

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Komparace mechanických vlastností, struktury a rychlosti
růstu žíní koní plemene Appaloosa chovaných v České
republice a USA**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Lucie Kudlová

Obor studia: Zájmové chovy zvířat

Vedoucí práce: Ing. Martina Janošíková

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Komparace mechanických vlastností, struktury a rychlosti růstu žíní koní plemene Appaloosa chovaných v České republice a USA" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.4.2021

Poděkování

Děkuji paní Ing. Martině Janošikové za vstřícnost, věnovaný čas a cenné rady při psaní diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Ondřeji Matúškovi, Phd, Ing. Marii Staré, Phd a Ing. Miloši Čadkovi za věnovaný čas v laboratořích CXI TUL a za asistenci s přípravou a vyhodnocením měření.

Komparace mechanických vlastností, struktury a rychlosti růstu žíní koní plemene Appaloosa chovaných v České republice a USA

Souhrn

Tato práce se zabývá analýzou koňských žíní. Účelem analýzy bylo zjištění rozdílů vlastností žíní vzhledem k místu původu, účelu a podmínkám chovu. Předmětem analýzy jsou mechanické vlastnosti, struktura a rychlost růstu žíní koní plemene Appaloosa chovaných v USA a ČR. Vzorky žíní byly odebrány od 24 koní, kde 12 koní je z USA a 12 koní je z České republiky.

Mechanické vlastnosti byly zjištěny prostřednictvím tahových zkoušek. Dále bylo na stejném souboru vzorků provedeno měření příčného rozměru, zobrazení příčného řezu žíní a denní měření rychlosti růstu žíní v období dvou týdnů.

Pro každé měření bylo provedeno srovnání středních hodnot obou souborů dat, kde byl zjištěn statisticky významný rozdíl pouze u dvou zkoumaných vlastností. A to u protažení nutného k přetržení a příčného rozměru žíně. Měření rychlosti růstu žíně a síla nutné k přetržení žíně se neprokázala jako citlivá vzhledem k místu původu.

Klíčová slova: žíně, rychlost růstu, mechanické vlastnosti, Appaloosa, kůň, komparace

Comparison of Mechanical Properties, structure and horsehair growth rate of Appaloosa breed in the Czech republic and USA

Summary

This paper contains horsehair analysis. The purpose of this analysis was to determine differences in horsehair properties due to breeding conditions, its purpose and the place of origin. The subjects of the analysis were mechanical properties, structure and growth rate of the Appaloosa's horsehair bred in the United States and the Czech Republic. Horsehair samples were taken from 24 horses where the first half of the samples were taken from horses that were bred in the USA and the other half from horses bred in the Czech Republic.

Mechanical properties were done via tensile tests. Furthermore, transverse dimensions of the horsehair were measured on the same set of samples and cross-sections of the horse hair were viewed. Growth rate of the horsehair was also measured, daily for two weeks.

For each measurement a comparison of the mean values of both data components was performed. This comparison showed that there is a statistically significant difference in only two investigated properties, which were elongation at break and transverse dimension of a horsehair. Growth rate measurements and force at break did not proved to be sensitive due to breeding conditions.

Keywords: horsehair, growth rate, mechanical properties, Appaloosa, horse, comparison

Obsah

1	Úvod	9
2	Vědecká hypotéza a cíle práce.....	10
2.1	Cíl práce.....	10
2.2	Vědecké hypotézy.....	10
2.3	Metodika	10
3	Literární rešerše	11
3.1	Historie Appaloosa Horse	11
3.2	Charakteristika plemene Appaloosa.....	12
3.3	Struktura žíní a chlupů	14
3.4	Funkce žíní	16
3.5	Vliv chemických prvků na barvu žíní.....	16
3.6	Mechanické vlastnosti	16
3.7	Faktory ovlivňující růst chlupů a žíní.....	17
3.8	Vliv krmiva na růst žíní	18
3.9	Rychlost růstu žíní	18
3.10	Rozdíly v chovu	19
3.10.1	Popis koní a specifických podmínek chovu – CZ	19
3.10.2	Popis koní a specifických podmínek chovu – USA	20
4	Metodika a měření	22
4.1	Měření rychlosti růstu koňské žíně	23
4.2	Měření příčného rozměru	24
4.3	Příčné řezy žíní.....	24
4.4	Mechanické vlastnosti koňských žíní	24
4.4.1	Materiálové zkoušky	24
5	Výsledky měření.....	28
5.1	Měření příčného rozměru	28
5.2	Příčné řezy	29
5.3	Rychlost růstu	31
5.4	Tahové křivky	32
6	Diskuse	37
7	Závěr	39
8	Literatura.....	41

9 Příloha.....	45
9.1 Měření rychlosti růstu.....	45
9.2 Měření příčného rozměru žíní.....	46
9.3 Síla a deformace při přetržení.....	48
9.4 Python skript.....	50

1 Úvod

Spojené státy americké jsou jedním z největších chovatelů westernových plemen koní. Jedno z nejpozoruhodnějších z nich je Appaloosa Horse, plemeno vyšlechtěné indiány kmene Nez Percé. Ne nadarmo se říká, že pokud má nějaké plemeno nejbližší člověku, je to právě Appaloosa Horse. Tito všestranní koně jsou odvážní, citliví a věrní svému pánu. Plemeno se stalo velmi oblíbené u lidí po celém světě a jeho počty se každoročně zvyšují. Česká republika si drží třetí místo v každoročním součtu nově registrovaných koní v Evropě.

U Appaloosa Horse je povoleno křížení s Anglickým plnokrevníkem, Quarter Horse a Arabem. Pomocí selektivního šlechtitelského programu je možné udržet co nejčistší krev tohoto plemene. Hlavním cílem chovatelů by mělo být promyšlené rozmnožování zdravých jedinců a snaha o zvyšování genetické hodnoty a výkonnosti tohoto plemene. Kondice zvířete může být posuzována i podle stavu jeho žíní. Žíně plemene Appaloosa mají historicky, oproti ostatním plemenům, řidší žíně na hřívě a ocasu. Práce by měla zjistit, zda existují rozdíly ve vlastnostech žíní a jejich růstu v závislosti na podmínkách chovu.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Cíl práce

Cílem práce bude stanovit rozdíly mezi mechanickými vlastnostmi žíní a jejich strukturou u koní plemene Appaloosa chovaných na různých kontinentech. Budou sestaveny základní popisné statistiky rychlosti růstu, trend rychlosti růstu ve sledovaném časovém intervalu, včetně intervalu spolehlivosti a posouzení vlivu lokace a způsobu chovu na tyto mechanické vlastnosti a jejich rozptyl.

2.2 Vědecké hypotézy

Hypotéza H_1 : Klimatické pásmo a rozdílné krmné dávky mají vliv na mechanické vlastnosti, strukturu a rychlost růstu žíní koní plemene Appaloosa.

Alternativní hypotéza H_2 : Klimatické pásmo a rozdílné krmné dávky nemají vliv na mechanické vlastnosti, strukturu a rychlost růstu žíní koní plemene Appaloosa.

2.3 Metodika

Předmětem výzkumu bude porovnání mechanických vlastností, struktury a frekvence růstu žíní koní plemene Appaloosa Horse žijících v České republice a Severní Americe, Texasu. Koně zařazení do experimentu mají odlišnou krmnou dávku a sportovní či chovné využití. Žíně budou odebrány od 12 koní plemene Appaloosa chovaných ve stejném hospodářství v ČR a od 12 koní chovaných v USA. U odebraných žíní budou sledovány mechanické vlastnosti a struktury na příčném řezu. Mechanické vlastnosti budou stanoveny pomocí mikrotonu a deformačního zařízení, struktury žíně budou pozorovány pomocí optického mikroskopu a makroobjektivu. Dále bude měřena frekvence růstu žíní v místě odběru žíní z ocasu koně pomocí digitálního posuvného měřítka v pravidelných časových intervalech.

3 Literární rešerše

Literární rešerše, jako teoretické východisko pro stanovení cíle a zpracování diplomové práce je zaměřena na charakteristiku plemene Appaloosa, popis plemene, charakteristiku žíní, jejich vlastností, struktury a rychlosti růstu. Závěrem je popsán vliv podmínek chovu, vliv používaných krmiv a krmných dávek na různé vlastnosti žíní.

3.1 Historie Appaloosa Horse

Appaloosa je plemeno koní historicky spojené s kmenem Nez Perce (Niimipu). Název pochází z „Palouse“, který odkazoval na oblast, kde byli koně chováni.

Je pravděpodobné, že tito koně původně pocházeli z různých španělských koní, takzvaných skvrnitých koní, s nimiž se obchodovalo na severozápad od poloviny do konce osmnáctého století. Koně pak choval indiánský kmen Nez Perce.

První zdokumentované zprávy o koních v Oregonu jsou v časopisech Meriwethera Lewise a Williama Clarka, kteří u kmene Nez Perce zaznamenali skvrnité koně podobné Appaloose. Kmen Nez Perce si Appaloos vážil pro jejich inteligenci a temperament, jistou nohu, vytrvalost a rychlost. Vyžadovali, aby jejich koně prošli zrádné stezky od jejich zimoviště v údolí Wallowa ve východním Oregonu přes Skalisté hory až po letní tábory na pláních. Koně byli dostatečně rychlí, aby chytili bizona a paso fino – tedy měli hladkou chůzi – natolik, aby umožnili lovcům střílet s přesností z plného cvalu.

Původní Nez Perce Appaloosa téměř vymřel po válce Nez Perce v roce 1876, když americká armáda zabavila stáda kmene. Několik kusů z tohoto plemene však přežilo do dvacátého století. Ve třicátých letech minulého století ve východním Oregonu pracovali na jeho oživení.

Appaloosa je jedno z nejvýraznějších a nejcennějších amerických plemen koní na světě. Kmen Nez Perce a další chovatelé koní v regionu nadále rozvíjejí žádoucí vlastnosti, které byly chovány v původním plemeni v devatenáctém století. Jako moderní plemeno koní je Appaloosa charakteristická svou strakatou kůží (Dudley 2007).

Kůň plemene Appaloosa je relativně velké zvíře, jeho chov je finančně náročný a generační interval trvá několik let. Proto je přímá experimentální studie, která by zahrnovala stovky kusů skoro nemožná. Nejlepší alternativou studie současného stavu je tak osobní pozorování. Bohužel i tento způsob by zahrnoval vysoké náklady na cestování po celém světě. Jediná dostupná data jsou tak záznamy vedené Appaloosa Horse Club v Moskvě v Idahu. O každém registrovaném zvířeti v Appaloosa Horse Club je veden individuální spis.

Tento spis obsahuje:

Obrázek koně pořízený v době registrace. Druhý obrázek dospělého koně, kdy a zda byla podána žádost o registraci. Slovní popis barvy a vzoru koně. Zprávy o chovu hřebců, které zahrnují registrační číslo všech registrovaných jedinců vyplývajících z každého chovu. Kopie veškeré korespondence s majiteli, chovateli atd. týkající se uvedeného koně. Přepisy zvířat, které obsahují jména starých i nových vlastníků a adresy. Oznámení o pronájmu, pokud je to relevantní. Kartotéční lístek je také veden se záznamy všech otců a matek.

Appaloosa Horse Club byl založen v roce 1938. Klub byl zorganizován za účelem oživení plemene, ke sběru informací a k vystopování předků zbývajících Appaloosa koní. Skrze každoroční národní show, byli chovatelé schopni své koně porovnávat a sdílet myšlenky, které by jim pomohli se rozhodnout, které koně zachovat do chovů. Klub funguje dodnes a spolupracuje s Appaloosa klubem v ČR a v zemích po celém světě (Nelson 1958; Sowerwine 1974; Kisadere 2019).

3.2 Charakteristika plemene Appaloosa

Kohoutková výška hůlková se pohybuje mezi 147 a 157 cm. Hlava je široká, oko jiskrné, uši jsou malé a špičaté. Krk je svalnatý, hrudník široký. Typická je kulatá, silná zád' s vysoko nasazeným ocasem. Žíně jsou velmi řídké, což je společně s pigmentovanými genitáliemi, viditelným bělmem oka a pruhovanými kopyty plemenný znak. Chody jsou velmi pohodlné a příjemné. Appaloosy jsou proslulé silnými končetinami s vynikajícími kopyty. Je to neobyčejně vytrvalé, nenáročné plemeno (Hermsen 2002).

Mají několik výrazných barevných vzorů (leopard, dalmatinské skvrny) a také má v srsti všechny nepravidelné znaky. Skvrnitost Appaloosa je charakterizována bílými skvrnami v srsti, která se soustředila přes boky. Kromě toho mají plemena koní Appaloosa tři další pigmentační znaky: pruhovaná kopyta, viditelná nepigmentovaná skléra kolem oka a skvrnitá pigmentace kolem pohlavních orgánů a huby (Sponenberg & Beaver 1983). Výše popsané znaky je možno vidět na příloženém Obrázek 1.

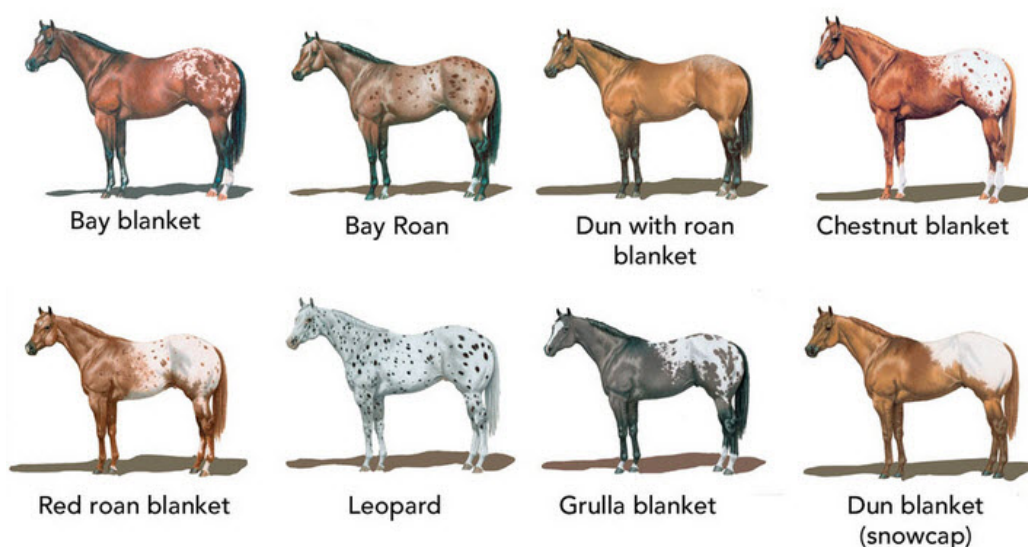
Bílé tečkované vzory Appaloosy jsou běžně označovány jako tzv. leopardí komplex. Vzor leopardího komplexu vypadá jako kontinuum, které je možné rozdělit do několika odlišných typů vzorů, od světlých po tmavé: few-spot leopard (málo-puntíkový leopard), leopard, snowcap blanket (deka sněžná čepice), blanket with spots (tečkovaná deka), varnish roan (mramorový nebo tzv. lakovaný bělouš), snowflake, frosted, kropenatý a strakatý vzor. Některé další vzory jsou zobrazeny na Obrázek 1 (Sandmeyer et al. 2007).

