

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

**Možnosti nekontaktního posuzování charakteristiky
kopyt u koní**

Bakalářská práce

Magdalena Přibilová

Školitelka: Mgr. Kateřina Šandlová, DiS.

Garant: prof. RNDr. František Sedláček, Ph.D.

Konzultantka: Mgr. Martina Komárková, Ph.D.

České Budějovice, 2023

Přibilová, M., 2023: Možnosti nekontaktního posuzování charakteristiky kopyt u koní [Options for non-contact assessment of horses' hooves characteristics, Bc. Thesis, in Czech] – p.52, Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

Anotace:

The aim of this thesis was to summarize factors influencing hoof quality and the basic possibilities of non-contact hoof quality assessment. Based on this, a custom methodology focusing on the assessment of external hoof angles from photography was developed. This methodology was subsequently validated by reference measurements. The results of this measurement indicated the feasibility of this method and the ideal range that the photographer should maintain in relation to the object of interest for subsequent accurate measurement of angles from a photograph.

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích,

dne

Podpis studenta

Poděkování:

Tímto velice děkuji školitelce Mgr. Kateřině Šandlové, DiS za vedení bakalářské práce, věnovaný čas na její opravu a pomoc se statistickými výpočty. Dále děkuji konzultantce Mgr. Martině Komárkové, Ph.D. a garantovi prof. RNDr. Františku Sedláčkovi, Ph.D. za jejich cenné rady a připomínky k této práci.

Obsah

1. Úvod	6
2. Základní anatomie kopyta	8
2.1 Anatomie kopytního pouzdra a kopytní stěny	8
2.2 Anatomie kopytního pouzdra ze spodní strany	9
2.3 Anatomie vnitřních struktur kopyta.....	11
3. Faktory ovlivňující kvalitu kopyt	14
3.1 Vnější faktory	14
.....	15
3.2 Vnitřní faktory	16
4. Zjevné kopytní patologie	18
4.1 Laminitis	18
4.1.1 Klinické příznaky	18
.....	20
4.3 Nemoc bílé čáry.....	21
4.4 Záněty kopytních chrupavek a jejich kostnatění	22
4.5 Podotrochlóza	23
5. Jak nekontaktně charakterizovat kopyto	25
5.1 Vnější kopytní úhly	25
5.1.1 Úhel přední stěny kopyta.....	25
5.1.2 Patkový úhel	26
5.1.3 Úhel korunky, palmární.....	26
5.1.4 Kopytní úhel	27
5.2 Další měřitelné charakteristiky	29
5.3 Nástroje užitečné pro kvantifikaci vnějších charakteristik kopyt.....	31
6. Referenční měření.....	32
6.1 Metodika.....	33
6.2 Statistická analýza	33
6.3 Výsledky	33
6.4 Diskuse	37

7. Návrh vlastní metodiky	38
7.1 Doporučená metodika – shrnutí.....	40
8. Závěr.....	41
9. Seznam citované literatury	42
10. Seznam citovaných obrázků	51

1. Úvod

Koňské kopyto je velmi komplexní orgán, a to nejen z hlediska lokomoce. Jeho charakteristika se mění v závislosti na ročním období (He et spol, 2020), pohlaví, věku (Rueda, 2022), plemenu koně (Stachurska, 2008) a prodělaném nebo nastupujícím onemocnění (Pavia et Gentry, 2011). Pokud se kopyto nachází v patologickém stavu, je ohrožen celkový zdravotní stav koně (Fabus et Dingell, 2019).

Nekontaktní posuzování koňských kopyt se jeví jako vhodný způsob monitoringu výše zmíněných vlivů na kopytní charakteristiku koní, u kterých je manipulace se zvířetem obtížná, či dokonce vyloučená. Obecně tedy u divokých, či semi-ferálních koní. Právě koně v semi-ferálním chovu se zdají být velmi vhodným modelem pro monitoring výše uvedených činitelů, protože i přes svou nemanipulovatelnost jsou na přítomnost člověka poměrně dobře habituováni. Díky tomu je možné pořizovat kvalitní fotografie jejich kopyt vhodné k následnému hodnocení jejich charakteristik. Nekontaktní posouzení kopyt navíc umožňuje zabývat se i případným dopadem semi-ferálního chovu na zdravotní stav takto chovaných koní, vzhledem k jejich častému využívání v pastevních rezervacích (Griffin et al., 2019). Oproti koním žijícím s minimálními nebo žádnými zásahy člověka jsou kopyta koní v lidské péči obvykle pravidelně upravována, navíc je možné korigovat jejich pohyb, skladbu a množství potravy.

Tato bakalářská práce je napsána převážně formou literární rešerše, doplněnou o referenční měření a sestavení vlastní metodiky. Z hlediska správného pochopení biomechaniky a funkce kopyt, byl do této práce zařazen stručný přehled jejich evoluce a anatomie. Následující kapitola shrnuje působení různých faktorů na celkový stav kopyt, což může mít vliv na rozvoj některých zjevných kopytních patologií (Doughty, 2008) majících negativní dopad na celkový stav koně (Al-Agele et al., 2019). S tím souvisí navržení základní metodiky nekontaktního posuzování charakteristiky kopyt, založené především na měření vnějších úhlů kopyt z fotografie. Možnost provedení navržené metody byla otestována u Exmoorských poníků žijících v semi-ferálním režimu v pastevní rezervaci v bývalém vojenském prostoru Milovice-Mladá. Pro posouzení spolehlivosti měření úhlů z fotografie bylo následně provedeno referenční měření vzhledem k hodnotám naměřeným přímo na kopytě. To ukázalo, jaký možný rozsah poloh může fotograf mít vůči focenému kopytu, aniž by to mělo vliv na výsledky měření úhlů z fotografie.

