementární I^0 nebo I^3 . Oxidace jodidů pomocí TPO vyžaduje přítomnost H_2O_2 (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; NIKIFOROV *et al.*, 2012). Jod je ve vazbě na jod transferázu vydáván exocytózou do nitra folikulu. Jod bezprostředně reaguje s asi 10 % tyrozilových skupin tyreoglobulinu (vazbu rovněž zajišťuje TPO) (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; AHAD *et* GANIE 2010). Polypeptidový řetězec tyreoglobulinu pak obsahuje T_1 a T_2 . Reakcí dvou molekul T_2 vzniká T_4 . Z jedné molekuly T_1 a jedné T_2 se zformuje T_3 (BANKS, 1993; JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; SUTTLE, 2010). V obou

případech se důsledkem syntézy ztrácí jedna molekula vody a aminokyselinový zbytek, glycin (REECE, 2011).

2.5.3 Uvolnění a transport T_3 a T_4

Molekuly tyreoglobulinu s navázanými T_3 a T_4 nejsou do krve uvolňovány přímo z nitra folikulů (REECE, 2011). Tyreoglobulin-hormonální komplex vstupuje pinocytózou z koloidu do cytoplazmy tyreocytů, kde pinocytární váčky splynou s lysozomy (TICHÝ *et al.*, 2004). Pomocí lysozomů se oddělí T_3 a T_4 z tyreoglobulinu, které přestupují do cytoplazmy (REECE, 2011). Oba hormony jsou poté uvolněny na bazolaterální straně tyreocytů do krevního oběhu (NIKIFOROV *et al.*, 2012). Podobně enzymaticky uvolněné T_1 a T_2 nejsou resorbovány, ale jsou dejodovány. Jod i tyrozin jsou recyklovány do nového tyreoglobulinu (REECE, 2011). Podstatnou část (90 %) uvolněných tyreoidálních hormonů představuje T_4 (REECE, 2011; MESCHER, 2013)

Uvolněné T_3 a T_4 se v krvi okamžitě navážou na plazmatické proteiny, které se syntetizují v játrech, a jsou transportovány krví. Jsou to zejména globuliny, prealbuminy a albuminy (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Hlavním vazebným proteinem je globulin vázající tyroxin (TBG - *thyroxine binding globulin*). Tento protein má značnou afinitu k hormonům štítné žlázy. U TBG byla prokázána větší afinita k T_4 , nežli k T_3 (BANKS, 1993; REECE, 2011).

2.5.4 Funkce T_3 a T_4

Účinek tyreoidálních hormonů je podmíněn existencí specifického receptoru v cílových buňkách, v případě tyreoidálních hormonů se tyto receptory nacházejí intranukleárně a intramitochondriálně (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Existují tři hlavní receptory tyreoidálních hormonů ($TR\alpha_1$, $TR\beta_1$ a $TR\beta_2$). Exprese těchto receptorů je rozdílná v závislosti na typu tkáně. $TR\alpha_1$ a $TR\beta_1$ jsou exprimovány téměř ve všech buňkách, ale $TR\beta_2$ se vyskytují v hojném počtu pouze v mozku, játrech a ledvinách (SQUIRES, 2010). Délka trvání účinku, tzv. biologický poločas, je u tyreoidálních hormonů dlouhý. Biologický poločas T_4 je 6 až 7 dnů. U T_3 je to přibližně jeden den (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

V cílových buňkách tyreoidální hormony podstupují různé metabolické procesy: dejodaci, glukuronidaci anebo sulfataci (MONDAL *et al.*, 2016). Z funkčního hlediska je nejvýznamnější metabolickou cestou dejodace, kdy pomocí

selenoproteinů jodtyronin dejodáz (DIO) dochází k aktivaci (DIO I a II) anebo inkativaci (DIO III) tyreoidálních hormonů (MULLUR *et al.*, 2014). Glukuronidace a sulfatace slouží převážně k deaktivaci tyreoidálních hormonů (MONDAL *et al.*, 2016)

Nejnámější funkcí tyreoidálních hormonů je jejich schopnost zvyšovat vnitřní produkci tepla, čímž se zvyšuje potřeba kyslíku (REECE, 2011). Zvyšují bazální metabolismus většiny tkání a orgánů, s výjimkou mozku, plic, sítnice, varlat a sleziny (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; REECE, 2011). Zasahují do diferenciacie buněk a stimulují tvorbu bílkovin (BANKS, 1993; MARVAN *et al.*, 1998; TICHÝ *et al.*, 2004; SQUIRES, 2010). Zrychlují transport a vstřebávání glukózy a katabolizmus tuků (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; SQUIRES, 2010). Jsou nezastupitelné pro vývoj a diferenciaci nervové a kosterní soustavy (BANKS, 1993; LI *et al.*, 2012). Zrychlují reflexní odpovědi. Zvyšují srdeční frekvenci. Mají vazodilatační účinky na drobné cévy a krevní vlasečnice. Ovlivňují pigmentaci kůže a kožních derivátů. Stimulují tvorbu mléka a zvýšení obsahu mléčného tuku (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

Tyreoidální hormony citlivě spolupracují se steroidními hormony. Jejich obrat se urychluje při hyperfunkci a zpomaluje při hypofunkci štítné žlázy. Při hypotyreóze se běžně poukazuje na zvýšení koncentrace noradrenalinu (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Také lipolytický efekt adrenalinu je zjevně potencován tyreoidálními hormony (REECE, 2011).

2.5.5 Regulace sekrece

Uvolňování a syntéza tyreoidálních hormonů jsou stimulovány thyreotropinem (TSH), který je syntetizován v adenohipofýze (BANKS, 1993; SQUIRES, 2010). TSH je z adenohipofýzy uvolněn jako odpověď na thyreotropin uvolňujícího hormon (TRH) z hypotalamu. TSH reaguje s receptory tyreocytů. To má za následek aktivaci adenylátcyklázy a zvýšenou produkci cyklického adenosinmonofosfátu (cAMP). Výsledkem je zvýšená syntéza a uvolňování tyreoidálních hormonů (SQUIRES, 2010).

K zajištění sekrece ustáleného množství tyreoidálních hormonů existuje mechanismus zpětné vazby přes hypotalamus a adenohipofýzu. Snížená hladina tyreoidálních hormonů má za následek sekreci TRH do hypotalamo-hipofyzárního portálního systému. Thyreotropní buňky adenohipofýzy jsou poté TRH stimulovány k sekreci TSH. Thyreotropin v tyreocytech stimuluje syntézu koloidu a tím ve štítné

žláze reguluje produkci T_4 a T_3 (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Toto je doprovázeno zvýšenou aktivitou štítné žlázy. Včetně zvýšeného uvolňování T_3 a T_4 z tyreoglobulinových molekul (REECE, 2011).

2.5.6 Kalcitonin

Kalcitonin (tyreokalcitonin, CT) je polypeptidový hormon s 32 aminokyselinami. Molekulová hmotnost CT je 3000 Daltonů (REECE, 2011). Syntetizují ho parafolikulární buňky. Biologický poločas CT je deset až třicet minut (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Je antagonistou hormonu příštítných tělísek. Jeho mechanismus působení spočívá v tom, že stimuluje činnost osteoblastů a ukládání vápníku v kostech (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003; TICHÝ *et al.*, 2004). Tlumí vstřebávání vápníku i fosforečnanů močí. Snižuje koncentraci vápníku i fosforu v krevní plazmě (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Zvyšuje ztráty vápníku v ledvinách (REECE, 2011). CT se považuje za zcela nezastupitelný hormonální regulátor kalciofosfátového komplexu (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

2.6 Nefyziologické stavy štítné žlázy

Dysfunkce štítné žlázy jsou u prasat téměř neznámé. Hypotyroidismus (např. nedostatkem jodu), nebo hypertyroidismus (např. zvýšenými požadavky na tyroxin, nádorem) mohou zapříčinit zvětšení štítné žlázy (REECE, 2011).