Další běžné znaky a charakteristiky leopardího komplexu zahrnuje trio pruhovaných kopyt, bílé bělmo a strakatá kůže v oblasti konečnicku, genitálií, huby a očních víček. Puntíkový vzor leopardího komplexu je způsoben jednou dominantní formou genu alela (Lp), který ovlivňuje mnoho modifikátorů, které vytváří různé druhy uvnitř komplexu. Složení genů určujících barvu Appaloosa koní a jejich dědičnost jsou komplexní a složitá záležitost, jak naznačuje samotný počet různých druhů existujících vzorů (Householder 2012).

Byly zjištěny následující závislosti:

- Skvrny mohou mít vlastní barvu nebo tmavší, ale nikdy nejsou světlejší než barva těla.
- Šedý (G) gen způsobuje dřívější šednutí.
- Bílý (R) gen působí odlišně v plemeni Appaloosa než u ostatních plemen. Bílí koně mohou být po narození jednobarevní, ale během jednoho nebo dvou let zbledají. Může být dominantní u hřebců, kde může být vyjádřen jako „blanket fringe roaming“ (Sowerwine 1974).

Homozygotní koně mají sklony k tomu být více bílé než heterozygotní koně s chybějícími tmavými puntíky uvnitř bílých zadních oblastí koně. Nejvíce málo skvrnití leopardi (spíše celé bílé tělo s velice málo nebo úplně bez skvrn) a koně se vzorem snow-capped blanket (oblast čisté bílé pokrývky nad zádí a boky bez skvrn) jsou homozygotní pro Lp. Obecně převládá názor, že mnoho homozygotních koní trpí noční slepotou (Sandmeyer et al. 2007).



Illustrations courtesy Appaloosa Horse Club

Obrázek 1 Pigmentační znaky plemene Appaloosa (Sandmeyer, 2007)

3.3 Struktura žíní a chlupů

Žíně jsou výsledkem růstu vlasových folikulů a skládají se ze tří strukturních složek: vnější kutikuly, kortex (kůra) a centrální medully (dřeň) (Lai-Cheoing & McGrath 2009).

Kutikula má vysoce stabilní uspořádání těchto chemických vazeb a její vnější dlaždicová chrání strukturu žíní před faktory degradace prostředí, mikrobiálními látkami a hydrolýzou.

Kortex, je hlavní složkou žíní, obsahuje podélně orientované keratinocyty a melaninové granule (Gratacós-Cubarsí et al. 2006). Melaniny (eumelanin a pheomelanin) neboli pigmenty, které jsou zodpovědné za barvu žíní (Yu & Meyers 2017).

Keratin tvoří převážnou část žíně a obsah je přibližně 85 % (Wenning 2000). Keratin je tvořen proteiny. Proteinová vlákna tvoří strukturu žíní a zajišťují jejich mechanickou pevnost.

Medulla neboli dřeň obsahuje náhodně orientované a volně zabalené obdélníkové buňky, (Gratacós-Cubarsí et al. 2006), které při dehydrataci zmenšují objem a zanechávají řadu mezer podél středové osy žíní.

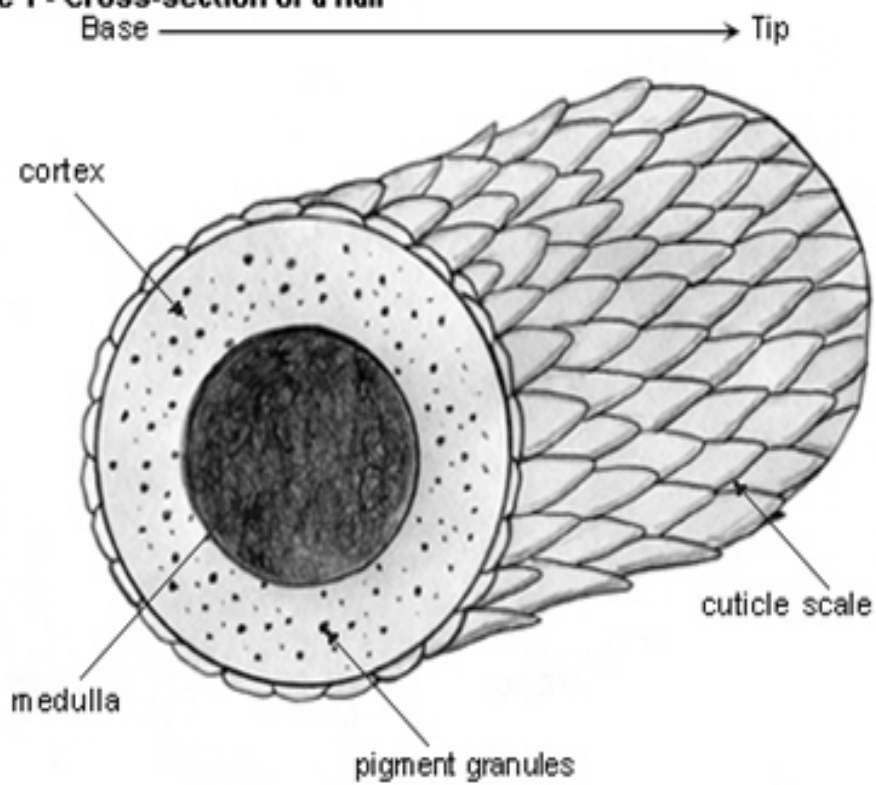
Kromě proteinů a melaninů obsahují žíně vodu, lipidy a anorganické minerální látky. Nejbohatšími zástupci mezi aminokyselinami v koňských žíních jsou cystin, kyselina glutamová, serin, arginin, leucin, prolin a glycin. (Stenn & Pauss 2001)

Žímě nerostou neustále, ale procházejí definovaným obdobím růstu a klidového stavu, které jsou ovládány různými faktory chápány jen částečně. Cyklus růstu vlasů obvykle zahrnuje anagenní fázi – dlouhou dobu aktivního růstu, catagenní fázi – krátkou přechodnou fázi pomalého růstu a telogenní fázi bez růstu. Když vlasová stopka přestane úplně růst, lze ji snadno odstranit vytažením. U lidí a morčat byl cyklus růstu definován jako „asynchronní“, protože každý folikul má nezávislé chování. Jiné druhy zvířat vykazují odlišný vzorec růstu vlasů, ve kterém jeden vlasový folikul může ovlivnit růstovou aktivitu sousedních folikulů (Gratacós-Cubarsí et al. 2006).

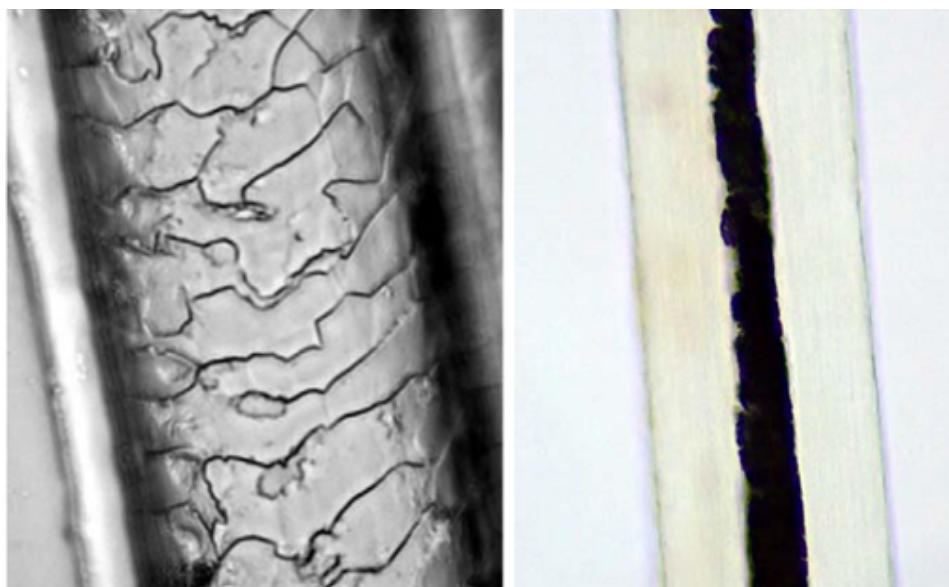
Folikul žíně má dvě mezenchymální složky, včetně dermální papily (DP) a dermálního obalu. DP je obalena keratinocyty v anagenní fázi. DP uvolňuje růstové faktory podobné inzulinu, které jsou nezbytné pro proliferaci a diferenciaci keratinocytů. (Stenn & Pauss 2001)

Alkalická fosfatáza (ALP) je detekována v mnoha tkáních a orgánech. (Steffkova et al. 2015) Aktivita ALP je také detekována v folikulu žíně během a po vývoji žíní, a proto je ALP užitečným markerem pro indikaci umístění, tvaru a velikosti DP ve vzorcích kůže (Muller-Rover et al. 2001).

Figure 1 - Cross-section of a hair



Obrázek 2 Průřez žíní (Yasser et al. 2018)



Obrázek 3 Morfologie vlasové kutikuly (vlevo) a medully u koně (vpravo) (Yasser et al. 2018)

3.4 Funkce žíní

Chlupy a žíně slouží k ochraně koně proti napadení z vnějšího prostředí, umožňují komunikaci s okolím a napomáhají přenosu signálů do okolí, jako jsou například feromony (Stenn & Paus 2001). Jsou bariérou proti vnějšímu prostředí a současně napomáhají regulovat tělesnou teplotu (Dunnett 2005). Chlupy chrání povrch kůže od nečistot a parazitů (Stenn & Paus 2001).

3.5 Vliv chemických prvků na barvu žíní

Vyšší podíl sodíku, vápníku, fosforu, hořčíku a draslíku byl u černých žíní. Rozdíly byly nalezeny zejména při porovnání bílých a pigmentovaných žíní. Značně nižší množství, vápníku, hořčíku, draslíku a sodíku obsahovaly bílé žíně. Obsah Cu, Zn a fosforu byl zcela vyrovnaný. Větší obsah železa měly bílé žíně. Podíl mědi v žíních patrně není ovlivněna jejich barvou. Obsah Cu v červených, černých a bílých žíních skotu byl podobný (O'Mary et al. 1970; Combs et al. 1982). Poměr Zn v žíních hnědáků a ryzáků byl jasně nižší než u koní s šedými žíněmi. Obsah Cu byl nalezen výrazněji nižší pouze u hnědáků (Asano et al. 2005).

3.6 Mechanické vlastnosti

Kůň je dobrý model pro studium morfologie vlasových folikulů a vývoj vlivem morfologických změn mezi existujícími plemeny, a dokonce mezi různými tělesnými částmi jednoho zvířete (Zhao et al. 2020).

Žíně je nerozpustitelná ve vodě a chemicky neaktivní. Je vysoce hygroskopická, absorbuje velice rychle vodu (dosahuje 75 % maximální absorpční kapacity za 4 minuty (Burnik et al. 2015).

Vlas je charakterizován vysokou elasticitou a vysokou pevností v tahu. Jeho modul pružnosti je v rozsahu od 2 GPa ÷ 3 GPa a jeho maximální deformace je v rozsahu od 35 % do 50 %. Pevnost v tahu vlasu je obvykle v rozsahu od 120 MPa ÷ 170 MPa, ale může být i až 250 MPa, kde je spojena s dvoufázovou strukturou kůry vlasu (Burnik et al. 2015).

Jak je vlas natahován, α -keratin molekuly se přemění při přechodu z elastické do plastické deformace na β -keratin spolu s gelovou maticí. Křemík, zinek a měď a chelatované železo. Draslík a zinek jsou absorbovány vlasem. Je patrné, že koncentrace zinku, mědi a železa v žíních jezdeckých koní s rozdílnou plemennou příslušností nebyly statisticky rozdílné (Asano et al. 2005; Burnik et al. 2015).

3.7 Faktory ovlivňující růst chlupů a žíní

Každoroční změny v chovu koní jsou adaptací na sezónní změny v podmínkách prostředí. Sítnicový příjem sezónně se měnících světelných informací o prostředí se přenáší přes retino-hypotalamický trakt do bilaterálně spárovaného suprachiasmatického jádra (SCN) v hypotalamu a řídí cirkadiánní a celoroční změny ve fyziologii (Murphy 2019).

Vedle fotoperiody je teplota také považována za důležitý podnět pro zahájení fyziologických změn u mnoha sezónních zvířat. Předpokládá se, že fotoperioda a teplota interagují při řízení sezónních adaptací v načasování první ovulace, růstu žíní a srsti u koní.

Jak růst srsti reaguje na světlo má důležitý význam pro všechny koně, aby bylo možné optimalizovat termoregulaci pro zlepšení zdraví a dobrých životních podmínek u chovných zvířat. Předpokládáme hypotézu, že podobně jako u jiných cirkulárních rytmů ve fyziologii, které zobrazují křivky fázové odezvy, bude roční cyklus růstu srsti reagovat odlišně na prodloužený denní světelný stimul k urychlení nebo oddálení línání srsti nebo růstu v ročním období konkrétním způsobem (O'Brien et al. 2020).

Dalšími faktory mohou být toxické chemické prvky v životním prostředí. Biologicky nerozložitelné znečišťující látky, které způsobují zdravotní problémy a snižují produktivitu hospodářských zvířat. (Kalashnikov et al. 2019)

Je logické, že vysoká hladina toxických chemických prvků v těle hospodářských zvířat vede ke snížení účinnosti metabolismu a ke snížení produktivity. V této souvislosti je třeba uvažovat o kontrole a korekci toxické zátěže spolu s opatřeními pro vyvážení stravy podle životně důležitých prvků. To je možné díky monitorování hladiny toxických chemických prvků v těle zvířete pomocí elementární analýzy biosubstrátů. (Kalashnikov et al. 2019)

Zde se vlasy zdají být perspektivou pro hodnocení toxické zátěže a přenosologické diagnózy zdraví. Koncentrace prvků ve vlasech nezávisí na věku, plemeni a pohlaví zvířete a lze ji použít jako referenční hodnoty pro hodnocení nemoci a stavu výživy. (Kalashnikov et al. 2019)

Mezi velmi toxické prvky patří olovo a kadmium, tyto těžké kovy jsou přítomny v průmyslových znečišťovacích látkách a jsou akumulovány v žíních. Veškeré změny vzhledu žíně jsou spojeny s výživou organismu, únavou, nemocemi a jsou použity v diagnóze zdraví zvířat. Navíc, akumulace prvků ve vlasu mění jeho mechanické vlastnosti. (Rashed & Soltan 2005)

3.8 Vliv krmiva na růst žíní

Nedostatečná výživa může být příčinou tvorby matné, suché, křehké a řídké srsti, ikdyž se u koní často vyskytují kožní léze a dermatologické poruchy, existuje překvapivě málo studií zabývajících se použitím regenerativní medicíny a tkáňového inženýrství v této oblasti a pro tento druh. (De Schauwer et al. 2013)

Pro správnou funkci kůže a růstu jejích derivátů jsou důležité aminokyseliny obsahující síru, dále cystein a metionin, esenciální mastné kyseliny, vitamíny, zejména biotin, minerální látky, vitamíny A, E, D, především vápník a stopové prvky, jako je zinek a měď. (Tomlinson et al. 2004; Burla et al. 2016)

Za přirozených podmínek stráví koně synchronizovanou pastvou 12–18 hodin denně, ale u ustájených koní je množství krmiva a tím i doba příjmu krmiva obvykle omezena. U skupinově ustájených koní jsou proto doby krmení často situacemi se zvýšenou úrovní agonistického chování. Kromě toho se z etologického hlediska velmi doporučuje poskytovat slámu, ale také seno po neomezenou dobu bez ohledu na systém krmení (Tomlinson et al. 2004; Burla et al. 2016).