1.2 Základní evoluce kopyta

Končetina koňovitých prošla poměrně zajímavým evolučním vývojem, při kterém se (poměrně dramaticky) měnila anatomie a celková biomechanika koňské končety.

Za nejstaršího předka dnešních koní (*Equidae*) jsou považováni zástupci rodu *Hyracotherium*, jehož výskyt je doložen v Severní Americe během raného eocénu. Tato vyhynulá zvířata jsou vyobrazována jako drobní lesní tvorové, velikosti zhruba lišky. Přední končety měli zakončeny čtyřmi prsty, zadní pak třemi. K další změně stavby končety došlo u rodu *Meshippus*. Tito zástupci se již pohybovali po tříprstých předních i zadních končetinách. Nastupující rod *Miohippus* byl velmi podobný a lišil především větší vahou (až 60 kg) (Thomason, 1985). Koexistoval s rodem *Meshippus*, jehož zcela vytlačil. Úspěšný rod *Miohippus* expandoval ze Severní Ameriky a rozšířil se do Evropy a Asie. Dalším rodem, u něhož došlo ke změnám na distální části končetin byl *Parahippus*, žijící ve středním miocénu. Měl stále tři prsty, nicméně většinu své váhy soustřeďoval na prst prostřední. Oproti tomu pozdější rod *Hipparion* byl sice stále tříprstý, ale celou svou váhu už nesl pouze na prostředníčku, postranní prsty se již nedotýkaly země. Dalším rodem byl *Dinohippus*, již velice podobný recentním koním, ovšem jeho zástupci měli stále zachované dva rudimentální prsty na každé noze. Poslední, již pliocenní rod *Plessipus*, je považován za přímého předka moderního rodu *Equus* (Pícha, 2020). Recentním druhům koňovitých tedy zůstal jen jeden prst, prostředníček, jehož poslední článek je kryt rohovým pouzdem (Cothran-Gus et al., 2023).

Existuje více hypotéz, které se zabývají otázkou přeměny prstů v recentní koňské kopyto. Jedna z aktuálních studií (McHorse et al., 2017) podporuje evoluční hypotézu která tvrdí, že se počet prstů na koňských končetinách redukoval v závislosti na postupném vývoji a zvětšování předků dnešních koňovitých. Zvýšenou tělesnou hmotnost je výhodnější nést na jednom velmi zesíleném prstě oproti několika menším. Další výhodou, kterou přinesla tato evoluční novinka, bylo usnadnění a především zrychlení běhu díky zmenšení celkové došlapové plochy končety spolu se zefektivněním odrazu. Redukcí prstů navíc došlo také k redukci celkové váhy končetin.

2. Základní anatomie kopyta

Z hlediska správného pochopení pojmů a funkce kopyta, považuji za vhodné zařadit do své práce i kapitolu týkající se základní anatomie kopyta.

2.1 Anatomie kopytního pouzdra a kopytní stěny

Končetina koně se neomezuje jen na kopyto. Postavení a fungování celé končetiny je poměrně rozsáhlým tématem samo o sobě, ale z hlediska této bakalářské práce se budu věnovat pouze nejdálší části počínající korunkou.

Korunka je místem, kde se na horním okraji kopyta setkává kůže končetiny s rohovinou kopyta (Kauffmann et Cline, 2020). Jedná se o velmi tuhou, vaskulární a pigmentovanou strukturu (Budras, 2011). Těsně pod korunkou se nachází nově vytvořená kopytní stěna, zvaná periople (Stashak et Hill, 1996). Za mokra tato část nabobtnává a bělá, během suchých podmínek prostředí zasychá, obrušuje se a loupe. Plní především ochrannou funkci lemu korunky (Zurek, 2012) a u většiny koní nepřesahuje délkou 1 cm. Dálší přechází ve stratum externum kopytní stěny.