2.6.1 Hyperfunkce

Při hyperfunkci (hypertyreóza, tyreotoxikóza) dochází k patologickému vystupňování látkové přeměny. Příčinou je porucha regulačních mechanismů v hypofyzárně tyreoidálním systému (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). To vyvolává řadu příznaků (TICHÝ *et al.*, 2004). U postižených zvířat dochází ke zvýšení bazálního metabolismu. Postižení jedinci nápadně hubnou i při dostatečné úrovni výživy. Zvyšuje se u nich srdeční frekvence, frekvence močení a tělesná teplota. Tento stav je také doprovázen vzestupem dráždivosti a neklidem. Pro hyperfunkci je typické vybulení očí, exoftalmus (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

2.6.2 Hypofunkce

Hypofunkce (hypotyreóza) vede ke snížení základních metabolických projevů (TICHÝ *et al.*, 2004). Snižuje se látková výměna a tělesná teplota. V těle, a zvláště v podkoží, se hromadí ve zvýšeném množství voda, elektrolyty a bílkoviny. Tím se vytvářejí typické otoky, myxedém (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Myxedém se vyskytuje hlavně u novorozených selat, někdy až ve 2. až 3. týdnu. Dochází k hlenovitě edematóznímu prosáknutí kůže, podkoží a sliznic s parenchymatózní strumou - tzv. vodnatá, špekovitá nebo tlustokrká selata (ZENDULKA *et al.*, 1987). Snižují se diferenciační procesy ve tkáních (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Vrozená hypofunkce je provázena těžkými poruchami růstu (TICHÝ *et al.*, 2004). Prasata mají kratší končetiny (SCHÖNE *et* RAJENDRAM, 2009). Typická forma nedostatku tyreoidálních hormonů vychází z nedostatku jodu a následné neschopnosti štítné žlázy produkovat T_3 a T_4 . Nedostatek hormonů spustí obvyklý mechanismus zpětné vazby, takže je produkován TSH. Výsledná stimulace štítné žlázy způsobí hromadění tyreoglobulinu, ale bez účinného T_4 a T_3 . Štítná žláza se zvětšuje, jelikož se v ní hromadí koloid. Tento stav se označuje jako struma nebo vole (REECE, 2011).

2.7 Jod

Jod je nezbytný prvek pro syntézu tyreoidálních hormonů. Byl objeven v roce 1811 (MCDOWELL, 2003). Výskyt ve štítné žláze byl prokázán až v roce 1895 (KVASNIČKOVÁ, 1998; NRC 2005). Jod patří mezi halogeny. Jeho atomové číslo je 53 a atomová váha 126,91 (MCDOWELL, 2003). Elementární jod se vyskytuje jako fialovo černá pevná látka s kosočtverečnou krystalickou strukturou, která sublimuje do plynné formy (I_2), intenzivní fialové páry s charakteristickým zápachem (NRC, 2005).

Primárním zdrojem jodu v prostředí je oceán, ve kterém se obsah jodu pohybuje v rozmezí 50-60 $\mu\text{g/l}$ (NRC, 2005). V rozptýleném stavu se vyskytuje ve vzduchu ($0,7 \mu\text{g/m}^3$), půdě ($300 \mu\text{g/kg}$), vodě ($5 \mu\text{g/l}$) a živých organizmech ($0,4 \text{ mg/kg}$ ve zvířecím těle). Do geochemického cyklu jodu v prostředí zasahuje i člověk a to například spalováním benzínu a oleje (MCDOWELL, 2003).

2.7.1 Metabolismus jodu

Pro hospodářská zvířata je zdrojem jodu zejména krmivo rostlinného původu, minerální směsi a v menší míře také voda. Obsah jodu v rostlinách potažmo v surovinách kompletních krmných směsí je velmi proměnlivý, závisí totiž především na obsahu jodu v půdě. Bohaté na jod bývají půdy z oblastí blízkých mořské vodě. Naopak nízký obsah mají půdy z horských oblastí. V podmínkách ČR jsou koncentrace jodu na velmi nízkých úrovních, které by nepokryly požadavky pro tento mikroelement u hospodářských zvířat, proto se musí do krmné dávky přidávat, případně dodávat jinou formou. Při suplementaci zvířat je nezbytné dodržovat doporučené koncentrace pro jednotlivé kategorie zvířat a vyvarovat se tak nedostatečnému anebo nadbytečnému příjmu tohoto mikroelementu (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). V krmivech je jod v organické a anorganické formě. Obě formy musí být před vstřebáním převedeny na jodid (CAVALIERI 1997). V této formě je jod téměř úplně vstřebáván v gastrointestinálním traktu (MCDOWELL, 2003; SUTTLE, 2010). K nejvyššímu vstřebávání jodidu dochází v tenkém střevě (CAVALIERI 1997. JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Zásoba jodidu se doplňuje nepřetržitě, exogenně potravou a endogenně ze slin, žaludeční šťávou a produkty rozkladu tyreoidálních hormonů (MCDOWELL, 2003; NRC, 2005). Úroveň resorpce jodidu je ovlivněna působením řady látek, tzv. strumigenů. Do této skupiny látek náleží dusičnany, dusitany, glukosinoláty, kyanogenní glykosidy, huminové látky a izoflavony. Resorpci snižuje také nadbytek vápníku a draslíku v krmné dávce i některé těžké kovy (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

Po vstřebání je jodid rychle distribuován krevní plazmou v celém těle (NRC, 2005), ze které dochází k jeho vychytávání pomocí transmembránového glykoproteinu popisovaného jako jodidová pumpa (natrium jodidový symportér) (NICOLA *et al.*, 2012). 80 % celkového přijatého jodu je vychytáváno štítnou žlázou, kde se také nachází jeho nejvyšší zásoba v těle (MCDOWELL, 2003; SUTTLE, 2010). Menší množství jodu se ukládá ve slinných žlázách, žaludeční šťávě, kůži a srsti, svalech, játrech, mléčné žláze, placentě a vaječnicích (MCDOWELL, 2003; NRC, 2005; SUTTLE, 2010). Ve štítné žláze je jodid zachycen, koncentrován, rychle oxidován a přeměněn na organický jod kombinací s tyrozinem (MCDOWELL, 2003). Tento proces také probíhá v mléčné žláze laktujících samic a ve velmi malém rozsahu také ve vajíčku uvnitř vaječniku. V ostatních tkáních zůstává ve formě

jodidu (NRC, 2005). Průměrné koncentrace jodu v těle zvířat se pohybují v rozmezí 50 až 200 µg/kg živé hmotnosti (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003).

2.7.2 Vylučování

Jod je z organismu vylučován primárně močí. U laktujících samic dochází k přechodnému snížení vylučování jodu močí a podstatná část postupuje do mléka (MCDOWELL, 2003; NRC, 2005). JELÍNEK *et* KOUDELA (2003) dále uvádí, že je jod z těla uvolňován také v menší míře slinami, žlučí, žaludeční a střevní šťávou a potem.