3.9 Rychlost růstu žíní

Dle (Burnik et al. 2015) je možné přiřadit segmenty vlasů různým etapám života zvířete, sezóním a stravovacím režimům nebo pohybovým vzorcům. Rychlost růstu je pak klíčový parametr pro správné přiřazení segmentů nebo přírůstků vlasů ročním obdobím nebo dokonce Juliánským datům. U většiny druhů takové informace chybí a jsou vzácné. Proto se často tento parametr rychlosti růstu nahrazuje od ostatních příbuzných druhů viz Tabulka 1. Taková náhrada však přináší značnou nejistotu do průměrné míry růstu. Dokonce i těsně příbuzné druhy se mohou v tomto parametru velice lišit. U identických druhů je pak parametr rychlosti růstu velkou mírou modifikován fotoperiodou, okolními teplotami, různými hormony, stavem výživy a celkovým zdravotním stavem. Lze proto očekávat, že se rychlost růstu vlasů bude lišit mezi druhy, populacemi a dokonce i jednotlivci stejného druhu žijících v různých podmínkách jiného i stejného prostředí. (Burnik et al. 2015)

Zmapování rychlosti růstu vlasu u jednoho druhu v nestabilních podmínkách reálného chovu by tak vydalo na samostatnou práci. Z uvedeného je také patrná nutnost detailní dokumentace podmínek života zvířat zahrnutých do studie.

Tabulka 1 Rychlost růstu vlasu ocasu (Burnik et al. 2015)

Druh	Rychlost růstu [mm / den]
Kůň domácí (<i>Equus caballus</i>)	0.63 – 1.28
Poník	0.79
Elephant (<i>Loxodonta africana</i>)	0.73 – 1.04
Cow (<i>Bos taurus</i>)	0.51 – 0.63

3.10 Rozdíly v chovu

Vzhledem k cílům práce, tedy porovnání dvou rozdílných chovů na dvou kontinentech, je nutné tyto rozdíly kvůli případné opakovatelnosti detailněji popsat. Klimatické podmínky popisuje Tabulka 2.

Tabulka 2 Rozdíly v klimatických podmínkách (ČHMU 2021; Current Results Publishing Ltd. 2021)

Město	Průměrná teplota [° C] 2010 - 2020					Množství srážek [mm]
	Leden	Červen	10 let	Nejvyšší naměřená	Nejnižší naměřená	Rok 2020
Varnsdorf	-0.75	16.6	8.8	20.9	-1.6	569
Dallas	8.5	29	20.5	37	3	993

3.10.1 Popis koní a specifických podmínek chovu – CZ

Koně jsou chováni na severu Čech. Měření růstu žíní probíhalo v období od 3. 6. 2020 do 17. 6. 2020. Koně v ČR až na dvě klisny (č. 22 a č. 24) a jednoho hřebce (č. 14), kteří byli poslední 3 roky v tréninkovém režimu, byl zbytek koní přes den na bohaté pastvě a sportovní koně chodili na noc do boxu. Rekreační koně byli 24 hodin na pastvině z jetelotravních směsí s přístřeškem. Na pastvině měli k dispozici i luční seno. Ráno a večer dostávali sportovní koně granule a musli, podle typu zatížení. Nejvyšší denní dávka pracujícího koně byla 1 kg granulí

Energies relax a 0,5 kg musli Sehnoutek. Rekreační koně dostávali v nejvyšší dávce 0,5 kg granulí. V boxech byli nastláni pšeničnou slámou.

V ČR vzhledem k malému počtu závodů vypisovaných jen pro toto plemeno, byli sportovní koně trénováni pouze sezónně, a to od dubna do října. Trénink probíhal 4 dny v týdnu maximálně hodinu pod sedlem nebo 20 minut na lonži. Po práci byli krokováni v terénu a poté na 15 minut uvazováni a následně krmeni stejnou dávkou jako byli krmeni ráno a večer. Rekreační koně chodili na vyjížďky 2 až 3krát týdně a to od 3 do 7 km převážně v kroku a klusu. Celkový seznam koní z ČR viz Tabulka 3.

Tabulka 3 seznam koní z ČR

	Jméno	Pohlaví	Březí	Původ	Specifikum chovu
13	Zoey	Klisna	Ne	ČR	Pastva
14	Ego	Hřebec	Ne	ČR	Pastva, box
15	Vilík	Valach	Ne	ČR	Pastva
16	Roy	Valach	Ne	ČR	Pastva
17	Gena	Klisna	Ne	ČR	Pastva
18	Darling	Klisna	Ano	ČR	Pastva
19	Pepa	Valach	Ne	ČR	Pastva
20	Melody	Klisna	Ano	ČR	Pastva
21	Elly	Klisna	Ne	ČR	Pastva
22	Chelsea	Klisna	Ne	ČR	Pastva, box
23	Blonde	Klisna	Ano	ČR	Pastva
24	Chloe	Klisna	Ne	ČR	Pastva, box

3.10.2 Popis koní a specifických podmínek chovu – USA

Koně jsou chováni v Pilot Point Texas. Měření probíhalo v období od 3. 6. 2020 do 17. 6. 2020. Všechny koně byli v tréninkovém režimu. Vzhledem k velkému počtu závodů v USA chodili koně každé ráno na řetězový kolotoč, následně do boxu nebo výběhu, podle toho, jak následoval jejich hodinový trénink pod sedlem na jízdárně. Boxy měli v plechových

halách, kde byly zavedeny větráky s klimatizací, protože v letním období bylo na slunci i 40 °C. Na závodech stáli koně v závodní dny uvázaní u žlabu, kde byli krmeni jako doma ve stájových podmínkách a vedle hlavy měli uvázanou síť se senem. Uvazování zůstávali proto, že šel z pravidla každý kůň několik tříd za den. Před každou třídou měli koně trénink. Po každých závodech měli koně dva dny volno. Velké show v USA jako je například World show trvala i 10 dní. Koně v USA trávili více času v boxech, na pastvinu chodili na půl dne. V boxech dostávali třikrát denně seno a 2 až 3 kg vojtěžkových pelet. Krmeni byli třikrát denně po 1 až 2 kg granulovaným krmivem Fitmin, které bylo dováženo kamionem a foukáno do krmného sila. Podestýláni byli pilinami. Celkový seznam koní z USA, z kterých byli odebrány vzorky viz Tabulka 4.

Tabulka 4 seznam koní z USA

	Jméno	Pohlaví	Březí	Původ	Specifikum chovu	Ustájení
1	King	Hřebec	Ne	USA	Pastva, box	Ano
2	Scoot	Valach	Ne	USA	Pastva, box	Ano
3	Rex	Valach	Ne	USA	Pastva, box	Ano
4	Lexie	Klisna	Ne	USA	Pastva, box	Ano
5	Fat	Klisna	Ne	USA	Pastva, box	Ano
6	Tease	Valach	Ne	USA	Pastva, box	Ano
7	Dinamic	Valach	Ne	USA	Pastva, box	Ano
8	Alfred	Hřebec	Ne	USA	Pastva, box	Ano
9	Bett	Klisna	Ne	USA	Pastva, box	Ano
10	Black	Klisna	Ne	USA	Pastva, box	Ano
11	Valentine	Valach	Ne	USA	Pastva, box	Ano
12	Chico	Hřebec	Ne	USA	Pastva, box	Ano

4 Metodika a měření

Předmětem výzkumu bude porovnání mechanických vlastností struktury a rychlost růstu žíní koní plemene Appaloosa Horse žijících v České republice a severní Americe, Texasu. Koně zařazení do experimentu mají odlišnou krmnou dávku a sportovní či chovné využití. Žíně byly odebrány od 12 koní plemene Appaloosa chovaných ve stejném hospodářství v ČR a od 12 koní chovaných v USA. U odebraných žíní budou sledovány mechanické vlastnosti a struktury na příčném řezu. Dále bude měřena frekvence růstu žíní v místě odběru žíní z ocasu koně pomocí digitálního posuvného měřítka v pravidelných časových intervalech.

Vzorky jsou číslovány, od 1 do 12 jsou číslovány vzorky z USA, od 13 do 24 jsou číslovány vzorky z Čech. Odebrání vzorků proběhlo formou ustřížení co nejbližší kořeni ocasu. Ustřížení vzorku, oproti vytržení zabránilo vznikům trvalé deformace struktury a tím ovlivnění mechanických i geometrických vlastností před měřením. Vzorky byly uchovávány stočené v uzavřených igelitových sáčkách. Odebrání vzorků proběhlo ve stejné roční období u obou sad, červen 2020.

Předpoklad pro srovnání a vyhodnocení dvou sad vzorků bylo Gaussovo rozdělení naměřených dat. Tento předpoklad byl vždy ověřen. U každého měření byla testována následující hypotéza, H_0 : „Naměřená data mají normální (Gaussovo) rozdělení“. Hypotéza byla testována Shapiro Wilk (S–W) testem normálního rozdělení. Test vyvrací hypotézu v případě, že hodnota p je menší nebo rovna 0,05. Kde p je hodnota pravděpodobnosti nalezení dat v případě, že je H_0 pravdivá v intervalu spolehlivosti 0,95. Tento test je doporučován jako robustnější test normality (Ghasemi et al. 2012). Všechna data byla také pro kontrolu zobrazena v Q–Q diagramech, které jsou vloženy v příloze.

Hypotéza H_1 , případně alternativní hypotéza H_2 byla poté testovaná dalším statistickým testem s hladinou testu $\alpha = 0,05$. Jako statistický test byl zvolen modifikovaný t-test, Welchův test. Welchův test je určen pro porovnání dvou souborů dat normálního rozdělení, s předpokladem nerovnosti nebo neznámé varianci. Welchův test posuzuje, zda platí hypotéza o rovnosti středních hodnot daných souborů dat, jinak řečeno, zda střední hodnoty jsou rozdílné se zvolenou statistickou významností. Vzhledem k tomu, že není známá specifická predikce směru rozdílů souborů, je použitý test tzv. „two-tailed“ (Salkind 2010).

Vzorec pro výpočet modifikovaného t-testu:

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (\text{I})$$

kde x_1, x_2 jsou střední hodnoty srovnávaných výběrů a σ_1, σ_2 jsou jejich směrodatné odchylky a n_1, n_2 je počet vzorků.

Dále je nutné stanovit tzv. stupně volnosti:

$$v_1 = n_1 - 1, v_2 = n_2 - 1 \quad (\text{II})$$

$$v \approx \frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\sigma_1^4}{n_1^2 v_1} + \frac{\sigma_2^4}{n_2^2 v_2}} \quad (\text{III})$$

Stanovení p - hodnoty je pak dáno zvolenou hladinou testu v t-test tabulkami, např. v (Beyer 2017). Výsledky Welchova testu jsou uvedeny v závěru práce.

Dále bylo provedeno procentuální porovnání statistických veličin normálního rozdělení. Pro vyhodnocení měření a statistických veličn byl použit programovací jazyk Python. Vytvořený skript, určený k vyhodnocení měření je vložen v příloze. Skript obsahuje veškeré použité rovnice a definice. Všechna měření a tvorba vzorků, kromě měření rychlosti růstu, probíhala v laboratorních podmínkách.

4.1 Měření rychlosti růstu koňské žíně

V rámci diplomové práce proběhlo také měření rychlosti růstu koňské žíně. Měření probíhalo od 3. 6. do 1. 9. 2020. Na severu Čech a v USA, ve státě Texas. V každé stáji bylo měřeno 12 koní. K měření bylo použito digitální posuvné měřidlo. Oblast pro měření byla vytvořena vyholením malé plochy ocasu 2x2 cm, měření probíhalo v intervalech po 24 hodinách.

4.2 Měření příčného rozměru

Ke klasifikaci rozdílů koňských žíní díky různému krmení, podnebí a účelu chovu jsou použity i geometrické vlastnosti, a to sice příčný rozměr. Příčný rozměr byl měřen na elektronovém mikroskopu. Měření proběhlo vždy ve vzdálenosti 5 mm od ustřiženého konce. Žíně byla vždy volně položená. Celkem bylo změřeno 120 žíní.

4.3 Příčné řezy žíní

Na elektronovém mikroskopu VEGA3 TESCAN FEI Phenom byly s 1000 x zvětšením pozorovány řezy dvou náhodně vybraných vzorků, jeden původem z USA, druhý z Čech. Příčný řez byl vytvořen rozříznutím žíně skalpelem ve vzdálenosti 5 mm od ustřiženého konce vzorku.

4.4 Mechanické vlastnosti koňských žíní

Popis materiálu koňské žíně z pohledu mechaniky je zejména pro jeho nestálé vlastnosti a charakter biologického materiálu obtížný úkol. Pro jeho popis je nejprve nutné materiál klasifikovat, dle známých materiálových modelů jako například elasto – plastický, hyperelastický, plastický, viskoelastický nebo převážně elastický. Dále je nutné určit veličiny popisující mechanické vlastnosti. Dle těchto vlastností je poté možné stanovit materiálové zkoušky.

Koňská žíně je dle dostupné literatury viskoelastický materiál. Viskoelastacita je zde způsobena strukturálním charakterem zkoumaného předmětu – koňské žíně, která je složena z dlouhých elastických vláken (Malgorzata & Mikolajevska 2009).

S viskoelasticitou souvisejí některé mechanické vlastnosti jako je například relaxace napětí, zpožděná silová odezva na zatížení nebo závislost napětí na rychlosti zatěžování. Tyto vlastnosti nejsou předmětem této práce. S ohledem na zadání práce a s přihlédnutím do existujících publikací (Malgorzata & Mikolajevska 2009; Yu Y et al. 2017; Walkowicz et al. 2018), bude pro porovnání koňských žíní použito porovnání tahových křivek, síla nebo napětí při přetržení (F_U nebo σ_U) a maximální deformace při přetržení (ϵ_U).