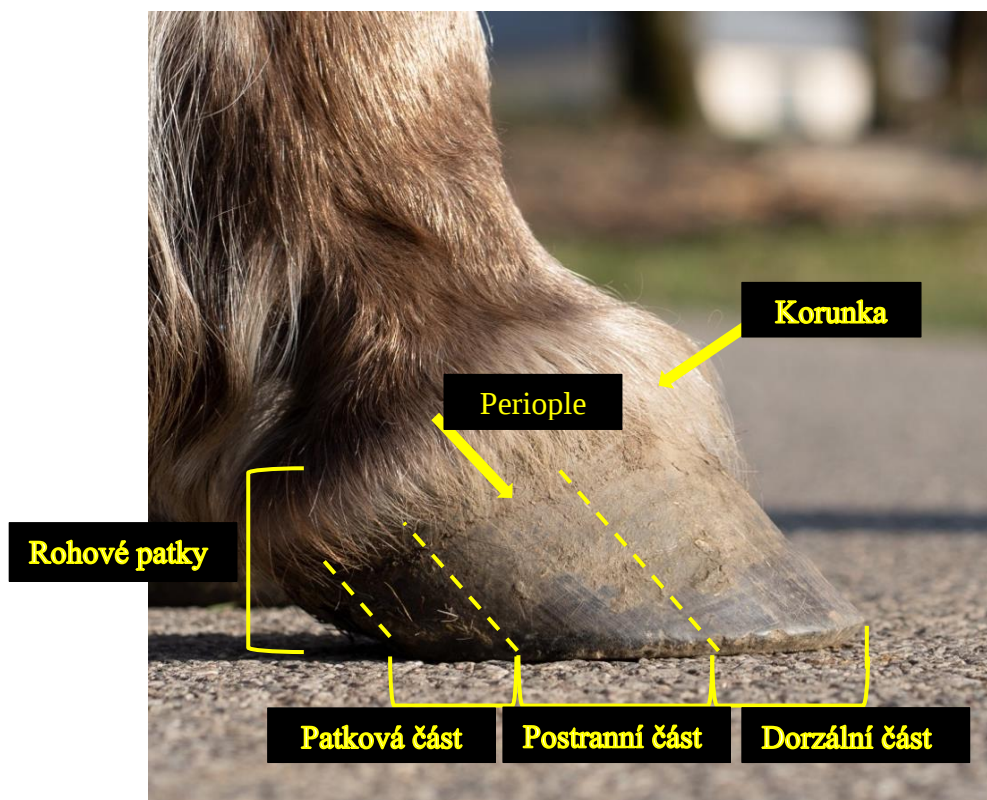
Kopytní stěna je viditelná, vnější část kopytního pouzdra. Roste směrem dolů od lemu korunky až na zem (Floyd et Mannesmann, 2007) a tvoří ji tři vrstvy. Vnější vrstva (*stratum externum*) je pigmentovaná, hladká a velice pevná. Jejím účelem je nést váhu koně, chránit vnitřní struktury před poškozením a také působit jako pružina, která absorbuje a uvolňuje energii během různých fází kroku (Stashak et Hill, 1996).

Střední vrstva kopytní stěny (*stratum medium*) se nazývá rohovina korunky a je poskládána z rohových tubulů, které jsou tvořeny keratinizovanými buňkami tvořící silnou, ale flexibilní vrstvu.

Vnitřní vrstva kopytní stěny (*stratum internum*) je vidět zevně pouze v místě, kde vytváří tzv. bílou čáru, tudíž zespodu kopyta (Kauffmann et Cline, 2020). Na rozdíl od vnější vrstvy neobsahuje pigment, od čehož se odvíjí její název. Dále je schopna absorbovat větší množství vlhkosti, což ji umožňuje větší rozsah při pohybu vnější vrstvy kopytní stěny. Tato vlastnost zajišťuje ochranu vnitřních struktur před velkými nárazy (Floyd et Mannesmann, 2007).

Vnější kopytní stěna se pomyslně dělí na dorzální část, postranní a patkovou část. Za patkovou částí se nacházejí rohové patky podpírající končetinu a zespodu kopyta volně přecházejí ve střel, popsány níže (Kauffmann et Cline, 2020).

Výše popsané části kopyta shrnuje Obrázek 1.



Obrázek 1: Vnější anatomie kopýta (vlastní foto).

2.2 Anatomie kopytního pouzdra ze spodní strany

Pod pigmentovanou vnější vrstvou rohoviny korunky a střední vrstvou korunky se nachází vodní čára. Jedná se o nepigmentovanou (bílou) vnitřní vrstvu rohoviny korunky. Absorbuje hodně vlhkosti a díky tomu je velice měkká, proto se jí říká vodní. Má pozitivní vliv na biomechaniku kopýta, protože pomáhá s udržováním vody v kopytní rohovině, čímž zajišťuje její pružnost (Stashak et Hill, 1996).

Na vnitřní straně vodní čáry se nachází bílá čára. Je přesně v místě, kde se spojuje kopytní stěna s chodidlem (Rutland et Kubale, 2019). Obecně tato část poskytuje dobré informace o vnitřním stavu kopýta.