2.7.3 Potřeba jodu

Potřeba jodu činí pro většinu zvířat 0,3 mg/kg sušiny krmné dávky (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003). Prasata mají denní potřebu jodu v rozmezí 0,05-0,10 mg/kg sušiny (SUTTLE, 2010). U rostoucích prasat je požadavek 100-200 µg/kg krmiva (SCHÖNE *et al.*, 2006). Mláďata mají vyšší potřebu než dospělá zvířata. V průběhu gravidity a při vysoké laktaci se potřeba jodu rovněž zvyšuje (JELÍNEK *et* KOUDELA, 2003, SCHÖNE *et al.*, 2006).

2.7.4 Nedostatek jodu

Jak je výše uvedeno, u hospodářských zvířat hrozí primárně nedostatek tohoto mikroelementu. Je to dáno jednak geologickými podmínkami, vzdáleností oblasti od moře, klimatem, ročním obdobím a také počasím (MCDOWELL, 2003). Nedostatek jodu se projevuje snížením hladiny tyreoidálních hormonů a následnou hypofunkcí štítné žlázy. SCHÖNE *et* RAJENDRAM, (2009) uvádí, že na rozdíl od telat a jehňat se u prasat a drůbeže neobjevuje struma, NRC (2005) uvádí, že struma se objevuje u všech hospodářských zvířat. Prasata patří mezi nejvíce citlivá hospodářská zvířata na kvalitu krmiv a nedostatek jodu (SCHÖNE *et* RAJENDRAM, 2009). Nejznatelnějšími projevy nedostatku jsou poruchy reprodukce. Většina selat se rodí naživu, ale obvykle hynou během několika hodin. Při pitvě je štítná žláza zvětšená a hemoragická. Selata se rodí nafouklá se zesílenou kůží, zejména kolem hlavy a krku. Méně vážný nedostatek se může projevit méně drastickými poruchami

celého těla, například suchou kůží. Starší zvířata jen zřídka vykazují známky nedostatku jodu (MCDOWELL, 2003).

2.7.5 Otrava jodem

Otrava jodem (jodizmus) hrozí v případě dlouhodobějšího podávání vysokých dávek jodu nebo jednorázovým podáním velké dávky (NRC, 2005; SVOBODOVÁ *et al.*, 2017). Negativním důsledkem příjmu vyšších dávek jodu může být také narušení metabolismu selenu. Hlavními příznaky jsou slzení, salivace, výtoky z nosu, suchý kašel, suchá a šupinatá kůže, nechutenství, tachykardie a aborty. Projevem chronické otravy může být podobně jako v případě nedostatku struma. K hlavním nálezům dále patří kožní změny na hlavě, krku a hřbetu (SVOBODOVÁ *et al.*, 2017).

Všechna zvířata mohou tolerovat hladiny jodu vyšší, než jsou jejich požadavky. U prasat se neprojevují žádné účinky nadbytku jodu až do dávky 400 mg I/kg krmiva. Tato vysoká koncentrace naznačuje, že prasata jsou k nadbytku jodu tolerantnější než skot (NRC, 2005; SCHÖNE *et* RAJENDRAM, 2009).

3. MATERIÁL A METODY

3.1 Odběr vzorků štítné žlázy

Štítné žlázy prasat byly získány v jatečném provozu Maso Brejcha Blovice. Do studie bylo zařazeno 27 kastrováných samců. Jednalo se o křížence plemen česká landrase a pietrain ve stáří 6-8 měsíců a tělesné hmotnosti 110-120 kg. Zvířata pocházela ze tří různých chovů. Štítné žlázy byly odebrány bezprostředně po porážce zvířat a makroskopicky posouzeny na patologické změny. Po vyjmutí byl vzorek odebrán ze středu štítné žlázy a vložen do nádoby s 10% pufrovaným formalínem.

3.2 Histologické zpracování vzorků

Po dostatečné fixaci byly vzorky přikrojeny, vloženy do kazet, propláchnuty ve vodě a ve dvou etanolových lázních (60%, 96%), dále odvodněny a prosyceny parafínem pomocí multifunkčního tkáňového procesoru KOS: 99% histoalkohol - 35 min., isopropylalkohol - 75 min., parafín - 90 min. Parafínem prosycené vzorky byly zality do parafínových bloků a nařezány řezy o síle 4 μ m. Získané řezy byly napnuty na vodní lázni, přilepeny na podložní skla a inkubovány přes noc při teplotě 37 °C. Poté byly řezy obarveny hematoxylinem a eozinem dle metodiky:

- o Odparafinování a zavodnění řezů:
 - 3x xylen – 5 min.,
 - 1x xylen a 99,9% etanol - 5 min.,
 - 2 lázně 95% etanolu - 5 min.,
 - 2x 96% etanol – 5 min.,
 - 1x 70% etanol – 5 min.,
 - 1x 50% etanol - 5 min.
- o Vyprání ve vodovodní vodě - 5 min.
- o Opláchnutí destilovanou vodou - 5 min.
- o Barvení hematoxylinem dle Kod'ouska – 10 min.
- o Alkalizace vodovodní vodou – 10 min.
- o Opláchnutí destilovanou vodou - 5 min.
- o Eozin ve vodě rozpustný 0,1% – 3 min.
- o Alkohol 80% – 1 min.
- o Alkohol 96% – dvě lázně po 1 min.
- o Aceton – dvě lázně po 1 min.

- o Aceton: xylen (1:1) po 1 min.
- o Xylen – dvě lázně po 1 min.
- o Zamontování do montovacího média (Pertex).

3.3 Morfometrická analýza

Histologické preparáty byly hodnoceny pomocí optického mikroskopu Leica DM2500, a jejich vybrané části nasnímány pomocí digitální kamery Leica DFC 320. Následně byly vzorky analyzovány pomocí softwaru Leica IM 500 (v4.0). U každého zvířete bylo měřeno 50 folikulů. Měření probíhalo od periferie k periférii řezu štítné žlázy. Ve folikulech byla změřena délka (nejdelší rozměr), šířka (nejdelší rozměr kolmý na délku), plocha vnitřní a plocha vnější. U každého folikulu byla změřena výška čtyř tyreocytů. Dle JELÍNKA *et al.* (2003) byly folikuly rozděleny do tří velikostních kategorií: velké (175,1-615,0 μm), střední (80,1-175,0 μm) a malé (15,1-80,0 μm) a následně vypočítáno jejich procentuální zastoupení.

3.4 Odběr moči

Pro analýzu obsahu jodu byla moč odebrána ihned po porážce zvířete punkcí z vyjmutého močového měchýře. Moč byla odebrána do čistých 50 ml odběrových nádob a následně zamrazena (-18 až -20 °C).

3.5 Analýza jodu v moči

Jod v moči byl stanoven pomocí spektrofotometrické metody dle Sandell – Kolthoffa. Tato metoda stanovuje celkový obsah jodu (jod anorganický i jod vázaný na bílkoviny) a je založena na redukci Ce^{4+} na Ce^{3+} v prostředí kyseliny sírové za účasti As^{3+} a katalytického účinku jodu (I-). (HAAP *et al.*, 2017).