4.4.1 Materiálové zkoušky

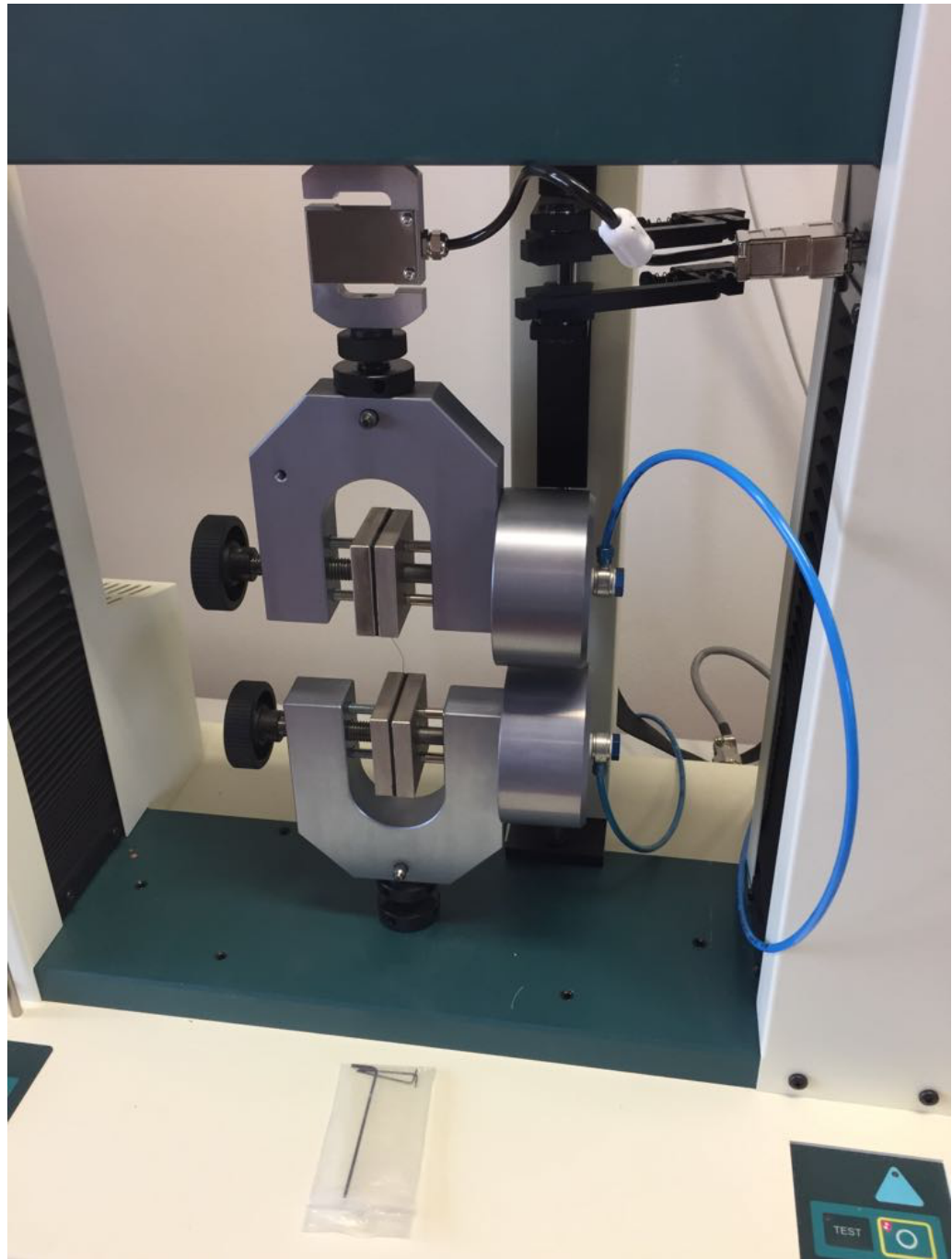
Mechanické zkoušky byly provedeny ve spolupráci s Ústavem pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI), které je výzkumné centrum Technické univerzity

v Liberci (TUL). Experimenty byly provedeny s použitím univerzálního zatěžovacího zařízení TINIUS OLSEN H2K5T.

Měření tahových křivek bylo rozvrženo do 24 experimentů. Každé vlákno bylo podrobena jednoosému zatížení, tahu. Vzorek v podobě jednoho vlákna o délce 60 mm a byl ustřižen od místa ustřižení, obsahoval tedy vždy nejmladší část žíně. Byl natahován konstatní kvazistatickou rychlostí 20 mm / min, dle (Malgorzata & Mikolajevska 2009). Zkouška je řízena posuvem příčnicku a je měřená silová odezva ze siloměru na příčnicku. Zkouška je automaticky ukončena po přetržení, kdy zatěžovací zařízení automaticky rozpozná náhlý pokles tuhosti. Naměřená data bylo nutné pro další zpracování očistit od části dat po přetržení vzorku a bylo také nutné pro získání středních hodnot veškeré naměřené křivky proložit lineárním interpolačním polynomem.

Žíně byla uchycena ve speciálních pneumatických čelistích a tenkých pryžových podložkách. Tvrdost pryžových podložek byla volena na základě sady experimentů tak, aby nedocházelo k prokluzu vláken. Prokluz vláken byl v případě špatného upnutí vzorku jasně vidět na průběhu zatěžovací zkoušky, kdy měřená křivka nebyla hladká, ale obsahovala silné překmity. Podložky měly vyznačené odrážky, díky kterým bylo možné zajistit souosost upnutí.

Cílem měření bylo obdobně jako v (Malgorzata & Mikolajevska 2009) získání tahových křivek k vyhodnocení sil při přetržení.



Obrázek 4 zatěžovací zařízení OLSSEN H2K5T, pneumatické čelisti a upnutý vzorek

Koňská žíně při natahování mění svůj průřez v příčném řezu, dochází tedy ke kontrakci. Tato změna, nebo deformace průřezu v průběhu tahové zkoušky by se měřila technicky velice obtížně. Proto pro hodnocení tahových zkoušek jsou v (Malgorzata & Mikolajevska 2009) použity tzv. inženýrské míry. Inženýrské míry jsou stanoveny jako míry stanovené z původního průřezu vzorku.

Inženýrská deformace (ϵ) byla stanovena z rovnice:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (I)$$

Kde l_0 (mm) – je počáteční délka, Δl (mm) – je posuv.

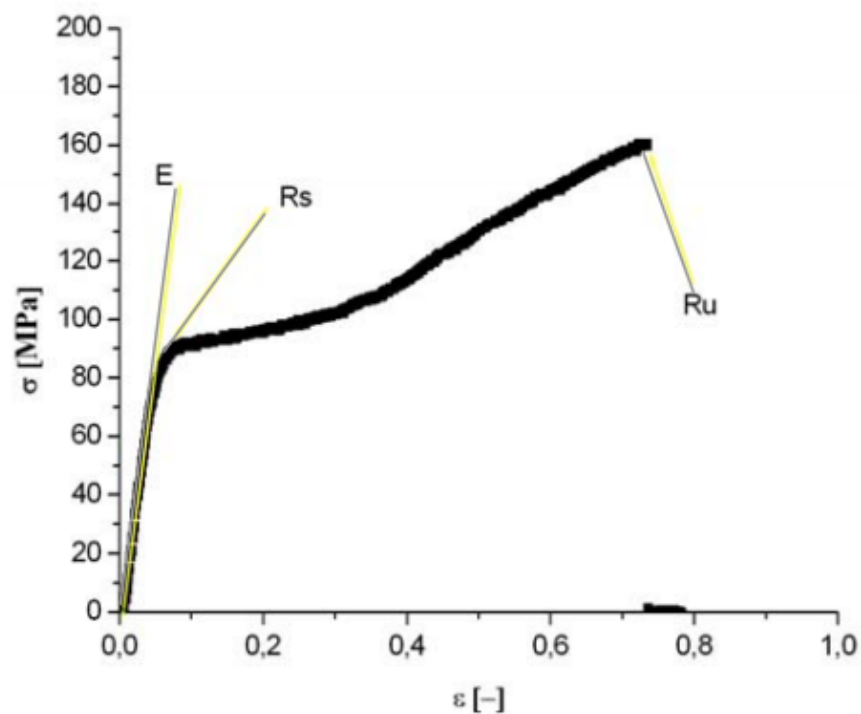
Inženýrské napětí (σ) by pak bylo spočítáno jako poměr síly působící v daný okamžik na počáteční průřez vlákna.

Tedy:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{II})$$

Kde F [N] - síla vyvolaná posuvem příčnicku zatěžovacího zařízení, A_0 [mm²] je počáteční průřez vlákna.

Youngův modul pružnosti (E), mez pevnosti (R_u) a mez kluzu (R_s) lze pro každé vlákno určit ze zatěžovacích křivek, tzv. stress-strain křivek. Zatěžovací křivka koňské žíně je zobrazena na **Error! Reference source not found.** Obrázek 5. Křivka je zobrazena pro účely nepřímého srovnání, tedy zejména vizuální kontroly s měřením.



Obrázek 5 zatěžovací křivka (tzv. stress-strain curve) koňské žíně anglického plnokrevníka (Malgorzata & Mikolajevska 2009), kde E – Youngův modul pružnosti, R_s – mez kluzu, R_u – mez pevnosti

5 Výsledky měření

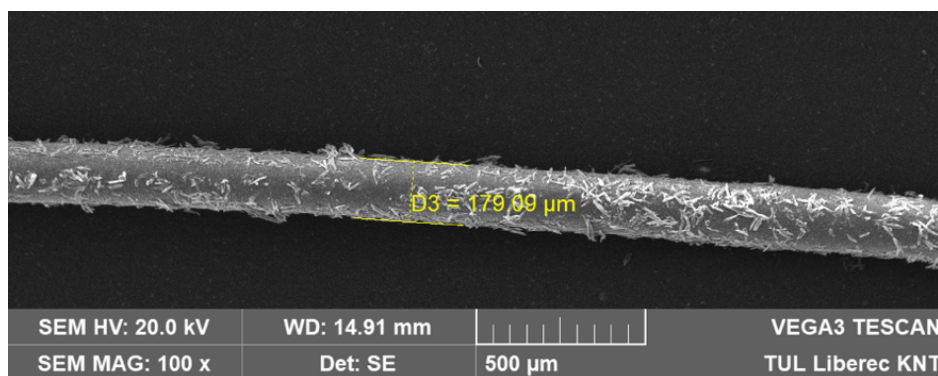
V této kapitole jsou shrnuty dílčí výsledky měření. Každé měření má vlastní podkapitulu, vyjma měření mechanických vlastností, které je pro přehlednost rozděleno do dvou kapitol.

5.1 Měření příčného rozměru

Celkem bylo změřeno 120 žíní. Každému koni bylo změřeno 5 žíní, střední hodnoty jsou uvedeny viz Tabulka 5. V příloze jsou pak na Obrázku 18, 19 a Obrázku 20 zobrazeny histogramy obou měření. Z histogramu na Obrázku 18 lze konstatovat, že naměřené veličny odpovídají Gaussovu statistickému rozdělení. Tato hypotéza byla potvrzena Shapiro-Wilk testem normálního rozdělení, pro obě sady.

Tabulka 5 naměřené hodnoty příčného rozměru

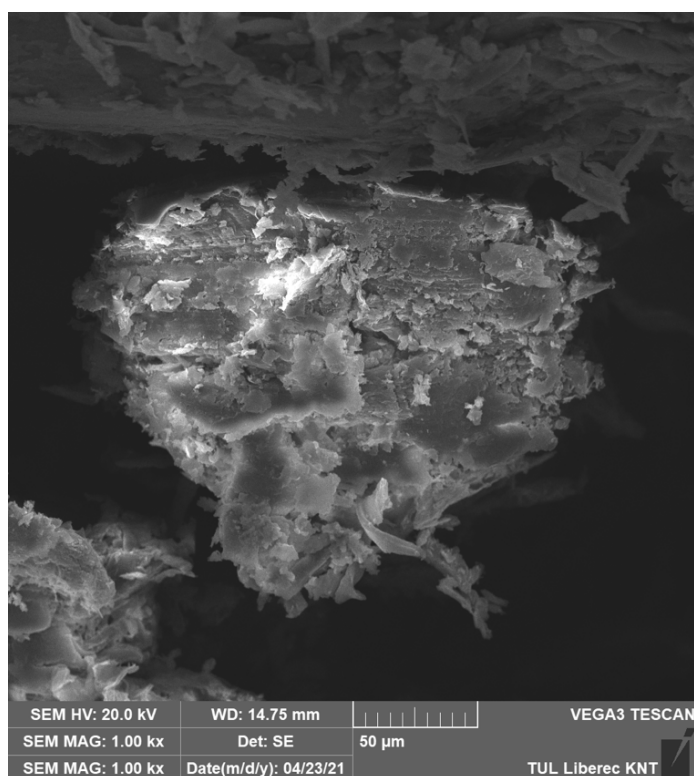
Číslo vzorku	xi příčný rozměr USA [μm]	Číslo vzorku	xi příčný rozměr CZ [μm]
1	175.5	13.	169.1
2.	163.66	14.	177.3
3.	168.4	15.	159.34
4.	195.6	16.	160.14
5	163.7	17.	161.7
6.	190.6	18.	164.32
7.	180.86	19.	170.82
8.	182.46	20.	151.92
9.	188.9	21.	163.84
10	184.92	22.	165.66
11.	166.14	23.	168.3
12.	179.7	24.	180.2
$\sigma(x)$	10.92	$\sigma(x)$	7.8
xi	178.37	xi	166.05
Var(x)	109.5	Var(x)	55.9
S-W test	statistic=0.9363, pvalue=0.4519	S-W test	statistic=0.9765 pvalue=0.9660



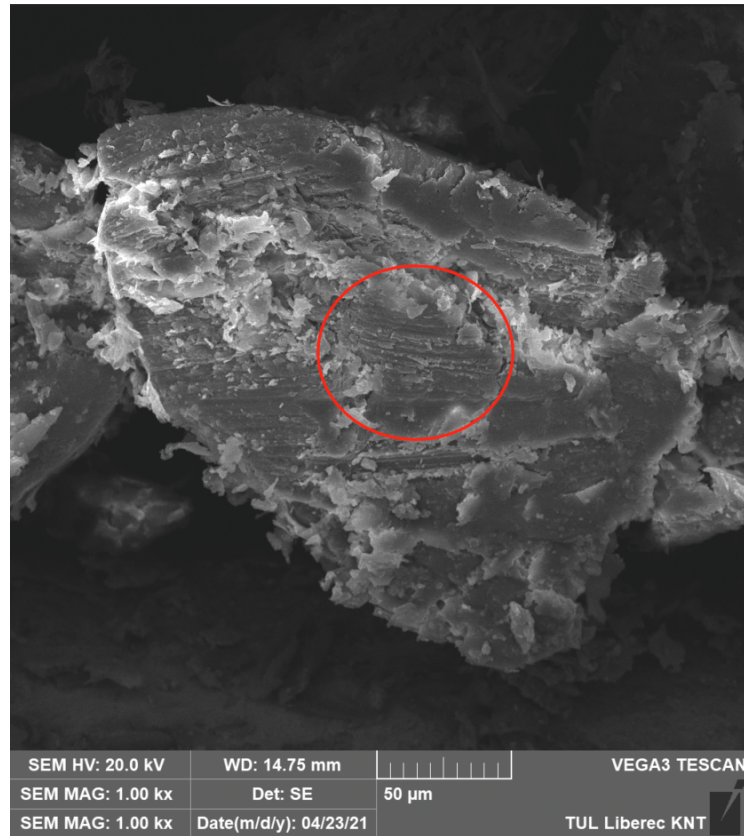
Obrázek 6 SEM měření příčného rozměru žíně, č.6 (TEASE), 100x zvětšení

5.2 Příčné řezy

Metodika tvorby řezu nebyla ideální. Tlak skalpelu vlákna pravděpodobně zdeformoval. Na Obrázek 8 je patrná velice malá, nejspíše zborcená oblast meduly. Ze snímků je patrný eliptický průřez, ovšem není jasné, do jaké míry byla epliticita způsobena tvorbou vzorků.