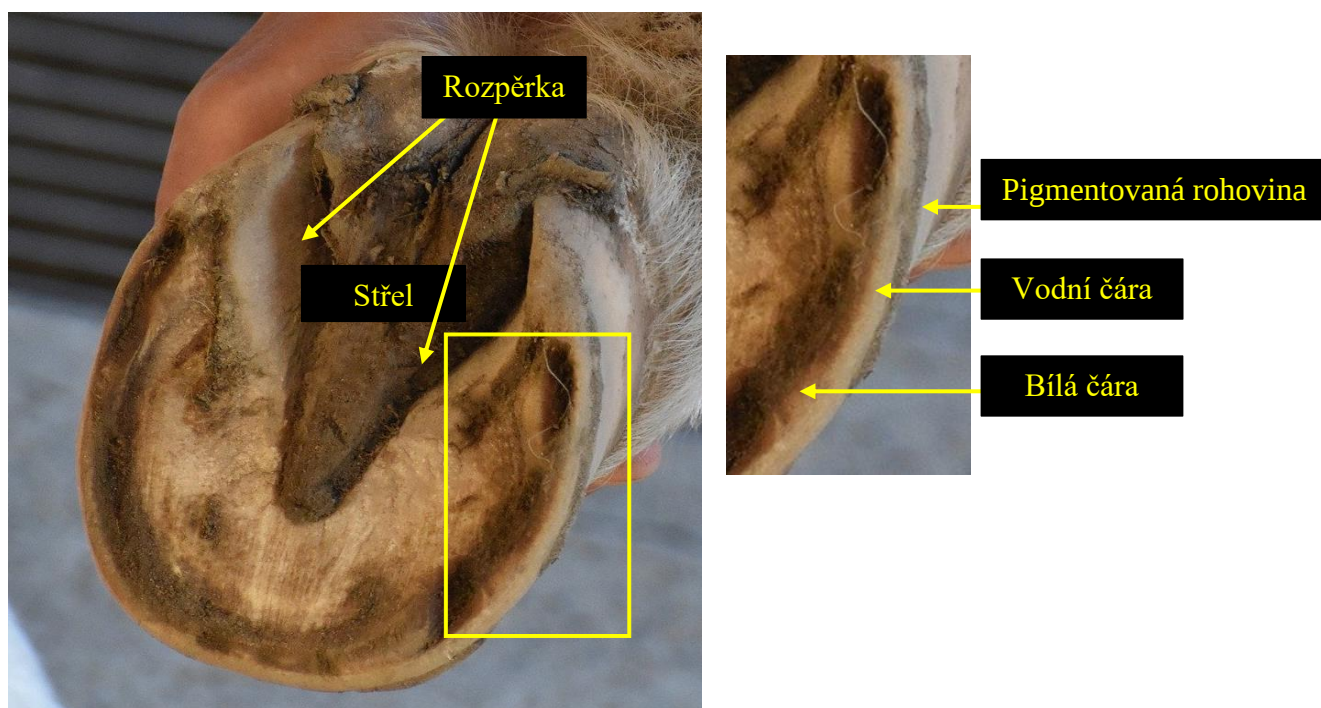
Na celou spodní plochu rohoviny kopýta, jinými slovy chodidlo, se rozkládá celá váha koně. Jedná se o hlavní obrannou linii mezi končetinou koně a vnějším prostředím. Při pohledu z profilu je na něm patrná klenba podobná klenbě lidských nohou. Přední část kopýta kopíruje tvar kopytní kosti, nacházející se pod ní, čímž je klenutost, která může být v zadní části o něco vyšší (Ramey, 2019).

Strukturálně se chodidlo skládá z rourkové (tubulární) a mezirourkové rohoviny. Je velmi porézní a pružné. Rohovina chodidla přímo nasedá na chodidlovou škaru, pokrývající povrch spodní strany kopytní kosti (Kauffmann et Cline, 2020).

Výrazná struktura ve tvaru špičky, která tvoří základ zadní části chodidla, se nazývá střel. Odlehčuje a zajišťuje trakci kopyta, tlumení nárazů a napomáhá pumpovat krev v kopytě. Střel je ohraničen rozpěrkami. Ty absorbují nárazovou energii, která by jinak působila na kopytní chrupavky, čímž by je výrazně poškozovala (Ramey, 2019).

Na bázi střelu a v patkách se nacházejí potní žlázy (König et Liebich, 2003). Zajišťují tvorbu kyselého prostředí, které brání množení všudypřítomných bakterií v těchto úzkých místech (Strasser, 2010).

Výše popsané části kopyta shrnuje Obrázek 2.



Obrázek 2: Chodidlo koně (převzato z Equisterian Surfaces, upraveno).

2.3 Anatomie vnitřních struktur kopyta

Kopytní kost (*phalanx distalis*) funguje jako kostra pro udržení přilehlých struktur na svém místě a poskytuje kopytu pevnost a stabilitu. Tato kost nemá dřev, je porézní, malá, ale silná a jsou k ní připojeny šlachy a vazy. Kolem a skrz ni probíhá značné množství drobných krevních cév. Stěna kosti je obklopena lamelami, kterými je připojena k rohovému pouzdru (Stashak et Hill, 1996). Nad kopytní kostí se nachází kost korunková.

V zadní části kopytní kosti se nacházejí palmární výběžky. Jsou klínovitého tvaru, dodávají kosti tvar a slouží jako místo úponu kopytních chrupavek. Kopytní chrupavky jsou malé destičky z fibrózní chrupavky, dodávající zadní části kopyta tvar, pružnost a oporu (Rutland et Kubale, 2019).