Vlastní postup analýzy:

1) Příprava analyzovaného vzorku

- a) Vzorky byly rozmrazeny a promíchány
- b) Do těžko tavitelného skla byl napipetován 1 ml vzorku moči
- c) Následně byl přidán 1 ml 10% ZnSO_4 , 1 ml KOH, a několik krystalů KClO_3

2) Příprava kalibračního vzorku

- a) Kalibrační vzorky byly připraveny ze základního standardního vzorku o koncentracích 150, 100, 50, 25, 12,5, 0 μ I/l.
- 3) Vysušení analyzovaných a kalibračních vzorků při teplotě 105 °C - 24 h
 - 4) Žihání vzorku v muflové peci
 - 5) Spalování v muflové peci 500 °C – 30 min; 600 °C – 60 min
 - 7) Chladnutí zkumavek
 - 8) Suspendace vzorku v 6 ml dejodizované H₂O
 - 9) Centrifugace vzorku 3000 ot. /min. – 10 min.
 - 10) Odpipetování 2 ml čistého supernatantu do tenkostěnných zkumavek
 - 11) Přidání 2 ml kyselé směsi, protřepání
 - 12) Inkubace v ledové lázni 4 °C – 10 min.
 - 13) Přidání 2 ml (NH₄)₂SO₄
 - 14) Inkubace vodní lázeň 40 °C – 20 min.
 - 15) Inkubace v ledové lázni 4 °C – 10 min.
 - 16) Převrstvení vzorku 0,5 ml octanu brucinu, promíchání
 - 17) Inkubace v horkovzdušné sušárně 105 °C – 15 min.
 - 18) Odstátí vzorku při pokojové teplotě – 30 min.
 - 19) Spektrofotometrické měření při absorpenci 430 nm proti dejodizované vodě
 - 20) Vytvoření kalibrační křivky z naměřených dat kalibračních vzorků
 - 21) Odečet naměřených absorbancí vzorků z kalibrační křivky – μ g/l mokré hmoty

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Obsah jodu v moči

Množství jodu v tělních tekutinách závisí zpravidla na jeho příjmu. Podle NATH *et al.* (1992), STÁRKA (2010) a ZIMMERMANN (2012) se u nelaktujících zvířat 80-90 % přijatého jodu vylučuje močí. Z tohoto hlediska je považována koncentrace jodu v moči za vhodný indikátor zásobení zvířat jodem (MOLLA, 2018). U skupiny sledovaných zvířat (n 27) byla průměrná koncentrace jodu v moči $350,8 \pm 184,3$ $\mu\text{g/l}$ a medián 292 $\mu\text{g/l}$. Mezi jednotlivými jedinci byla značná variabilita v obsahu jodu, což dokládají i minimální (76 $\mu\text{g/l}$) a maximální (608 $\mu\text{g/l}$) hodnoty. Informace o optimálním obsahu jodu v moči prasat nejsou v dostupné literatuře publikovány. U humánní populace se považují koncentrace jodu v moči pod 100 $\mu\text{g/l}$ za nedostatečné a nad 300 $\mu\text{g/l}$ za nadměrné (WHO, 2007; SORIQUEUR *et al.*, 2011; MOLLA, 2018). Ve vybrané skupině zvířat byl u 11,11 % jedinců zjištěn deficit jodu a u 44,44 % nadbytek jodu. Při porovnání údajů zjištěných u koní (SLAVÍKOVÁ, 2019) byla u námi sledované skupiny zaznamenána větší četnost jedinců s nadbytkem jodu a i vyšší hodnoty. Získané výsledky ukazují na značnou rozdílnost suplementace prasat jodem a potenciální rizika spojená zejména s jeho nadbytkem. Nutné je také poznamenat, že oproti dalším druhům hospodářských zvířat vykazují prasata vyšší toleranci vůči nadbytku jodu (SCHÖNE *et RAJENDRAM*, 2009).

4.2 Morfometrická analýza

4.2.1 Morfometrické parametry štítné žlázy prasat

Základní morfologickou a funkční jednotkou štítné žlázy je folikul, který je vystlán epitelovými buňkami a vyplněn koloidem (EURELL *et FRAPPIER*, 2006; NIKIFOROV *et al.*, 2012). V lalocích štítné žlázy se nacházejí folikuly o různé velikosti a tvaru (BACHA *et BACHA*, 2012). BANKS (1993) uvádí, že velikost folikulů závisí na aktivitě tyreocytů. Z tohoto důvodu je považována velikost folikulů spolu s výškou tyreocytů za ukazatel aktivity štítné žlázy (BANKS, 1993; HARTOFT-NIELSEN *et al.*, 2005). Obecně se uvádí, že vzrůstající aktivita štítné žlázy se projevuje přítomností malých folikulů, vyššími tyreocyty, poklesem množstvím a eozinofilí koloidu a zvýšenou proliferační aktivitou tyreocytů (JELÍNEK *et al.*, 2003). Velikost folikulů může být definována na základě počtu tyreocytů (HARTOFT-

NIELSEN *et al.*, 2005) nebo délky. V provedené studii byly folikuly rozlišeny na základě délky a to na malé (15,1-80,0 μm), střední (80,1-175,0 μm) a velké (175,1-615,0 μm) (JELÍNEK *et al.*, 2003). Ve sledovaném souboru štítných žláz (Tabulka 1) byla průměrná délka folikulů $149,3 \pm 64,8$ μm , medián 139,0 μm , maximum 623,6 μm a minimum 37,59 μm . Oproti IGBOKWE *et al.* (2015), kteří studovali prenatální a postnatální změny velikosti folikulů u prasat, námi naměřené průměrné hodnoty byly o 144,0 % vyšší. PEKSA *et al.* (2011) u folikulů štítných žláz jatečných býků zjistil průměrnou délku $162,0 \pm 19,8$ μm a KRATOCHVÍL (1998) 103,4-232,4 μm . Při porovnání průměrných délek folikulů jatečných prasat a jatečného skotu (PEKSA *et al.*, 2011) jsou zřejmé mezidruhové rozdíly popsané NOVOTNÝM *et al.* (1966) a SAMUELSON (2007). Jak ve studii PEKSA *et al.* (2011), tak i v našem sledování průměrné hodnoty folikulů spadaly do rozmezí uváděné LA PERLE *et al.* (2012).

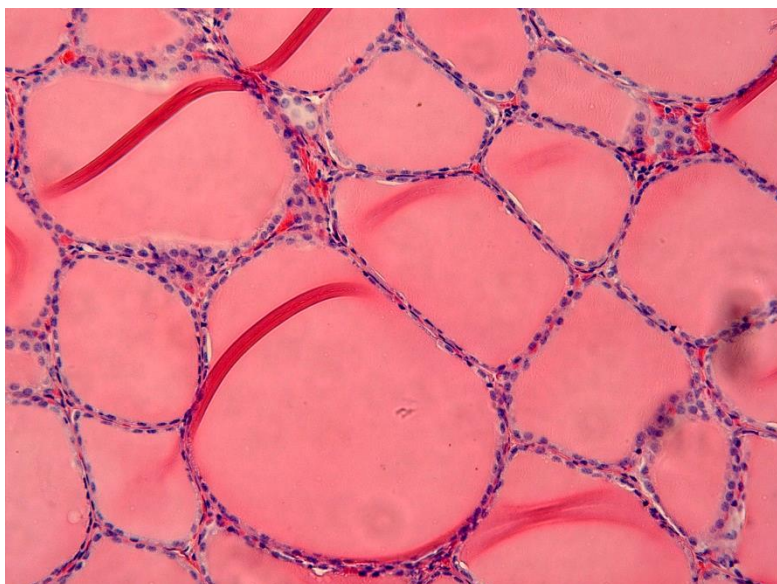
Tabulka 1: Průměrné hodnoty morfologických parametrů štítných žláz prasat

Parametr	x	sx	Min	Max	Med
Délka (μm)	149,3	64,8	37,6	623,6	139,0
Šířka (μm)	105,9	50,6	16,3	529,4	97,1
Zevní plocha (μm^2)	16810,6	18030,0	1325,5	271309,0	12463,8
Vnitřní plocha (μm^2)	14318,4	16985,2	429,0	261891,4	10208,3
Výška tyreocytů (μm)	6,2	2,6	1,4	21,7	5,8

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

Z hlediska zastoupení jednotlivých kategorií folikulů (Obrázek 3), převládaly ve štítných žlázách prasat střední folikuly (62,8 %) následovány velkými (27,8 %) a nejméně bylo malých folikulů (9,4 %). Podobné výsledky uvádí JELÍNEK *et al.* (2003), který u jatečného skotu zjistil nejvyšší podíl středních folikulů, ale oproti našim výsledkům vyšší podíl malých folikulů. Odlišné zastoupení kategorií folikulů uvádí PEKSA *et al.* (2011) u jatečných býků, kde byly zaznamenány ve štítných žlázách zejména velké folikuly.