Obrázek 7 řez žíně (USA)



Obrázek 8 řez žíně (CZ), červeně vyznačená malá oblast meduly

5.3 Rychlost růstu

Výsledky byly zpracovány, viz Tabulka 6 a 7, která zobrazuje průměrné hodnoty rychlosti růstu za 24 hodin a dopočtené statistické veličiny, včetně výsledků S-W testu.

Tabulka 6 výsledné hodnoty měření rychlosti růstu

Číslo vzorku (USA)	Rychlost růstu [mm/den]	Číslo vzorku (CZE)	Rychlost růstu [mm/den]
1	0,77	13	0,73
2	0,76	14	0,72
3	0,80	15	0,77
4	0,71	16	0,68
5	0,76	17	0,79
6	0,76	18	0,69
7	0,68	19	0,78
8	0,74	20	0,76
9	0,82	21	0,51
10	0,67	22	0,79
11	0,72	23	0,63
12	0,74	24	0,90

Tabulka 7 Průměrné hodnoty rychlosti růstu

	Vzorky CZE	Vzorky USA
$\sigma(x)$	0.097	0.04
\bar{x}	0.73	0.74
$\text{Var}(x)$	0.0086	0.0018
S-W test	statistic=0.941 pvalue=0.5	statistic=0.968 pvalue=0.89

5.4 Tahové křivky

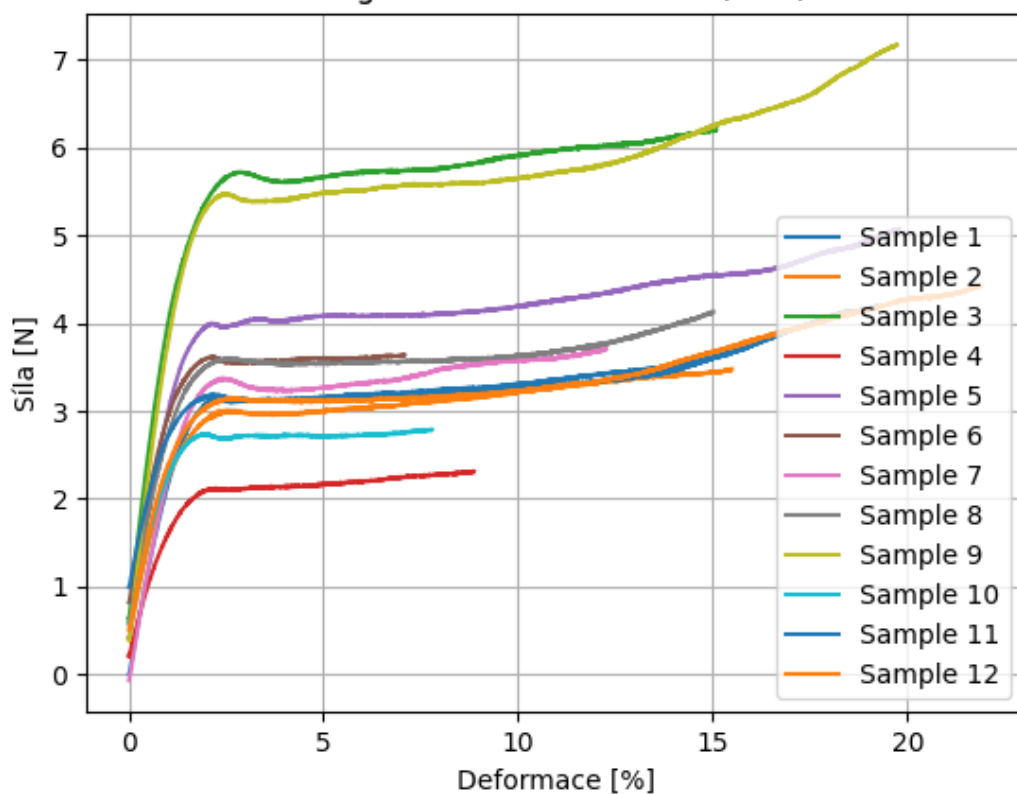
Měření tahových křivek bylo zobrazeno v několika grafech a byly vypočteny statistické veličiny, střední hodnota, směrodatná odchylka a rozptyl. K určení, zda lze rozdělení dat považovat za normální, byl použit Shapiro-Wilk test normality, který normálnost dat potvrdil.

Níže je zobrazeno 12 křivek žíní původem z USA a poté 12 křivek žíní původem z Čech. Vzhledem k rozsahu a cílům práce bylo cílem vyhodnocení, oproti (Malgorzata & Mikolajevska 2009), pouze srovnání sil nutných k přetržení a jím odpovídajících deformací. Youngův modul pružnosti, ani napjatost v daném vzorku tak nebyla hodnocena.

Měření i tak mohlo být srovnáno s výsledky uvedené v (Malgorzata & Mikolajevska 2009), napjatost byla přepočtena zpět na silové účinky, tedy sílu při přetržení a sílu nutnou k dosažení meze kluzu, dle rovnic uvedených v kapitole 4.4. Odstraněním veličin v mírách napětí došlo zároveň i k odstranění možných chyb při stanovení průřezu vláken a přepočtu síly na napjatost. Ve veškerých grafech je tak zobrazena závislost síly (F) na deformaci (ϵ). Naměřená data (24 křivek) jsou zobrazena na Obrázek 9 a Obrázek 10. Následně bylo provedeno další průměrování všech naměřených křivek dle původu (Obrázek 11).

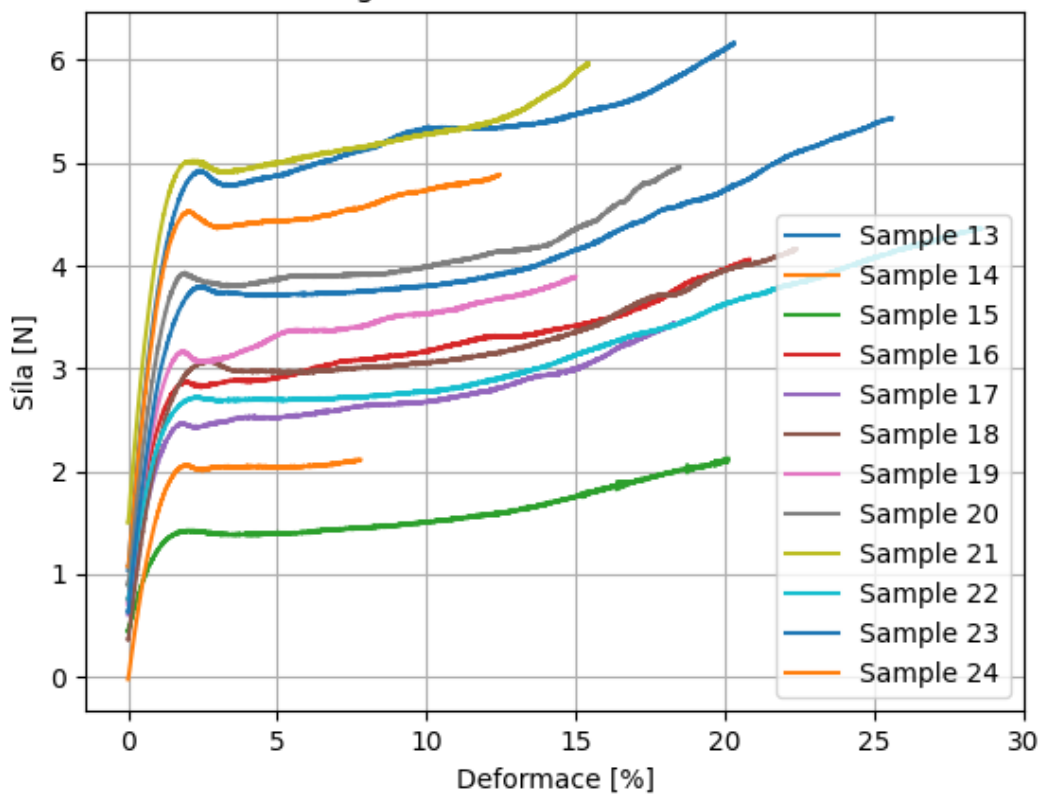
Poté bylo vykresleno zobrazení sil při přetržení pro stanovení intervalů a směrodatné odchylky. A nakonec je zobrazen bodový graf sil při přetržení a odpovídajících hodnot deformace pro určení podobnosti mezi sadou žíní z USA a z Čech. Souhrn hodnot sil při přetržení a odpovídajících deformací je zobrazen v Tabulka 8.

Diagram Síla - Deformace (USA)

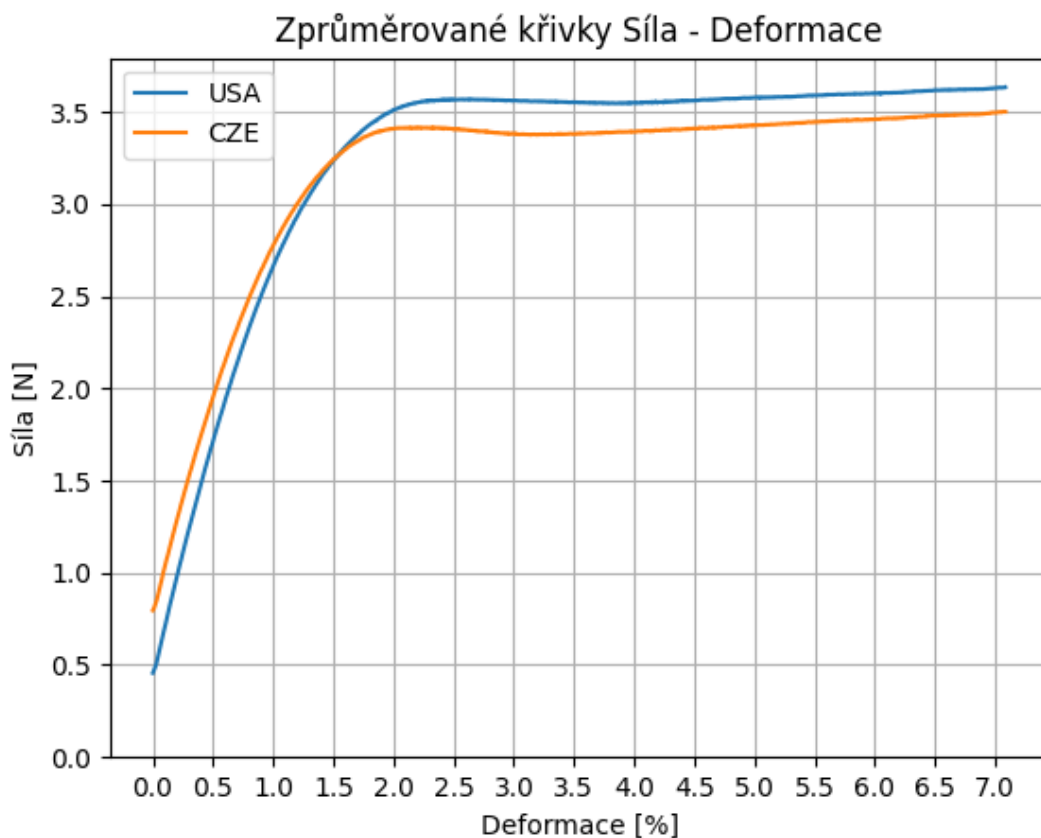


Obrázek 9 Tahové křivky USA, (pozn. vzorky jsou číslovány od 0)

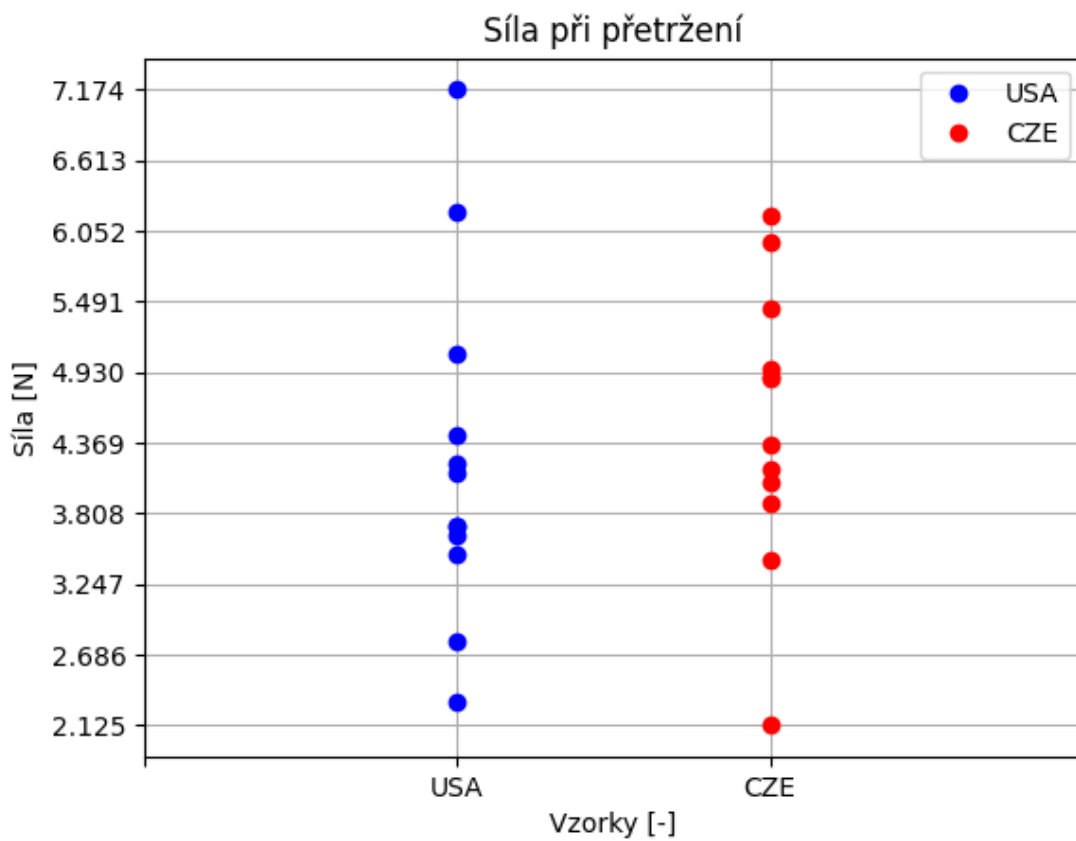
Diagram Síla - Deformace (CZE)