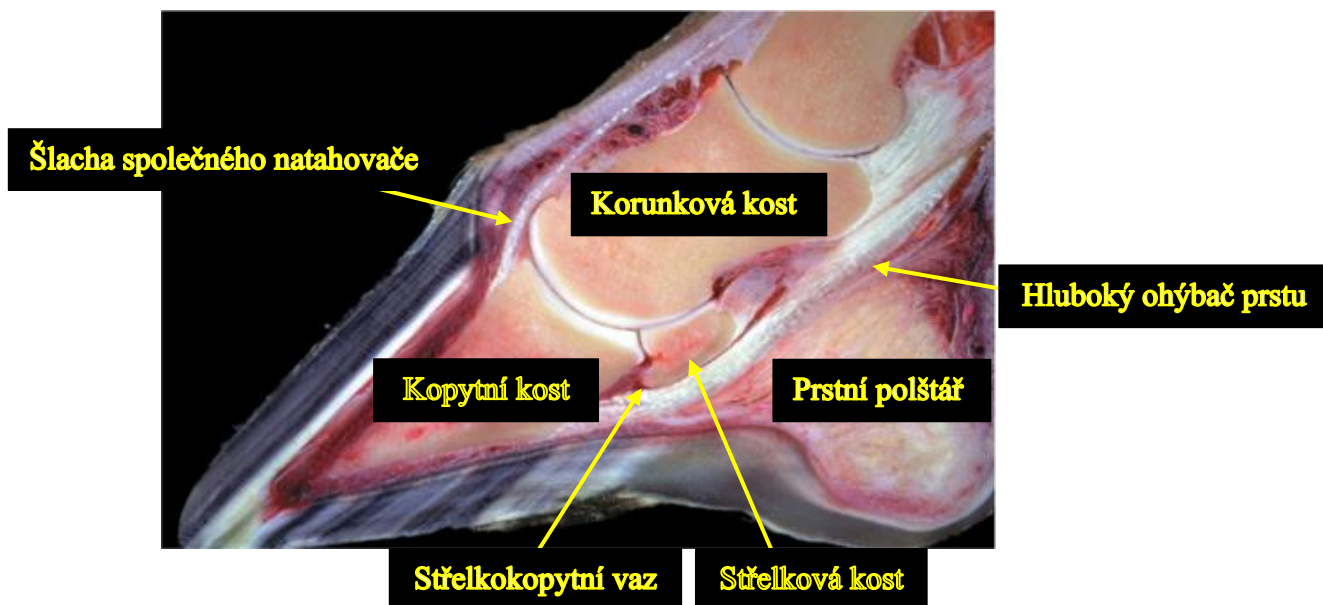
Střelková kost, označovaná také jako distální sezamská kost, se nachází přímo mezi palmárními výběžky kopytní kosti (Floyd et Mannesmann, 2007). Je chráněna podtrochleární burzou, což je tenký polštářek vyplněný synoviální tekutinou a pomáhá šlaše hlubokého ohýbače prstu klouzat po střelkové kosti, čímž usnadňuje biomechaniku končetiny. Pojivová tkáň držící střelkovou kost na zadní straně kopytní kosti se nazývá střelkokopytní vaz. Poškození tohoto vazy způsobuje abnormální zatížení zadní části kopyta a je častou příčinou kulhání koně (Kauffmann et Cline, 2020).

Šlacha stáčející se kolem střelkové kosti a upínající se na spodní stranu kopytní kosti se nazývá hluboký ohýbač prstu. Táhne se po zadní straně hrudní končetiny koně od zápěstí dolů. U pánevní končetiny pak od hlezna (Dušek, 2011).

Jako protiváha hlubokého ohýbače prstu působí šlacha společného natahovače prstu, jež se pojí s kopytní kostí (Kauffmann et Cline, 2020).

Mezi kopytními chrupavkami pod šlachou hlubokého ohýbače prstu a zadní částí kopytní kosti se nachází prstní polštář. Je schopen se stlačovat i měnit směr (Rutland et Kubale, 2019). Tyto vlastnosti jsou důležité z hlediska tlumení otřesů, podpory prokrvení kopyta, ochrany zadní části kopytní a střelkové kosti a celkově koním pomáhá v citlivosti a reakci na povrch, po kterém se pohybují (Kauffmann et Cline, 2020).

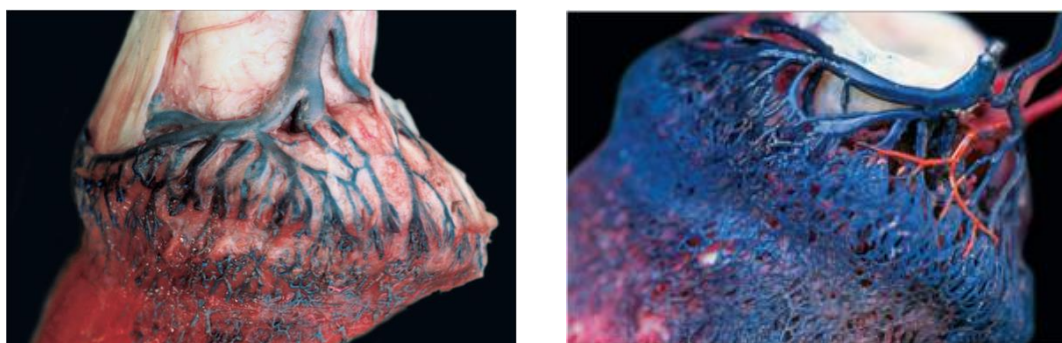
Výše popsané části kopyta jsou shrnuty na Obrázku 3.



Obrázek 3: Radiální řez kopytem (Převzato z Denoix, 2000, upraveno).

Vnitřní část kopyta je bohatě zásobena složitým systémem tepének, žilek a vlasečnic (viz Obr. 4 a 5). Dohromady vytvářejí kruh okolo kopytní kosti. Značné množství větví tepen dokonce prostupuje kopytní kostí, která je chrání před rozmačkáním (Rutland et Kubale, 2019).

Tkáně kopytních struktur jsou protkané nejjemnějšími strukturami krevního oběhu, kterými jsou artério-venózní anastomózy. Jedná se o speciální mikroskopické struktury v jemných arteriálních větvích. Jsou schopné se uzavřít a obejít tak jednotlivé kapilární sítě přímým odvodem krve do žilního systému. V kopytě se tímto mechanismem reguluje tlak, teplota a přísun živin (Zurek, 2012).