Obrázek 3: Histologický řez štítné žlázy prasat



4.2.2 Morfometrické parametry štítné žlázy prasat ve vztahu k saturaci organismu jodem

Štítná žláza je endokrinní orgán, který hraje ústřední roli v metabolismu jodu (AHAD *et al.* 2010), z tohoto důvodu tento orgán představuje hlavní zásobu jodu v organismu. JELÍNEK *et al.* (2003), SUTTLE (2010) a AHAD *et al.* (2010) uvádí, že 70-80 % z celkového množství jodu je obsaženo ve štítné žláze, a to zejména v hormonální podobě. Jak je výše uvedeno, na základě obsahu jodu v moči lze odvodit saturaci zvířat jodem (MOLLA, 2018). Vysoké anebo nízké koncentrace jodu v moči ukazují na nadměrnou anebo deficitní saturaci organismu jodem, a tedy i na nízký nebo vysoký obsah jodu ve štítné žláze. Vztahem koncentrace jodu v krmivu a obsahem jodu ve štítné žláze a v dalších orgánech se zabýval FRANKE *et al.* (2008), výsledky těchto autorů potvrzují zvyšování koncentrace jodu ve štítné žláze se zvyšující se koncentrací jodu v krmivu.

Štítná žláza je značně adaptabilní orgán, který se pomocí přechodných autoregulačních mechanismů snaží o udržení optimální syntézy tyreoidálních hormonů při podmínkách nízké anebo vysoké saturace organismu jodem (BÜRGI, 2010). Mezi tyto regulační mechanismy patří Wolff-Chaikoffův efekt, omezení vstupu jodidu do tyreocytů skrze NIS, inhibice proteolýzy tyreoidálních hormonů z tyreoglobulinu, redistribuce organického jodu v koloidu a sekrece nehormonální formy jodu (BÜRGI, 2010; ONG *et al.*, 2014; FAREBROTHER *et al.*, 2019). Tyto regulační mechanismy souvisejí také se změnou mikroskopické stavby štítné žlázy,

a to zejména s velikostí folikulů, výškou tyreocytů a obsahem koloidu (KRUPP *et al.*, 1988; BANKS, 1993; SAMUELSON, 2007; CAPEN, 2008). V případě optimálního zásobení organismu jodem je štítná žláza tvořena folikuly různé velikosti, s kubickými až nízce cylindrickými buňkami (CAPEN, 2008; BACHA *et al.*, 2012). V provedené studii byly na základě obsahu jodu v moči (saturace organismu) vytvořeny tři skupiny zvířat. Skupina s nízkou (< 99 µg/l moči), optimální (100–300 µg/l moči) a vysokou saturací jodu (301 < µg/l moči) (WHO, 2007; SORICQUER *et al.*, 2011; MOLLA, 2018). U skupiny zvířat s optimální saturací jodem se ve štítných žlázách vyskytovaly folikuly o průměrné délce 147,6±52,4 µm, šířce 105,3±41,7 µm, zevní ploše 15622,4±10793,1 µm², vnitřní ploše 13220,9±9816,1 µm² a výšce tyreocytů 6,0±2,3 µm. Při porovnání s ostatními skupinami (Tabulka 2-6) je zřejmé, že saturace jodem u prasat ovlivňuje všechny námi měřené parametry. Mimo výšky tyreocytů byly zaznamenány nejvyšší rozměry u skupiny s nejvyšší saturací jodem, a naopak nejnižší u skupiny s nízkou saturací jodem. U skupiny s nejvyšší saturací bylo u všech parametrů zjištěno i nejvyšší variační rozpětí (Tabulka 2-6).

Tabulka 2: Délka folikulů štítné žlázy (µm)

Saturace jodem	x	sx	Min	Max	Med
Nízká	137,7	55,6	46,6	342,8	130,8
Optimální	147,6	52,4	37,6	371,7	140,4
Vysoká	156,6	76,5	40,2	623,6	142,3

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

Tabulka 3: Šířka folikulů štítné žlázy (µm)

Saturace jodem	x	sx	Min	Max	Med
Nízká	95,4	38,4	29,6	213,7	92,7
Optimální	105,3	41,7	16,2	286,4	101,1
Vysoká	111,9	60,3	17,5	529,4	99,2

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

Tabulka 4: Vnější plocha folikulů štítné žlázy (μm^2)

Saturace jodem	x	sx	Min	Max	Med
Nízká	13704,1	10203,4	2192,4	60916,0	10877,7
Optimální	15622,4	10793,1	1325,5	78294,8	12866,2
Vysoká	19581,9	23818,2	1570,4	271309,3	13341,0

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

Tabulka 5: Vnitřní plocha folikulů štítné žlázy (μm^2)

Saturace jodem	x	sx	Min	Max	Med
Nízká	11581,9	9336,7	1264,5	53722,8	8687,0
Optimální	13220,9	9816,1	668,8	71252,9	10770,7
Vysoká	16668,3	22533,4	429,0	261891,4	10438,8

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

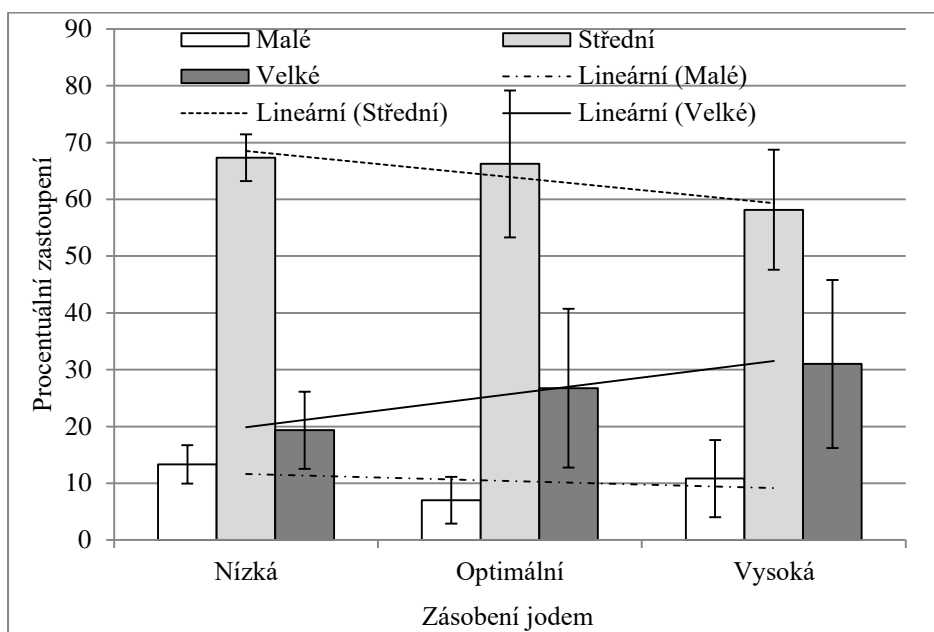
Tabulka 6: Výška tyreocytů folikulů štítné žlázy (μm)

Saturace jodem	x	sx	Min	Max	Med
Nízká	6,1	2,6	1,8	18,7	5,6
Optimální	6,0	2,3	1,4	17,8	5,5
Vysoká	6,8	3,0	1,4	21,7	6,3

x - průměr, sx - směrodatná odchylka, Min - minimum, Max - maximum, Med - median

Mezi jednotlivými skupinami bylo dále sledováno procentuální zastoupení velikostních kategorií folikulů (Graf 1).