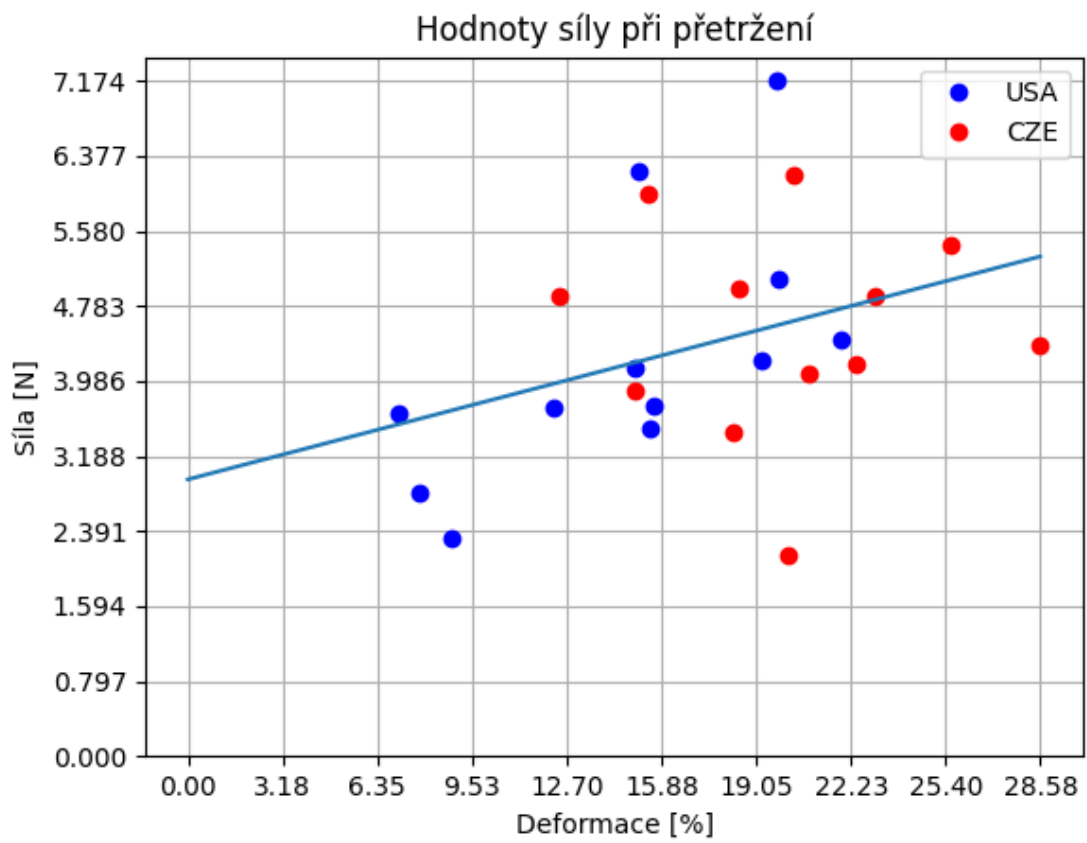
Obrázek 10 Zprůměrované tahové křivky CZE, (pozn. vzorky jsou číslovány od 0)



Obrázek 11 Střední hodnoty obou sad vzorků Síly v závislosti na přetvoření



Obrázek 12 Zobrazení rozdílů v silách při přetržení.



Obrázek 13 Lineární regrese obou sad vzorků

Tabulka 8 Síla a deformace při přetržení (F_U , ϵ_U), střední hodnota (\bar{x}), směrodatná odchylka $\sigma(x)$

USA			CZE		
Číslo vzorku	F_U [N]	ϵ_U [%]	Číslo vzorku	F_U [N]	ϵ_U [%]
1	4.2	19.2	13.	6.2	20.3
2.	3.4	15.5	14.	4.9	12.5
3.	6.2	15.1	15.	2.1	20.1
4.	2.3	8.9	16.	4.1	20.8
5	5.1	19.8	17.	3.4	18.3
6.	3.6	7.08	18.	4.2	22.4
7.	3.7	12.26	19.	3.9	14.99
8.	4.1	15.01	20.	4.9	18.48
9.	7.2	19.7	21.	5.9	15.43
10	2.8	7.78	22.	4.4	28.58
11.	3.7	15.65	23.	5.4	25.6
12.	4.4	21.9	24.	4.9	23.04
$\sigma(x)$	1.36	4.96	$\sigma(x)$	1.12	4.56
\bar{x}	4.23	14.82	\bar{x}	4.5	20.04
Var(x)	1.7	22.8	Var(x)	1.15	19.1
	Obě sady vzorků				
$\sigma(x)$	1.2	5.4			
\bar{x}	4.4	17.4			
Var(x)	1.4	27.6			

6 Diskuse

Analýza měření příčného rozměru ukázala vyšší příčný rozměr pro koně z USA. Kde střední hodnota pro koně z USA je o 7.4 % vyšší. Vzhledem k vysoké hodnotě rozptylu je ale nutné poznamenat, že vybrané vzorky k reprezentaci populace nestačí. Vysoký rozptyl hodnot je daný chybou měření a eliptickým tvarem průřezu žíně.

V porovnání snímků příčných řezů žíní nebyly zjištěny žádné rozdíly mezi vzorky z USA a z ČR. Metodika tvorby příčných řezů vzorky bohužel nejspíše příliš poškodila. Nejpovednější řezy jsou v této práci zobrazeny na Obrázku 7 a 8. Ze vzorku je pouze patrná elipticita průřezu, u které ale bohužel není zřejmé, do jaké míry byla vytvořena tlakem skalpelu.

Výsledky měření rychlosti růstu žíní jsou v souladu s rozpětím uvedeným v literatuře. Procentuální rozdíl ve středních hodnotách mezi vzorky z USA a CZE je pouze 1.36 % viz Tabulka 9.

Tabulka 9 Měření rychlosti růstu, porovnání

	Vzorky CZE	Vzorky USA
$\sigma(x)$	0.097	0.04
\bar{x}_i	0.73	0.74
Kůň domácí (Burnik et al. 2015)	0.63 – 1.28	

V mechanickým vlastnostech zkoumaných žíní jsou relativně velké rozdíly. Např. síla nutná pro přetržení pro vzorek č. 9. je 7,2 N, zatímco pro vzorek č. 15 je tato síla pouhých 2,1 N, viz Obrázek 13. Nárůst síly nutné pro přetržení vzorku č. 9 oproti vzorku č. 15 je tak až 338 %.

Relativně velký rozptyl měřených veličin je patrný i z Obrázku 9, 10, 11, 12, 13. Lineární regrese (Obrázek 13) provedená na obou sadách měřených vzorků neprokázala příslušnost určitých mechanických vlastností k dané oblasti, obě sady vzorků se ve svých výsledcích překrývají.

Tabulka 10 průměrné hodnoty sil, F_s – síla na mezi kluzu, F_u – síla nutná k přetržení vzorku

Sada vzorků	F_s [N]	F_u [N]
Appaloosa USA, ocas	3.6	4.23
Appaloosa CZE, ocas	3.4	4.5
-	-	-
Anglický plnokrevník, hřívá (Malgorzata & Mikolajevska 2009)	10	16.5
Hucul, ocas (Walkowicz et al. 2018)	-	3.5
Arab, ocas (Walkowicz et al. 2018)	-	2.3

I přes velké rozptyly naměřených hodnot se střední hodnoty sil nutných pro přetržení relativně dobře shodují. Rozdíl ve středních hodnotách síly nutné pro přetržení obou sad je pouhých 6 %, tuto hodnotu lze považovat na hranici shody obou vzorků. Na první pohled tak nebylo možné určit, zda jsou v naměřených hodnotách výrazné rozdíly. Tyto rozdíly ukázalo až vyhodnocení deformace (Tabulka 8). Kde pro velikost deformace při přetržení je shoda středních hodnot horší, rozdíl ve středních hodnotách je až 35 %. Lze tak prohlásit že vzorky odebrané v Čechách mají lepší protažitelnost, resp. větší zásobu plastické deformace, což lze pozorovat z naměřených křivek, kde vzorky z ČR mají delší oblast plasticity. Pro porovnání jsou v Tabulka 10 uvedeny síly nutné pro přetržení žíní dalších plemen. V porovnání s mechanickými vlastnostmi žíní z hřívky anglického plnokrevníka mají žíně Appaloosa několikanásobně menší pevnost, v porovnání s plemenem Hucul a arabským koněm je shoda lepší, i tak mají ale žíně plemene Appaloosa téměř dvojnásobnou pevnost v tahu oproti arabskému koni.

7 Závěr

Vzhled koňské žíně sice reflektuje zdravotní stav organismu, ale pro kvantitativní posouzení stavu nebo vlastností žíně je sledování vzhledu nedostatečné. Stav a vlastnosti žíní v této práci byly tak vyhodnoceny s pomocí měření mechanických vlastností. Bylo odebráno několik vláken z celkového počtu 24 koní plemene Appaloosa, na dvou kontinentech. Vzorky byly odebrány z 12 koní ustájených na severu ČR a z 12 koní ustájených ve státě Texas, USA.

V této práci bylo provedeno a vyhodnoceno 24 tahových zkoušek, 120 měření příčného rozměru vláken a několika týdenní měření rychlosti růstu 24 koňských žíní. To vše za účelem zjištění rozdílů vlastností žíní vzhledem k místu původu. Měření bylo pečlivě vyhodnoceno a pro každou veličinu byla spočítána její střední hodnota, rozptyl a směrodatná odchylka, pro posouzení normality naměřených dat byl proveden Shapiro-Wilk test.

Měření příčného rozměru vláken ukázalo rozdíl středních hodnot do 8 %. Měření rychlosti růstu vykazalo menší citlivost, kde rozdíl středních hodnot je pouhých 1,36 %. Porovnání měření mechanických vlastností, tedy zejména měření síly nutné pro přetržení vzorku a celkovou deformaci nutnou pro přetržení vzorku nebylo jednoznačné. Zatímco síla nutná pro přetržení, vykazala rozdíl pouhých 6 %, tak rozdíl středních hodnot maximální deformace byl až 35 % ve prospěch vzorků z Čech. Směrodatné odchylky naměřených sil mají rozdíl 21 %. Rozdíl rozptylů sil činí 47 %. Směrodatné odchylky naměřené deformace mají rozdíl 8,8 %, rozdíl rozptylů deformace činí 19 %.

Potvrzení nebo vyvrácení hypotézy H_1 : „Klimatické pásmo a rozdílné krmné dávky mají vliv na mechanické vlastnosti, strukturu a rychlost růstu žíní koní plemene Appaloosa.“, je jak podle procentuálních rozdílů, tak podle Welchova testu nejednoznačné viz Tabulka 11. Platí tak částečně i alternativní hypotéza H_2 .

Tabulka 11 Welchův test, výsledky, kde df = Welch-Satterthwaite stupně volnosti, t = Welchův t -tes

Vlastnost žíně	Welchův test ($\alpha = 0.05$)	Vyvrácení hypotézy H_1
Příčný rozměr	$t = 3.1768$ $p\text{-value} = 0.0048$ $df = 19.9077$	ne
Rozdíly v struktuře příčného řezu	-	-
Rychlost růstu	$t = 0.4867$ $p\text{-value} = 0.6333$ $df = 15.4093$	ano
Síla při přetržení žíně	$t = -0.5681$ $p\text{-value} = 0.5759$ $df = 21.1767$	ano
Deformace při přetržení žíně	$t = -2.6781$ $p\text{-value} = 0.0138$ $df = 21.8449$	ne

8 Literatura

- Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Asano R, Sakai T. 2005. Twenty-Eight Element Concentrations in Mane Hair Samples of Adult Riding Horses Determined by Particle-Induced X-Ray Emission. *Biological Trace Element Research* **107**:135-140.
- Ghasemi A, Zahediasl S. 2012. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism* **10**(2):486-489.
- Beyer W H. 2017. *Handbook of Tables for Probability and Statistics*. CRC Press; 2nd edition, Florida, USA. ISBN-10: 0849306922.
- Burla J, Ostertag A, Patt A, Bachmann I, Hillman E. 2016. Effects of feeding management and group composition on agonistic behaviour of group - housed horses. *Applied Animal Behaviour Science* **176**:32-42.
- Burnik Š M, Bukazhenti B, Reed D, Ganbaatar O, Sušnik S, Haymerle A, Christian C. Voigt Ch C, Kaczensky P. 2015. A protocol to correct for intra- and interspecific variation in tail hair growth to align isotope signatures of segmentally cut tail hair to a common time line. Research Institute of Wildlife Ecology, University of Veterinary Medicine, Vienna, Austria. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* **29**(11):1047-1054.
- De Schauwer C, Van de Walle G R, Ann Van Soom A. 2013. Mesenchymal stem cell therapy in horses: useful beyond orthopedic injuries? *Veterinary Quarterly* **33**(4):234-241
- Combs D K, Goodrich R D, Meiske J C. 1982. Mineral Concentrations in Hair as Indicators of Mineral Status: a Review. *Journal of Animal Science*. **54**:391-398.
- Current Results Publishing Ltd. 2021. Dallas Temperatures: Averages by Month. Current Results, weather and science facts. Available from <https://www.currentresults.com/Weather/Texas/Places/dallas-temperatures-by-month-average.php> (accessed Duben 2021.)
- ČHMU. 2021. Územní teploty. Český hydrometeorologický ústav Available from <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>. (accessed April 2021)

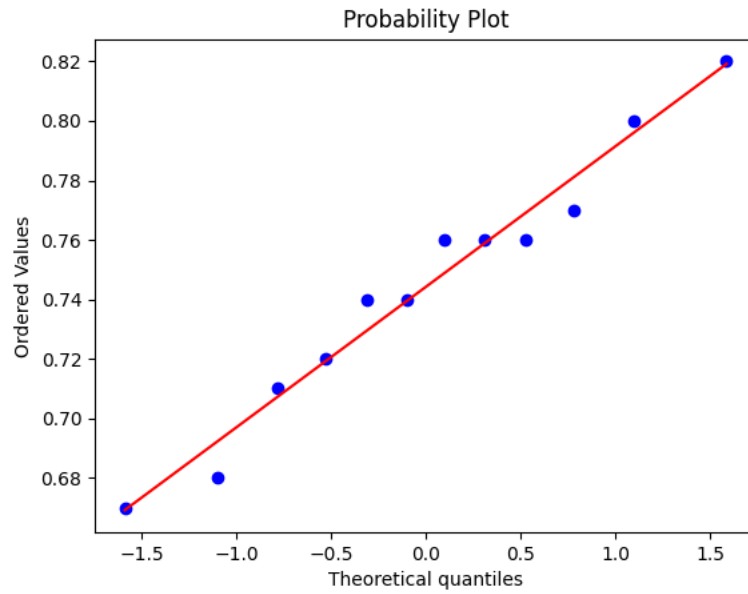
- Dudley Ch. 2007. The Legendary Appaloosa. The Lyons Press. ISBN-10:1599210487.
- Dunnett M. 2005. The Diagnostic Potential of Equine Hair: A Comparative Review of Hair Analysis for Assessing Nutritional Status, Environmental Poisoning and Drug Use and Abuse. *Advances in Equine Nutrition*. Nottingham, UK. Nottingham University Press. ISBN:9781908062161.
- Gratacós-Cubarsí M, Castellari M, Valero A, García-Regueiro J A. 2006. Hair analysis for veterinary drug monitoring in livestock production. *Journal of Chromatography B* **834**(1-2):14–25.
- Hermesen J. 2002. *Encyklopedie koní*. Rebo Productions. ISBN: 80-85815-86-9.
- Householder D D. 2012. The genetics of equine coat color. Texas, US : Texas A&M University Department of Animal Science Equine Sciences Program. HRG-003.
- Kisadere I, Bayraktar M, Salykov R. 2019. Some hematological and biochemical reference values of the thoroughbred Appaloosa horse breeds reared in Kyrgyzstan. *Springer Nature*. **28**(6):1651-1660.
- Kalashnikov V, Zaitsev A, Atroschenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zavyalov O. 2019. The total content of toxic elements in horsehair given the level of essential elements. *Environmental Science and Pollution Research*. **26**(24):24620-24629.
- Lai-Cheoing J E, McGrath J A 2009. Structure and Function of Skin, Hair and Nails. . ScienceDirect. *Medicine* **37**(5):223–226.
- Malgorzata K., Mikolajevska D. 2009. Effect of diet on mechanical properties of horse's hair . *Acta Bioeng Biomech* **11**(3):53-57.
- Marvan F, Hampl A, Hložánková E, Kresan J, Massanyi L, Vernerová E, Jelínek K. 2003. *Morfologie hospodářských zvířat*, 1.vyd. Praha. Nakladatelství Brázda. ISBN:978-80-213-2188-5.
- Rashed M N R, Soltan M E. 2005. Animal Hair as Biological Indicator for Heavy Metal Pollution in Urban and Rural Areas. *PubMed, Environmental Monitoring and Assessment*, **110**(1-3):41-53.