Obrázek 4,5: Cévní systém kopyta koně (Převzato z Denoix, 2000).

Silné zásobování krví a inervaci potřebují lamely (*stratum lamellatum*), které jsou na Obr.6. Vytvářejí spojení mezi kopytní kostí a rohovým pouzdem kopyta (Kauffmann et Cline, 2020). Toto spojení je tvořeno dvěma typy lamel, epidermálními a dermálními, mezi nimiž je bazální membrána. Lamely epidermální jsou ve spojení s rohovým pouzdem kopyta. Dermální se pojí s kopytní kostí a tvoří její závěsný aparát (Rutland et Kubale, 2019).

Škára kopyta je tkáň, na kterou nasedají lamely. Tato struktura je bohatá na krevní cévy, které ji vyživují (Kauffmann et Cline, 2020). Pokrývá ji vrstva zárodečných buněk, ze kterých se vytváří rohovina, z níž je formováno rohové pouzdro (Rutland et Kubale, 2019).



Obrázek 6: Lamely pod kopytním pouzdem (Převzato z Denoix, 2000).

3. Faktory ovlivňující kvalitu kopyt

Koňské kopyto prochází výraznými změnami díky vnitřním i vnějším podmínkám. Genetické předpoklady zvířete, typ povrchu, na kterém se kůň pohybuje (Craig, 2008), stáří koně, potrava a celková stavba končetiny jsou faktory, které výrazně ovlivňují charakteristiku kopyta a zdraví celého koně (Rueda – Carrillo, 2022). Taktéž počasí, zejména vlhkost, mění fyzikální vlastnosti kopyt, například tuhost kopytního pouzdra. Všechny tyto proměnlivé faktory znamenají, že biomechanika kopyta je značně dynamickým procesem (Craig, 2008).

3.1 Vnější faktory

Mezi významné vnější faktory, ovlivňující kopyto, patří sezónní změny. Na jaře má kopytní rohovina v důsledku vnějších podmínek téměř ideální vlhkost, je pružná a rychle odrůstá. To způsobuje rychlé přibývání staré rohoviny, která se postupně vylamuje. Jedná se o fyziologický proces zkracování přerostlých kopytních stěn a udržování rovnováhy kopyta (Ley et al., 1998). Nově dostupná jarní pastva zlepšuje kvalitu rohoviny po zimním období. Ovšem zkonzumuje-li kůň velké množství jarní trávy najednou, může se vyskytnout řada zdravotních problémů. Jarní tráva je totiž schopna akumulovat velké množství nestrukturálních sacharidů (NSC) v podobě glukózy a škrobu. Ty se podílejí na akutních zažívacích onemocněních koní spojených s rychlou fermentací a na chronických metabolických poruchách, což se v podobě onemocnění odráží na stavu kopyt koně, typicky se jedná o laminitidu (McIntosh, 2010).

Během horkých letních dní, kdy je zem vysušená a rozpálená, se i kopyta přirozeně vysušují (Floyd et Mannesmann, 2007). V důsledku toho je kopytní rohovina tvrdá, což způsobuje menší náchylnost k jejímu opotřebování. Kopyta mají v létě celkově pomalejší růst než na jaře či na podzim, takže bývají kompaktnější, bez výrazně oštípaných struktur. V tomto ročním období je ovšem kopyto náchylnější na patologický stav v podobě kontrakce kopyta. Jedná se o dehydrataci kopyta a následné smršťování struktur, obsahujících větší množství vody. Těmi jsou patky, střelka a bílá čára, které v důsledku toho mohou ztratit svou elasticitu. Kvůli smršťování kopyta se mění jeho optimální tvar, snižuje se celková kopytní pružnost a schopnost chodidla tlumit nárazy při pohybu. Naopak se zvyšuje riziko praskání kopytní stěny a zvětšuje náchylnost k invazím bakterií a plísní (Pennanen, 2016).

V podzimním období, kdy je obecně více vlhka, měkčí půda a výživnější potrava než v letních měsících, začíná kopytní rohovina opět rychleji růst. Tím se, stejně jako na jaře,

zvyšuje na kopytech podíl přerostlé a následně fyziologicky olámané kopytní rohoviny (Ley et spol., 1998).

V zimě roste kopytní rohovina nejpomaleji. Děje se tak z důvodu omezených potravních příležitostí. Přesto je však v tomto období rohovina kompaktnější, hladší a tlustší, a to dokonce i více než v létě. Tato podoba rohoviny je velice důležitá, neboť zefektivňuje ochranu vnitřních struktur kopyta před chladem (Lewis et spol., 2014).

V důsledku střídání čtyř ročních období se mění kopytní rohovina v podobě pomalejšího růstu nebo naopak jejího rychlého přirůstání a následného vylamování nosných okrajů kopyta. Tyto procesy mění proporce kopyta a předpokládám, že se v závislosti na ročním období mění i vnější úhly kopyt. Zásadnější změny očekávám především v důsledku rychlejšího růstu, na jaře a na podzim, kdy je rohovina kopyta buď velice přerostlá nebo naopak už vylámaná. Významnost těchto změn je však případně otázkou pro navazující studie v podobě monitoringu.