Graf 1: Procentuální zastoupení velikostních kategorií folikulů ve vztahu k zásobení jodem



Bez rozdílu skupin ve štítných žlázách převládaly sestupně folikuly střední, velké a malé (Obrázek 3). Mezi skupinou s nízkou a vysokou saturací jodem lze spatřit odlišné zastoupení malých a velkých folikulů. U skupiny s nízkou saturací jodem převládaly malé folikuly a u skupiny s vysokou saturací naopak velké folikuly. Zvyšující se podíl velkých folikulů u skupiny s vysokou saturací jodu odpovídá literárním údajům (CALIL-SILVEIRA *et al.*, 2016). Velké folikuly poukazují na nízkou aktivitu tyreocytů a hromadění (kumulaci) koloidu (BANKS, 1993; CARCANGIU, 2007). Množství koloidu ve folikulech štítné žlázy lze dle autorů HARTOFT-NIELSEN *et al.* (2005) posuzovat na základě jejich vnitřní plochy. U skupiny s nízkou saturací jodem byla průměrná vnitřní plocha $11581,9 \pm 9336,7 \mu\text{m}^2$ a u skupiny s vysokou saturací o 43,92 % větší a to $16668,3 \pm 22533,4 \mu\text{m}^2$. Z výsledků (Graf 1, Tabulka 5) lze odvodit, že ve sledovaném souboru jedinců se vzrůstajícím podílem velkých folikulů roste objem koloidu ve štítné žláze. HARTOFT-NIELSEN *et al.* (2005) ve své studii popisují, že za normálních fyziologických podmínek dochází ke zvýšení množství koloidu ve štítné žláze spíše s nárůstem počtu folikulů o konstantní velikosti, nežli zvyšováním objemu a velikosti každého folikulu. Naměřené hodnoty vnitřní plochy folikulů a zastoupení velkých folikulů u skupiny se zvýšenou saturací dokládají narušení normální fyziologické funkce štítné žlázy a zapojení adaptačních mechanismů. Tuto skutečnost však nelze jednoznačně doložit na základě výšky tyreocytů (Tabulka 6). BACHA *et* BACHA (2012) a BANKS (1993) popisují v neaktivních folikulech tyreocytů

dlaždicového anebo nízce kubického tvaru. V našem případě jsme získaly odlišné výsledky, kdy u skupiny vysoce saturované jodem, tedy s nejvyšším procentuálním zastoupením velkých folikulů, byly změřeny nejvyšší hodnoty tyreocytů ($6,8 \pm 3,0 \mu\text{m}$) (Tabulka 6).

V rámci této práce jsme se také zabývali závislostí obsahu jodu v moči ($\mu\text{g/l}$) na sledované morfometrické parametry štítné žlázy (Tabulka 7,8). Kromě relativního zastoupení (%) malých a středních folikulů, vyjadřovaly hodnoty korelačních koeficientů (r_{xy}) střední až vyšší pozitivní závislost sledovaných parametrů na zvyšujícím se obsahu jodu v moči. Nejvyšší pozitivní závislost na obsahu jodu v moči vykazovaly délkové a plošné rozměry folikulů ($r_{xy} = 0,486$ až $0,568$). Výška tyreocytů se s nárůstem obsahem jodu také zvyšovala, ale ve srovnání s délkovými rozměry folikulů (tedy jejich velikostí) byla nižší a dosahovala pouze střední úrovně. Zajímavý byl vztah mezi obsahem jodu v moči a zastoupením velikostních kategorií folikulů (Tabulka 7). Mezi obsahem jodu a relativním zastoupením velkých folikulů byla shledána kladná závislost vyjádřena $r_{xy} = 0,467$, ale tatáž závislost u středních folikulů byla záporná ($r_{xy} = -0,575$) a ve vztahu k malým folikulům téměř nulová.

Tabulka 7: Korelační koeficienty (r_{xy}) mezi obsahem jodu v moči, relativním zastoupením velikostních kategorií folikulů a výškou tyreocytů

Morfometrické parametry	Folikuly (%)			Výška tyreocytů (μm)
	Malé	Střední	Velké	
Korelační koeficient (r_{xy})	0,023	-0,575	0,467	0,373

Tabulka 8: Korelační koeficienty (r_{xy}) mezi obsahem jodu v moči a velikostními charakteristikami folikulů

Morfometrické parametry	Morfometrický parametr folikulů			
	Délka (μm)	Šířka (μm)	Plocha folikulů (μm^2)	
			Vnější	Vnitřní
Korelační koeficient (r_{xy})	0,486	0,433	0,581	0,568

5. ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se věnovala hodnocení obsahu jodu v moči jatečných prasat a morfometrických parametrů štítné žlázy. Z výsledků práce vyplývají následující závěry:

- Průměrná koncentrace jodu v moči prasat byla $350,8 \pm 184,3 \mu\text{g/l}$, medián $292 \mu\text{g/l}$, maximum $608 \mu\text{g/l}$ a minimum $76 \mu\text{g/l}$.
- 44,44 % jedinců bylo optimálně saturováno jodem
- U 11,11 % jedinců byl zjištěn deficit a u 44,44 % nadbytek jodu
- Průměrná délka folikulů ve sledovaném souboru zvířat (n 27) byla $149,3 \pm 64,8 \mu\text{m}$, šířka $105,9 \pm 50,6 \mu\text{m}$, zevní plocha $16810,6 \pm 18030,0 \mu\text{m}^2$, vnitřní plocha $14318,4 \pm 16985,2 \mu\text{m}^2$ a výška tyreocytů $6,2 \pm 2,6 \mu\text{m}$.
- Z hlediska zastoupení jednotlivých kategorií folikulů bylo malých 9,4 %, středních 62,8 % a velkých 27,8 %.
- U skupiny s optimální saturací jodem měly folikuly štítné žlázy průměrnou délku $147,6 \pm 52,4 \mu\text{m}$, šířku $105,3 \pm 41,7 \mu\text{m}$, zevní plochu $15622,4 \pm 10793,1 \mu\text{m}^2$, vnitřní plochu $13220,9 \pm 9816,1 \mu\text{m}^2$ a výšku tyreocytů $6,0 \pm 2,3 \mu\text{m}$.
- Získané výsledky ukazují, že u 55,56 % jedinců sledované populace zvířat podstupovala štítná žláza adaptačními procesy.
- Saturace jodem u prasat ovlivnila všechny námi měřené parametry.
- Nejvyšší rozměry byly zaznamenány u skupiny s vysokou saturací jodem a nejnižší u skupiny s nízkou saturací jodem.
- U skupiny s nejvyšší saturací bylo zjištěno i nejvyšší variační rozpětí.
- Bez rozdílu skupin ve štítných žlázách převládaly sestupně folikuly střední, velké a malé.
- U skupiny s nízkou saturací bylo zjištěno více malých folikulů a u skupiny s vysokou saturací naopak více velkých folikulů.
- Se vzrůstajícím podílem folikulů rostl objem koloidu ve štítné žláze.
- Ve skupině s vysokou saturací byly změřeny nejvyšší hodnoty tyreocytů, průměrná velikost byla $6,8 \pm 3,0 \mu\text{m}$.