- Muller-Rover S, Handjiski B, van der Veen C, Eichmuller S, Foitzik K, McKay IA, Stenn KS, Paus R. 2001. A comprehensive guide for the accurate classification of murine hair follicles in distinct hair cycle stages. *J Invest Dermatol.* **117**:3–15.
- Murphy AB. 2019. Circadian and Circannual Regulation in the Horse: Internal Timing in an Elite Athlete .02.026. *Journal of Equine Veterinary Science* **76**:14-24.
- Hillman N. 1958. Return of the Appaloosa. Iowa, USA. Iowa State University, 1958. *Iowa State University Veterinarian* **20**(3):3.
- O'Mary CC, Bell MC, Sneed NN, Butts WT. 1970. Influence of Ration Copper on Mineral in the Hair of Hereford and Holstein Calves. *Journal of animal science* **31**:626-630.
- O'Brien C, Darcy-Dunne MR, & Murphy BA. 2020. The effects of extended photoperiod and warmth on hair growth in ponies and horses at different times of year. *PLoS ONE* **15**(1), (e0227115) .
- Sandmeyer LS, Breaux, CB, Archer S, & Grahn BH. 2007. Clinical and electroretinographic characteristics of congenital stationary night blindness in the Appaloosa and the association with the leopard complex. *Veterinary Ophthalmology* 368-375.
- Sowerwine S, 1974. Major aspects of Appaloosa horse coat color genetics. Montana, USA. Montana State University.
- Sponenberg DP, Carr G, Simak E, Schwink K. 1990. The inheritance of the leopard complex of spotting patterns in horses. USA. *J Hered* **81**:323– 331.
- Sponenberg DP, Beaver BV. 1983. *Horse Color*. Texas. University Press, College Station.
- Stefkova K, Prochazkova J, Pachernik J. 2015. Alkaline phosphatase in stem cells. *Stem Cells Int* 628368.
- Stenn KS, Paus R. 2001. Controls of Hair Follicle Cycling. *Physiological Reviews* **81**(1):449-494.
- Tomlinson DJ, Muelling CHKW, Fakhler TM. 2004. Formation of Keratins in the Bovine claw. Roles of Hormones, Minerals and Vitamins in Functional Claw Integrity. *Journal of Dairy Science* **87**:797-809.

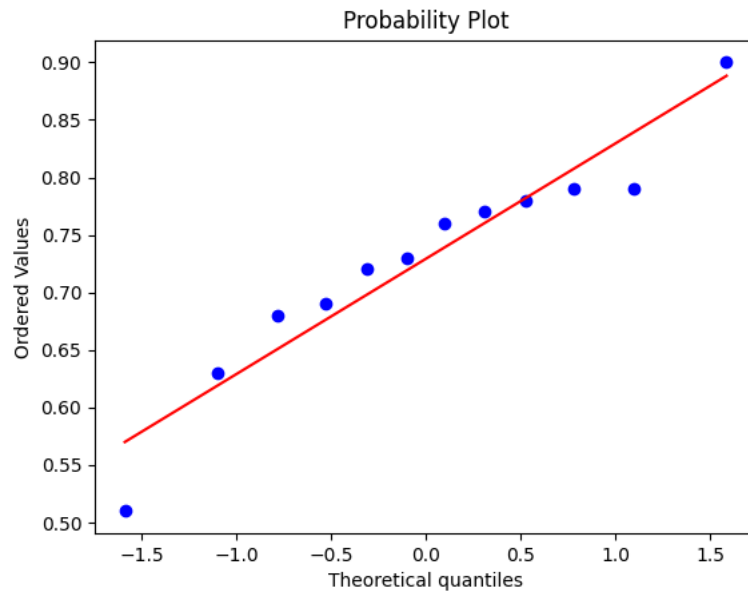
- Zhenqiu LL, Ke-Hai Y, 2010. CA. Thousand Oaks, 2010. Sv. pp.1620-1623.
- Walkowicz E., Czyż K, Patkowska-Sokoła B, Bodkowski R, Wrostek A, Filistowicz A, Janczak M. 2018. comparative characteristics of arab and hucul horses hair coat. Wrocław. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. **21**(4).
- Wenning R, 2000. Potential problems with the interpretation of hair analysis results. Forensic Sci Int **107**(1-3):5-12.
- Yasser AA, Safwat A, Ahmed G. 2018. Hair histology as a tool for forensic identification of some domestic animal species . Quena, Egypt. EXCLI Journal 2 **17**:663-670.
- Yu Y, Yang W, André Meyers M. 2017 Dec. Viscoelastic properties of α -keratin fibers in hair. Acta Biomater Dec **64**:15-28.
- Zhao R, Yihan W, Zhao Y, Li B, Han H, Mongke T, Bai D. 2020. Hair follicle regional specificity in different parts of bay Mongolian horse by histology and transcriptional profiling. BMC Genomics **21**(1).
- Salkind N J. 2010. Encyklopedia of research design. SAGE Publications, Inc. ISBN: 9781412961271.

9 Příloha

9.1 Měření rychlosti růstu

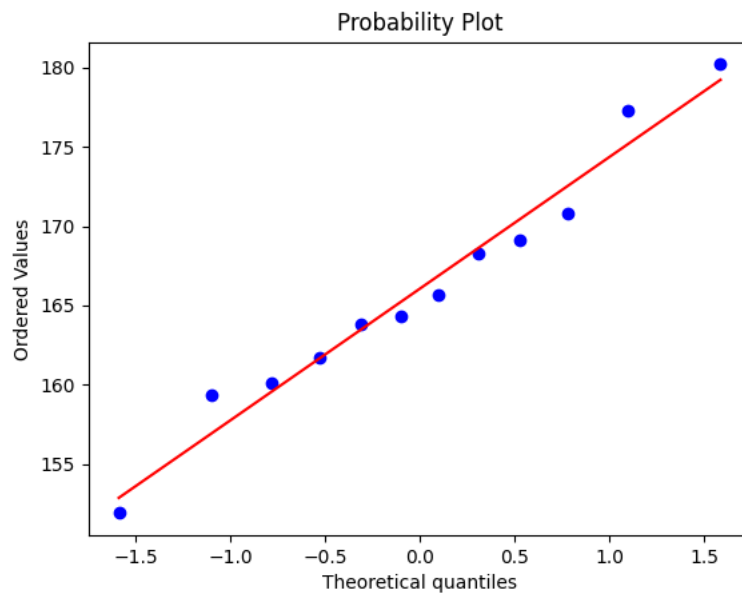


Obrázek 14 Q-Q diagram, měření rychlosti růstu (USA)

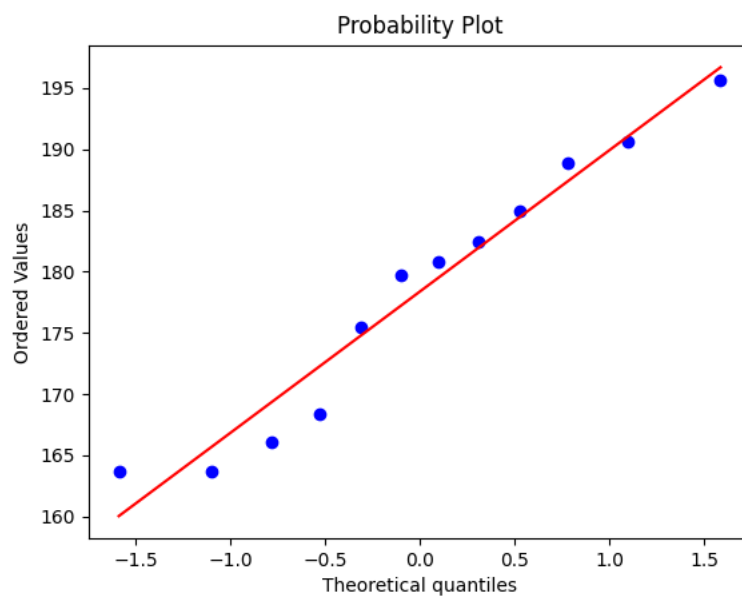


Obrázek 15 Q-Q diagram, měření rychlosti růstu (CZ)

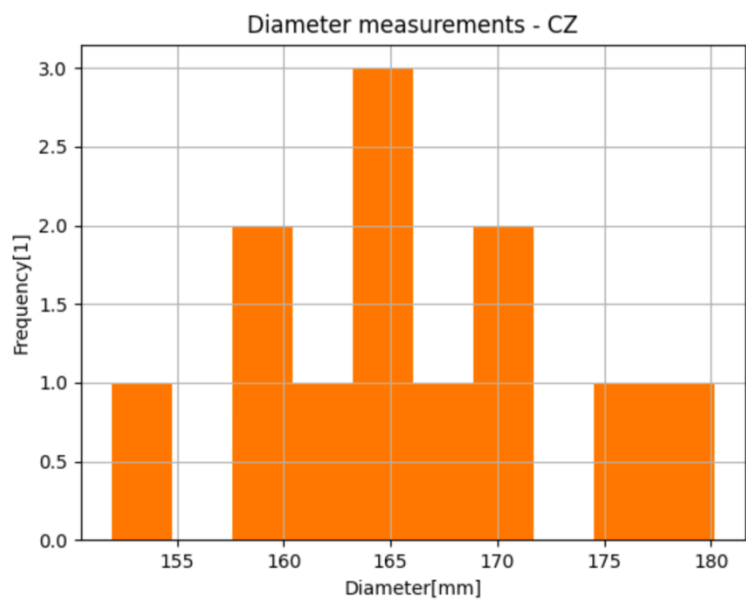
9.2 Měření příčného rozměru žíní



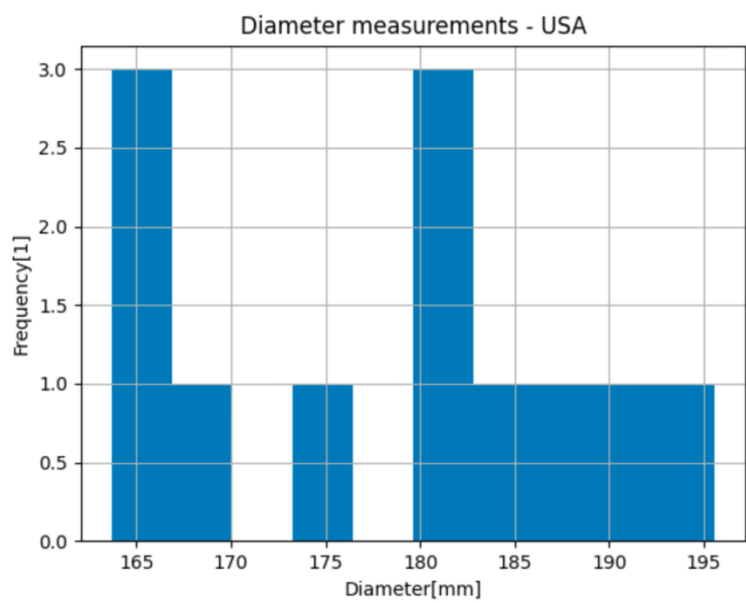
Obrázek 16 Q-Q graf, měření příčného rozměru (CZ)



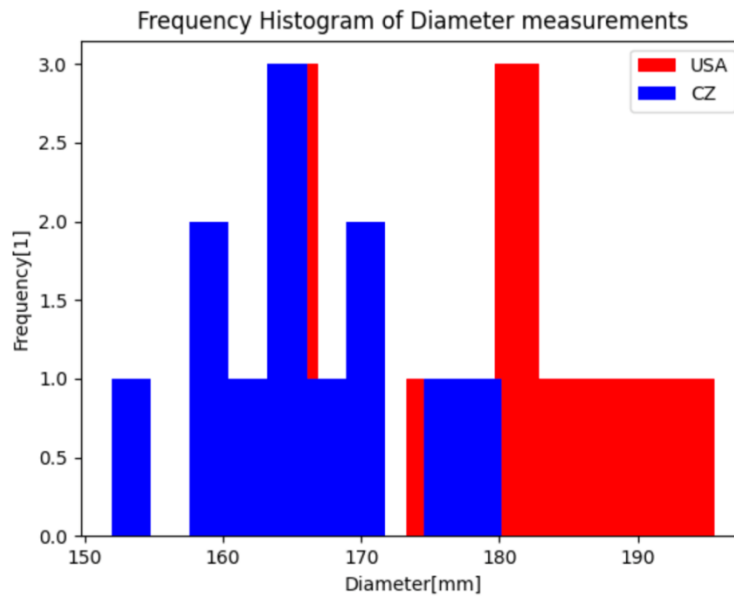
Obrázek 17 Q-Q graf, měření příčného rozměru (USA)



Obrázek 18 Zobrazení četnosti středních hodnot naměřených dat, průměrů žíní původem z Čech

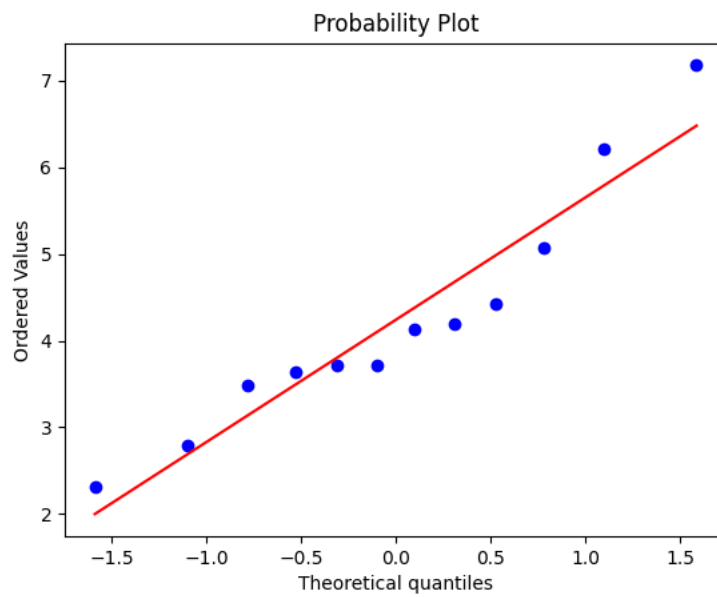


Obrázek 19 Zobrazení četnosti středních hodnot naměřených dat, průměrů žíní původem z USA