Na stav koňských kopyt má vliv i aktuální věk koně. Kopyta hříbat rostou mnohem rychleji než u dospělých koní. Starší koně mívají kopyta méně kvalitní, například v podobě větší viditelnosti růstových kroužků na rohovině a menší lesklosti kopytních stěn. Obecně jsou u starších koní na kopytě patrnější pozůstatky stresu či nemocí, které u koně během života proběhly. S věkem se rozvíjí také případná pigmentace kopyta a zároveň je na kopytech zaznamenán vývoj tělesné váhy. Mladí koně mají obecně kopyta úzká a postupně, jak stárnou a zvětšuje se jejich tělesná hmotnost, mění se kopyta do kuželovitého tvaru (Kauffmann et Cline, 2020).

Kopytní expert Simon J. Curtis, autor mnoha článků o kopytech a svazků několika knih, zveřejnil v roce 2020 video na kterém demonstroval vývoj koňského kopyta během dvanácti měsíců. Z videa pocházejí tři následující snímky (viz Obr. 7, 8 a 9), vyobrazující hříběcí kopyto v den jeho narození, v měsíci jeho života a ve věku jednoho roku (Curtis, 2020).



Obrázek 7, 8, 9: Vývoj koňského kopyta během jednoho roku (Převzato z Curtis, 2020).

Na správném vývoji kopyta se podílí i prostředí, ve kterém se kůň pohybuje již od hříběcího věku. Samotná různorodost terénu má velký vliv na kvalitu rohoviny (Zhao, 2020; Bowker, 2003). Různé tlaky působící na kopyto skrze nerovnoměrný povrch pomáhají k prokrvování kopyta, což přispívá k celkovému rozvoji pevné rohoviny (Tocci, 2017).

Dalším a velice důležitým faktorem, který ovlivňuje růst a kvalitu rohoviny, je obsah živin v krmivu. Chybí-li koni v potravě určité složky, především zinek, draslík, hořčík a železo, jeho rohovina roste pomaleji a méně kvalitně, což vede k vyšší náchylnosti ke kopytním poškozením (Davison, 2017) a praskáním kopytních stěn, díky nimž se mohou rozvinout určité nemoci, jako například nemoc bílé čáry nebo absces (O'Grady, 2002). Obsahuje-li ovšem potrava nadměrné množství sacharidů a fruktózy, působí to negativně na metabolismus koně (Whitlock, 1990). Nadměrná konzumace těchto živin se může odrazit na rohovině kopyta, která má tendenci měknout. Na základě toho často dochází ke schvácení kopyt, ale i jiným zdravotním problémům, například k průjmům či kolitidě. Dostupnost živin v potravě se odvíjí především od ročního období (Ley et al., 1998).

3.2 Vnitřní faktory

Vliv na kopytní kvalitu mají samozřejmě i vlastnosti koně. Srovnají-li se například různá plemena, je patrné, že i mezi nimi se celkový stav kopyt liší. Některá plemena, především primitivní koně, poníci, či arabští koně, mají velice kvalitní a tvrdou rohovinu (Han et al., 2023). Jiná plemena mají obvykle mnohem méně kvalitní kopyta, což se pozná podle kopytní stavby, pevnosti a vzezření rohoviny. Do této skupiny spadají především plnokrevníci (Cook, 2022). Je ovšem samozřejmé, že i v rámci plemene se vyskytují individuální rozdíly v kopytní kvalitě.

Divocí koně mají obecně vyvinutou kvalitnější rohovinu, což bylo vyselektováno díky vzdálenosti, kterou museli denně překonat a mechanickými vlastnostmi povrchu, po kterém se pohybovali (Hampson, 2013). To ovšem neznamená, že u těchto koní nemůže nastat žádný kopytní problém. U koní Převalského byla zaznamenána například laminitida. Na rozvoji tohoto onemocnění se pravděpodobně podílel omezený prostor s bohatou pastvou. Nicméně to demonstruje fakt, že i u koní s přirozeně velmi kvalitní rohovinou se mohou rozvinout kopytní poškození (Budras et al., 2001).

Na charakteristiku kopyt má vliv i celková stavba a tvar končetin koně. Pravidelný postoj koně je spojen s pravidelným, a tedy i fyziologickým stavem kopyt.

Nepravidelnosti se pak mohou projevovat na abnormálních tvarech kopyt, což může způsobovat jejich poškození (Thomason et al., 1992).

Co se týče samotného tvaru kopyt, hříbata, velmi mladí koně a často také poníci, mívají dosti strmé kopytní stěny. Zde se jedná o fyziologický stav, ovšem vyskytne-li se strmé kopyto u běžného dospělého koně, naznačuje to problém. Ten může být v podobě narušení cirkulace krve v kopytě, což může mít devastující následky včetně nedostatečného dorůstání rohoviny. Úzké kopyto má horší schopnost tlumit nárazy, což zvyšuje pravděpodobnost poškození kloubů celé končetiny (Floyd et Mannesmann, 2007). Má-li kopyto větší obvod u země než u korunky, je označováno jako kuželovité. Stěny kopyta se od korunky svažují šikmo směrem dolů v téměř stejném úhlu na obou stranách. Roztažené kopyto podporuje krevní cyklus v kopytě (Johnston, 2006). Obecně platí, že čím více kilogramů působí na kopyto, tím kuželovitější by mělo být. Proto úzké kopyto nemusí působit negativně na velmi malé koně, u větších koní je ovšem kuželovitý tvar kopyta žádoucí. Na druhou stranu, někdy se vyskytují kopyta s výrazně konkávně prohnutými stěnami ven, zde už se nejedná o kuželovité kopyto, ale patologický stav, který způsobuje nadbytečné praskání a odštěpování rohoviny (Kauffmann et Cline, 2020).