- Délkové a plošné rozměry vykazovaly nejvyšší pozitivní závislost na obsahu jodu v moči ($r_{xy} = 0,486$ až $0,568$).
- Mezi obsahem jodu a relativním zastoupením velkých folikulů byla kladná závislost ($r_{xy} = 0,467$), u středních folikulů záporná ($r_{xy} = -0,575$) a ve vztahu k malým téměř nulová.

6. SEZNAM ZKRATEK

As - arsen

cAMP - cyklický adenosinmonofosfát

Ce - cer

DIO- jodtyronin dejodaza

GH - růstový hormon

H₂O - voda

H₂O₂ - peroxid vodíku

I - jod

KClO₃ - chlorečnan draselný

KOH - hydroxid draselný

NIS - natrium jodidový symportér

(NH₄)₂SO₄ - síran siřičito amonný

T₁ - monojodtyrozin

T₂ - dijodtyrozin

T₃ - trijodtyronin

T₄ - tyroxin

TBG - tyroxin vázající globulin

TPO - tyroidální peroxidáza

TRH - tyreotropin uvolňující hormon

TR α 1, TR β 1 a TR β 2 - receptory tyreoidálních hormonů

TSH - tyreotropin

ZnSO₄ - síran zinečnatý

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Uložení štítné žlázy u prasat.....	12
Obrázek 2: Rozdíl tvaru a velikosti tyreocytů v závislosti na aktivitě žlázy	13
Obrázek 3: Histologický řez štítné žlázy prasat	29

8. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Průměrné hodnoty morfologických parametrů štítných žláz prasat	28
Tabulka 2: Délka folikulů štítné žlázy (μm)	30
Tabulka 3: Šířka folikulů štítné žlázy (μm)	30
Tabulka 4: Vnější plocha folikulů štítné žlázy (μm^2)	31
Tabulka 5: Vnitřní plocha folikulů štítné žlázy (μm^2)	31
Tabulka 6: Výška tyreocytů folikulů štítné žlázy (μm)	31
Tabulka 7: Korelační koeficienty (r_{xy}) mezi obsahem jodu v moči, relativním zastoupením velikostních kategorií folikulů a výškou tyreocytů.....	33
Tabulka 8: Korelační koeficienty (r_{xy}) mezi obsahem jodu v moči a velikostními charakteristikami folikulů	33

9. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Procentuální zastoupení velikostních kategorií folikulů ve vztahu k zásobení jodem.....	32
---	----

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. AHAD F., GANIE S. A. (2010): Iodine, iodine metabolism and iodine deficiency disorders revisited. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 14(1): 13-17.
2. BACHA, W. J., BACHA, L. M. (2000): Color Atlas of Veterinary Histology. 2nd edition. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 318 p. ISBN 0683306189.
3. BACHA, W. J., BACHA, L. M. (2012): Color Atlas of Veterinary Histology. 3rd edition. Oxford: Wiley-Blackwell, 356 p. ISBN 9780470958513.
4. BANKS, W. J. (1993): Applied Veterinary Histology. 3rd edition. St. Louis: Mosby-YearBook, 527 p. ISBN 0801666104.
5. BÜRGI, H. (2010): Iodine excess. *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*. 24: 107–115.
6. CALIL-SILVEIRA, J., SERRANO-NASCIMENTO, C., KOPP, P. A., NUNES, M. T. (2016): Iodide excess regulates its own efflux: a possible involvement of pendrin. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 310(7): C576-C582.
7. CAPEN, C. C. (2008): Toxic responses of the endocrine systém. In: Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 7th edition, Klaassen CD (ed.), New York: McGraw-Hill, 807-877 p.
8. CARCANGIU, M. L. (2007): Thyroid. In: Mills SE (ed.): Histology for pathologists, 3rd edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1129-1148 p.
9. CAVALIERI, R. R. (1997): Iodine metabolism and thyroid physiology: current concepts. *Thyroid*. 7(2): 177-181.
10. ČERNÝ, H. (2002): Veterinární anatomie pro studium a praxi. Brno: Ústav anatomie, histologie a embryologie, Fakulta veterinárního lékařství VFU, 142-143 s. ISBN 8086542017.
11. ČERVENÝ, Č., KOMÁREK, V., ŠTĚRBA, O. (1999): Koldův atlas veterinární anatomie. Praha: Grada Publishing, 353 s. ISBN 8071693529.
12. DYCE, K. M., SACK, W. O., WENSING, C. J. G. (2010): Textbook of Veterinary Anatomy. 4th edition. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 834 p. ISBN 9781416066071.

13. EURELL, J. A., FRAPPIER, B. L. (2006): Dellmann's Textbook of Veterinary Histology. 6th edition. Iowa: Blackwell Publishing, 420 p. ISBN 0781741483.
14. FAREBROTHER J., ZIMMERMANN M. B., ANDERSSON M. (2019): Excess iodine intake: sources, assessment, and effects on thyroid function. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1446: 44-65.
15. FRANKE, K., SCHÖNE, F., BERK, A., LEITERER, M., FLACHOWSKY, G. (2008): Influence of dietary iodine on the iodine content of pork and the distribution of the trace element in the body. *European Journal of Nutrition*. 47(1): 40-46.
16. GARTNER, L. P., HIATT, J. L. (2007): Color Textbook of Histology. 3rd edition. Philadelphia: Saunders. 573 p. ISBN 9781416029458.
17. HAAP, M., ROTH, H., HUBERT, T. *et al.* (2017): Urinary iodine: comparison of a simple method for its determination in microplates with measurement by inductively-coupled plasma mass spectrometry. *Scientific Reports* 7, 39835
18. HARTOFT-NIELSEN, M. L., RASMUSSEN, A. K., FELDT-RASMUSSEN, U., BUSCHARD, K., BOCK, T. (2005): Estimation of number of follicles, volume of colloid and inner follicular surface area in the thyroid gland of rats. *Journal of Anatomy*, 207(2): 117-124.
19. HORKÝ, D., MIKYSKA, E. (1984): Veterinární embryologie. 1. vydání Praha: Vysoká škola veterinární v Brně, 191 s. ISBN 8085114844.
20. IGBOKWE, C. O., EZEASOR, D. N. (2010): Histological and immunohistochemical changes of the thyroid gland during the foetal and postnatal period of development in indigenous large white crossbred pigs. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 859: 1-11.
21. JELÍNEK, F., JELÍNEK, K. (2006): Morfologie hospodářských zvířat. 2. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. 294 s. ISBN 8070408456.
22. JELÍNEK, F., KRABAČOVÁ, I., KROUPOVÁ, V. (2003): Assessment of functional activity of the bovine thyroid gland using morphometry, and two markers of cellular proliferation. *Acta Veterinaria Brno*, 72: 651-662.
23. JELÍNEK, P., KOUDELA, K. (2003): Fyziologie hospodářských zvířat. Brno: MZLU Brno, 414 s. ISBN 8071576441.