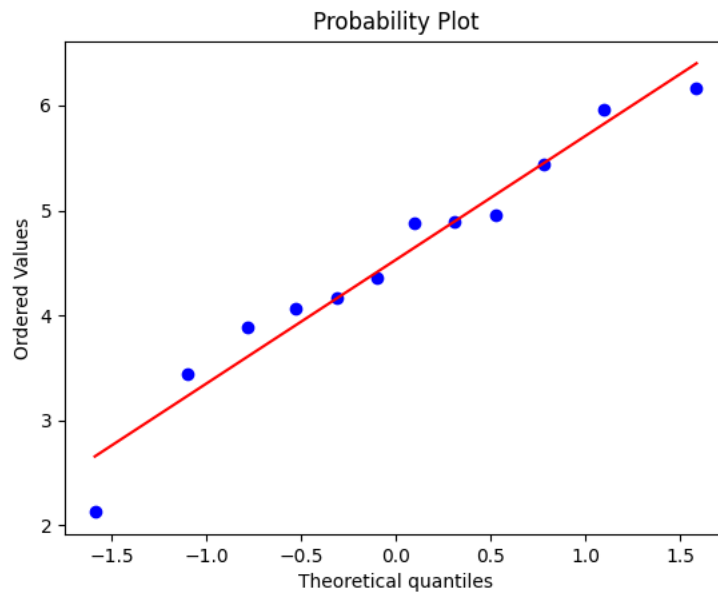


Obrázek 20 Zobrazení četnosti středních hodnot naměřených dat, porovnání obou histogramů (CZ vs USA)

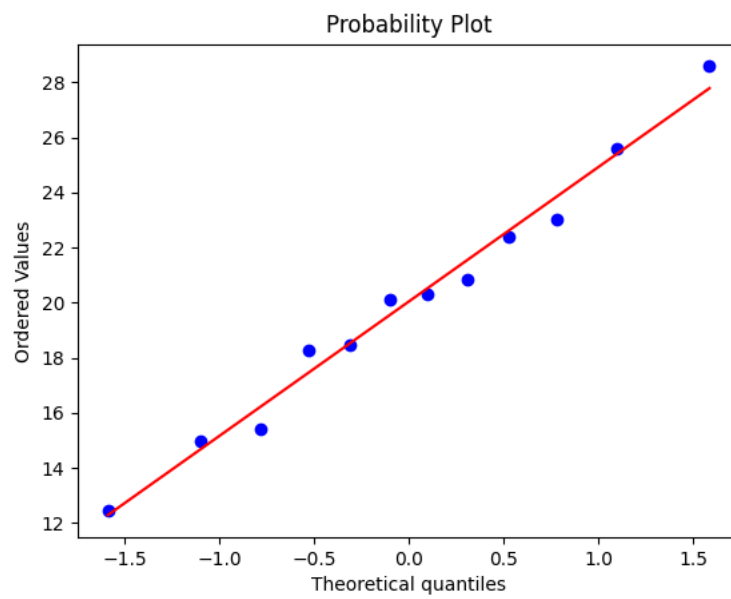
9.3 Síla a deformace při přetržení



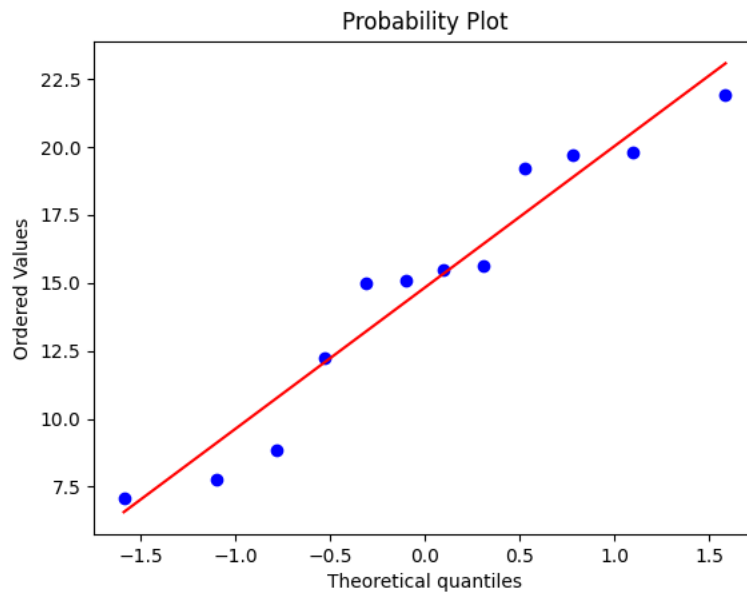
Obrázek 21 Q-Q graf, síla při přetržení (USA)



Obrázek 22 Q-Q graf, síla při přetržení (CZ)



Obrázek 23 Q-Q graf, deformace při přetržení (CZ)



Obrázek 24 Q-Q graf, deformace při přetržení (USA)

9.4 Python skript

```

import numpy as np
import csv
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import statistics
from scipy import stats

def getLinInterp(x_eval, x, y)->np.array:
    yinterp = np.interp(x_eval, x, y, left=None, right=None, period=None)
    return yinterp

def getEvalInterval(max:float, step:float)->np.array:
    x_eval = np.arange(0.0, max, step)
    return x_eval

def getMaxFromList(l:list)->float:
    max = 0

```

```

for item in l:
    test = np.max(item)
    if test > max:
        max = test
return max

```

```

def plotGraphFromList(xList:list, yList:list, xname: str, yname: str, title: str, l:list=[]) -> int:

```

```

    fig = plt.figure()
    plt.title(title)
    plt.xlabel(xname)
    plt.ylabel(yname)

```

```

    for i in range(0,len(xList)):
        x = xList[i]
        y = yList[i]
        plt.plot(x, y)

```

```

    if l:
        plt.legend(l)

```

```

    # plt.xticks(np.arange(0, getMaxFromList(xList), 0.5))
    # plt.yticks(np.arange(0, getMaxFromList(yList), 0.5))
    plt.grid(True)
    plt.ioff()
    fig.savefig(title + '_graph.png')
    plt.close(fig)
    return 0

```

```

def plotGraphWithMultipleYList(sX: list, sY: list, xname: str, yname: str, title: str, l:list=[]) ->
int:

```

```

    fig = plt.figure()

```

```

plt.title(title)
plt.xlabel(xname)
plt.ylabel(yname)

if max(sY[0])<max(sY[1]):
    maxY = max(sY[1])
else:
    maxY = max(sY[0])

for i in range(0,2):
    x = sX
    y = sY[i]
    x = [float(x_) for x_ in x]
    y = [float(y_) for y_ in y]
    x = [0 if np.isnan(x_) else x_ for x_ in x]
    y = [0 if np.isnan(y_) else y_ for y_ in y]
    plt.plot(x, y)

if l:
    plt.legend(l)
# plt.xticks(np.linspace(0, max(sX), 10))
# plt.yticks(np.linspace(0, maxY, 10))
plt.xticks(np.arange(0, max(sX), 0.5))
plt.yticks(np.arange(0, maxY, 0.5))
plt.grid(True)
plt.ioff()
fig.savefig(title + '_graph.png')
plt.close(fig)
return 0

```

```
def plotGraph(x: str, y: str, xname: str, yname: str, title: str, dot:bool=False) -> int:
```

```

fig = plt.figure()
plt.title(title)

```

```

plt.xlabel(xname)
plt.ylabel(yname)

x = [float(x_) for x_ in x]
y = [float(y_) for y_ in y]
x = [0 if np.isnan(x_) else x_ for x_ in x]
y = [0 if np.isnan(y_) else y_ for y_ in y]

if dot:
    x_reg, y_reg = linearRegression(np.array(x), np.array(y))
    x1 = x[:12]
    y1 = y[:12]
    plt.plot(x1, y1, "o", c="b")
    x2 = x[12:]
    y2 = y[12:]
    plt.plot(x2, y2, "o", c="r")
    plt.legend(["USA", "CZE"])
    plt.plot(x_reg, y_reg)
else:
    plt.plot(x, y)
plt.xticks(np.linspace(0, max(x), 10))
plt.yticks(np.linspace(0, max(y), 10))
plt.grid(True)
plt.ioff()
fig.savefig(title.replace(":", "_").replace(" ", "_") + '_graph.png')
plt.close(fig)
return 0

def plotGraphCols(x: str, y: str, xname: str, yname: str, title: str) -> int:

    fig = plt.figure()
    plt.title(title)
    plt.xlabel(xname)
    plt.ylabel(yname)

```

```

x = [float(x_) for x_ in x]
y = [float(y_) for y_ in y]
x = [0 if np.isnan(x_) else x_ for x_ in x]
y = [0 if np.isnan(y_) else y_ for y_ in y]

x1 = x[:12]
y1 = y[:12]
plt.plot(x1, y1, "o", c="b")
x2 = x[12:]
y2 = y[12:]
plt.plot(x2, y2, "o", c="r")
plt.legend(["USA", "CZE"])
my_xticks = ["", 'USA', 'CZE', ""]
plt.xticks(np.linspace(-1, 2, 4), my_xticks)
plt.yticks(np.linspace(0, max(y), 10))
plt.grid(True)
plt.ioff()
fig.savefig(title.replace(":", "_").replace(" ", "_") + '_graph.png')
plt.close(fig)
return 0

```

```

def zeroOutData(d: dict) -> dict:

```

```

    d[0] = [] # stress
    d[1] = [] # strain
    d[2] = [] # F
    return d

```

```

def readCsv(fileName: str) -> dict:

```

```

    data_sample = {}
    samples = {}
    sampleCount = 0

```

```

skipLine = False
with open(fileName) as csv_file:
    csv_reader = csv.reader(csv_file, delimiter=',')
    line_count = 0
    for row in csv_reader:
        if skipLine:
            skipLine = False
            continue
        elif "Konec" in " ".join(row):
            samples[sampleCount] = data_sample
            data_sample = {}
            data_sample = zeroOutData(data_sample)
            sampleCount += 1
            skipLine = True
            continue
        elif line_count == 0:
            print(f'Column names are {" ".join(row)}')
            data_sample = zeroOutData(data_sample)
            line_count += 1
        else:
            data_sample[0].append(row[0].replace(",","."))
            data_sample[1].append(row[1].replace(",","."))
            data_sample[2].append(row[2].replace(",","."))
            line_count += 1
    print(f'Processed {line_count} lines.')
return samples

```

```

def sliceDict(d:dict, key:int, index:int)->dict:

```

```

    d[key][0] = d[key][0][:index]
    d[key][1] = d[key][1][:index]
    d[key][2] = d[key][2][:index]
    return d

```

```

def cutLooseEnd(d:dict)->dict:

```

```

maxIndex = 0
for key in list(d.keys()):
    max = 0
    for i, value in enumerate(d[key][2]):
        if i != 0:
            if value > max:
                maxIndex = i
                max = value
    d = sliceDict(d, key, maxIndex)
return d

```

```

def plotCurves(d: dict):
    for key in list(d.keys()):
        plotGraph(d[key][1], d[key][2], "Strain [1]", "Force [N]", "Sample Number: " + str(key),
False)

```

```

def plotCurvesHalf(d: dict):
    usaX = []
    usaY = []
    czeX = []
    czeY = []
    legendCZE = []
    legendUSA = []
    for key in list(d.keys()):
        if key <= 11:
            usaX.append(d[key][1])
            usaY.append(d[key][2])
            legendUSA.append("Sample " + str(key))
        else:
            czeX.append(d[key][1])
            czeY.append(d[key][2])
            legendCZE.append("Sample " + str(key))

```



```
plotGraphFromList(czeX, czeY, "Strain [1]", "Force [N]", "Force-Strain curves (CZE)",
legendCZE)
```

```
plotGraphFromList(usaX, usaY, "Strain [1]", "Force [N]", "Force-Strain curves (USA)",
legendUSA)
```

```
def plotPointsInCols(y:list):
```

```
    cze_x = [1]*12
```

```
    usa_x = [0]*12
```

```
    x = usa_x+cze_x
```

```
    plotGraphCols(x, y, "Samples[-]", "Force[N]", "Ultimate points cols")
```

```
def parseToFloat(d:dict)->dict:
```

```
    for key in list(d.keys()):
```

```
        for col in list(d[key].keys()):
```

```
            x = d[key][col]
```

```
            x = [float(x_) for x_ in x]
```

```
            x = [0 if np.isnan(x_) else x_ for x_ in x]
```

```
            d[key][col] = x
```

```
    return d
```

```
def getMaxForceValues(d:dict)->(list, list):
```

```
    maxStrain = []
```

```
    maxForces = []
```

```
    for key in list(d.keys()):
```

```
        maxForces.append(max(d[key][1]))
```

```
        maxStrain.append(max(d[key][2]))
```

```
    return maxForces, maxStrain
```

```
def getMinStrain(d:dict)->list:
```

```
    maxStrain = []
```

```
    for key in list(d.keys()):
```

```
        maxStrain.append(max(d[key][1]))
```

```
    return min(maxStrain)
```

```

def doAverage(d:dict)->(list, list):
    evalInterval = getEvalInterval(getMinStrain(d), 0.001)
    sum_y_loc = np.zeros((len(evalInterval)))
    sumY = []
    for key in list(d.keys()):
        interpY = getLinInterp(evalInterval, d[key][1], d[key][2])
        sum_y_loc += interpY
        if key == 11:
            sumY.append(sum_y_loc/12)
            sum_y_loc = np.zeros((len(evalInterval)))
        if key == 22:
            sumY.append(sum_y_loc/11)
    return evalInterval, sumY

def linearRegression(x_train:np.array, y_train:np.array)->(np.array, np.array):
    regressorObject=LinearRegression()
    regressorObject.fit(x_train.reshape(-1, 1), y_train)
    x_test = np.arange(0, max(x_train), 0.01)
    y_pred_test_data=regressorObject.predict(x_test.reshape(-1, 1))
    return x_test, y_pred_test_data

def getNormalStatistics(a:list) -> (float, float, float):
    mean = statistics.mean(a)
    dev = statistics.stdev(a)
    var = statistics.pvariance(a)
    return mean, dev, var

def normal_dist(x , mean , sd):
    prob_density = (np.pi*sd) * np.exp(-0.5*((x-mean)/sd)**2)
    return prob_density

```

```

def shapiroTest(x):
    shapiro_test = stats.shapiro(x)
    return shapiro_test

def welch_ttest(x, y):
    dof = (x.var()/x.size + y.var()/y.size)**2 / ((x.var()/x.size)**2 / (x.size-1) +
(y.var()/y.size)**2 / (y.size-1))

    t, p = stats.ttest_ind(x, y, equal_var = False)

    print("\n",
          f"Welch's t-test= {t:.4f}", "\n",
          f"p-value = {p:.4f}", "\n",
          f"Welch-Satterthwaite Degrees of Freedom= {dof:.4f}")

```