24. KAMEDA, Y. (1984): Immunocytochemical studies on differentiation of the thyroid gland in rabbit fetuses and chick embryos. *Histochemistry*, 80:23–29
25. KÖNIG, H. E., LIEBICH, H. G. (2002): Anatomie domácích savců. Bratislava: H & H, 336 s. ISBN 8088700574.
26. KRATOCHVÍL, P. (1998): Morfologické a funkční změny štítné žlázy v různých chovatelských podmínkách. Disertační práce, ZF JU v Českých Budějovicích, 175 p.
27. KRUPP, P. P., LEE, K. P. (1988): The effects of dietary iodine on thyroid ultrastructure. *Tissue Cell*. 20(1): 79-88.
28. KUEHNEL, W. (2003): Color Atlas of Cytology, Histology, and Microscopic Anatomy. 4th edition. Stuttgart: Thieme. 542 p. ISBN 3135624048.
29. KVASNIČKOVÁ, A. (1998): Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 128 s. ISBN 8085120941.
30. LA PERLE, K. M. D., CAPEN, C. C. (2007): Endocrine system. In: McGavin, M. D., Zachary, J. F. (Ed): Pathologic Basic of Veterinary Disease, 4th edition. St. Louis: Elsevier, 693-741 p.
31. LI, Q., MAIR, C., SCHEDLE, K., HAMMERL, S., SCHODL, K., WINDISCH, W. (2012): Effect of iodine source and dose on growth and iodine content in tissue and plasma thyroid hormones in fattening pigs. *European Journal of Nutrition*. 51(6): 685-691.
32. MARVAN, F., HAMPL, A., HLOŽÁNKOVÁ, E., KRESAN, J., MASSANYI, L., VERNEROVÁ, E. (1998): Morfologie hospodářských zvířat. Česká zemědělská univerzita a Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Praha: Brázda, 303 s. ISBN 8020902732.
33. MCDOWELL, L. R. (2003): Minerals in Animal and Human Nutrition. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 660 p. ISBN 0444513671.
34. MESCHER, A. L. (2013): Junqueira's Basic Histology: Text & atlas. 13th edition. McGraw Hill Professional, 480 p. ISBN 9780071807203.
35. MOLLA, G. (2018): Urinary iodine concentration: a biochemical parameter for assessing the iodine status. *Mediscope*, 5(2): 30-35.
36. MONDAL, S., RAJA, K., SCHWEIZER, U., MUGESH, G. (2016): Chemistry and biology in the biosynthesis and action of thyroid hormones. *Angewandte Chemie International Edition*. 55: 7606-7630.

37. MULLUR, R., LIU, Y. Y., BRENT, G. A. (2014): Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiological Reviews*. 94(2): 355-382.
38. NAJBRT, R., BEDNÁŘ, K., ČERVENÝ, Č., KAMAN, J., MIKYSKA, E., ŠTARHA, O. (1982): Veterinární anatomie 2. díl. Praha: SZN, 594 s.
39. NATH, S. K., MOINIER, B., THUILLIER, F., RONGIER, M., DESJEUX, J. F. (1992): Urinary excretion of iodide and fluoride from supplemented food grade salt. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 62: 66–72.
40. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2005): Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Washington, DC: The National Academic Press, 510 p. ISBN 9780309096546.
41. NICOLA, J. P., REYNA-NEYRA, A., CARRASCO, N., MASINI-REPISO, A. M. (2012): Dietary iodide controls its own absorption through post-transcriptional regulation of the intestinal Na⁺/I⁻ symporter. *The Journal of Physiology*. 1;590(23): 6013-26.
42. NIKIFOROV, Y. E., BIDDINGER, P. W., THOMPSON L. D. R. (2012): Diagnostic Pathology and Molecular Genetics of the Thyroid: A Comprehensive Guide for Practicing Thyroid Pathology. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, USA, 436 p. ISBN 9780781774598
43. NOVOTNÝ, E., BÖHM, R., GEISSEL, V., HOLMAN, J. (1966): Veterinární histologie. Praha: SZN, 637 s.
44. ONG, C. B., HERDT, T. H., FITZGERALD, S. D. (2014): Hyperplastic goiter in two adult dairy cows. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 26(6):810-814.
45. PEKSA, Z., TRÁVNÍČEK, J., DUŠOVÁ, H., KONEČNÝ, R., HASOŇOVÁ, L. (2011): Morphological and histometric parameters of the thyroid gland in slaughter cattle, *Journal of Agrobiology*, 28(1): 79-84.
46. REECE, W. (2011): Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 480 s. ISBN 9788024732824.
47. ROMACK, F. E., DAY, B. N., TURNER, CH. W. (1964): Anatomy of the Porcine Thyroid. Columbia, Missouri: University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 10 p.

48. ROSS, M., PAWLINA, W. (2006): *Histology: A Text and Atlas with Correlated Cell and Molecular Biology*. 6th edition. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 966 p. ISBN 9781451101508.
49. SAMUELSON, D. A. (2007): *Textbook of Veterinary Histology*. Elsevier, St. Louis, 546 p.
50. SCHÖNE, F., RAJENDRAM, R. (2009): Iodine in farm animals. In: Preedy, V. R., Burrow, G. N., Watson, R. (Ed): *Comprehensive Handbook of Iodine*. Oxford: Academic Press, 151-170 p. ISBN 9780123741356.
51. SCHÖNE, F., ZIMMERMANN, C., QUANZ, G., RICHTER, G., LEITERER, M. (2006): A high dietary iodine increases thyroid iodine stores and iodine concentration in blood serum but has little effect on muscle iodine content in pigs. *Meat Science*. 72(2): 365-372.
52. SLAVÍKOVÁ, S. (2019): Saturace koní jodem v Jižních Čechách. Č. Budějovice. Diplomová práce (Ing.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta.
53. SORICQUER, F., GUTIERREZ-REPISO, C., GONZALEZ-ROMERO, S., *et al.* (2011): Iodine concentration in cow's milk and its relation with urinary iodine concentrations in the population. *Clinical Nutrition*, 30(1): 44-48.
54. SQUIRES, J. (2010): *Applied Animal Endocrinology*. 2nd edition. Wallingford: CABI, 312 p. ISBN 9781845936631.
55. STÁRKA, L., HAMPL, R., KALVACHOVÁ, B., NĚMEC, J., NERADILOVÁ, M., PORŠOVÁ, DUTOID, I., ZAMRAZIL, V. (2010): *Endokrinologie*. Praha: Triton, 232s. ISBN 8085800772.
56. SUTTLE, N. F. (2010): *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th edition. Cambridge: CABI, 587 p. ISBN 9781845934729.
57. SVOBODOVÁ, Z., MODRÁ, H., *et al.* (2017): *Veterinární toxikologie v klinické praxi*. 2. vydání. Praha: Profi Press, 280 s. ISBN 9788086726830.
58. TICHÝ, F., HORKÝ, D., BUCHTOVÁ, M., GOROŠOVÁ, A., KOCIÁNOVÁ, I., PÁRAL, V., ZIBRÍN, M. (2004): *Histologie – Mikroskopická anatomie*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 275 s. ISBN 8073054957.
59. WHO/UNICEF/ICCIDD (2007): *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers*. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 7-10 p.

60. ZENDULKA, M., ŠKARDA, R., *et al.* (1987): Patologická anatomie hospodářských zvířat. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 688 s. ISBN 0706087.
61. ZIMMERMANN, M. B., ANDERSON, M. (2012): Assessment of iodine nutrition in populations: past, present and future. *Nutrition Reviews*. 70: 553–70.