Dalším důležitým parametrem je tloušťka chodidla (Craig, 2008). Podle měření kopyt semi – ferálních koní a zdravých koní v lidské péči se zjistilo, že chodidlo by mělo mít optimální tloušťku 1,6 - 2 cm. Je také důležité, aby při pohledu z profilu mělo tvarovanou klenbu, podobnou klenbě lidských nohou (Ramey, 2005).

4. Zjevné kopytní patologie

Jednou z hlavních funkcí kopyta je udržovat váhu zvířete a vyrovnávat se s vnějšími tlaky působícími na kopyto během pohybu. Patologie kopyt a s nimi související tvarové variace mají vážné dopady na biomechaniku kopyt a zdraví koňovitých (Al-Agele et al., 2019).

V následující kapitole je uveden výčet nemocí koňských kopyt, které jsou zjevné a poměrně dobře diagnostikovatelné pouze díky vizuálnímu kontaktu.

4.1 Laminitis

Jedná se o jedno z nejzávažnějších onemocnění koní, při kterém dochází k akutnímu až chronickému zánětu škárových lamel pojících rohové pouzdro s kopytní kostí.

Lamelové spojení mezi kopytní kostí a rohovým pouzdrem se začne různě tvarovat v důsledku zvýšené hladiny inzulinu v krvi, což je okamžitá odpověď organismu na příliš vysokou hladinu cukru nebo následkem zvýšené koncentrace MMP enzymů v potravě. Jedná se o proteiny, které v průběhu ontogenetického vývoje degradují pojivovou tkáň a podílejí se na degenerativních a zánětlivých onemocněních (Sela-Passwell, 2010). V důsledku přetvořené formy lamelového spojení dochází k atakování škárové membrány, což iniciuje vznik zánětlivých procesů, které způsobují separaci kopytní stěny v tomto oslabeném lamelovém spojení (Young, 2020). V důsledku separace kopytní stěny se uvolní kopytní kost, která se pak může volně pohybovat. To způsobuje poškození chodidlové škáry a následně výraznou bolestivost (Ramey, 2005; Young 2020). Pokud se kopytní kost pohne natolik, že se postaví až na svou špici, může dokonce prorazit chodidlo. To je životu ohrožující stav s nevratným poškozením kopyt (Kantorová et Windhil, 2019).

4.1.1 Klinické příznaky

Laminitida má zjevné příznaky projevujícími se jak na celkovém chování koně, tak na vzhledu kopyt.

Prvním varovným signálem je přibývání koně na váze, což může indikovat metabolickou poruchu, která často bývá spojena s tímto onemocněním (Thomas S., 2013).

Dalším raným signálem laminitidy je abnormálně rychlý růst kopyt. Tento růst začíná dříve, než se objeví jakékoliv známky bolestivosti (Ryan, 2023).

Velké změny se dějí i na vnější stěně rohoviny kopyta v podobě patologických růstových kroužků. Zdravá kopyta vykazují rychlejší růst v přední části a pomalejší v postranních částech stěn. Tím se vytvářejí nevýrazné, hladké a rovnoměrně tvarované

růstové kroužky, vedoucí přes přední část kopytní stěny, které pokračují směrem dozadu a dolů přes postranní část kopyta k patkám. Při laminitis se tento vzorec naruší a růstové kroužky se rozšiřují v patkách více než v přední části kopyta (viz Obr. 10). Tyto změny způsobují, že se růstové kroužky kroutí směrem nahoru (Goetz, 1989).

Z důvodu rotace či poklesu kopytní kosti se mění úhly kopyta. Palmární úhel je hlavním diagnostickým úhlem při laminitis, měří se ovšem pomocí rentgenových snímků, protože ho svírá kopytní kost se zemí (Walsh, 2012). U zdravého koně mívá palmární úhel velikost přibližně 5°. Rozmezí od 3° do 7° pozitivně, tedy směrem nahoru k patce, se považuje za fyziologické, v závislosti na individuální stavbě těla koně (Kantorová et Windhil, 2020). Lehce pozitivní palmární úhel se dá z vnějšího pohledu částečně poznat dle výšky patek. U většiny koní to odpovídá výšce patkové hrany cca 2,5 -3,8 cm měřeno od linie srsti po zem.

Vně kopyta dochází především k prolomení osy prstu dozadu. To znamená, že dorzální stěna kopyta není rovnoběžná s osou špenky (viz Obr. 20C) a vyznačuje se zmenšenou velikostí kopytního úhlu. Tato disproporce pak poukazuje na negativní palmární úhel (Kauffmann et Cline, 2020), což způsobuje koni bolestivost končetiny.

Díky pohnutí kopytní kosti dochází také ke změnám úhlu přední stěny kopyta (viz Obr. 11) i úhlu korunky, více viz kap. 5.1 Vnější úhly kopyta. Díky tomuto posunu vnitřních struktur v kopytě pak postižený kůň vykazuje typický laminitický postoj s vytaženými předními končetinami dopředu, za současného podkročení a maximálního zatížení zadních končetin (Swanson, 1999).

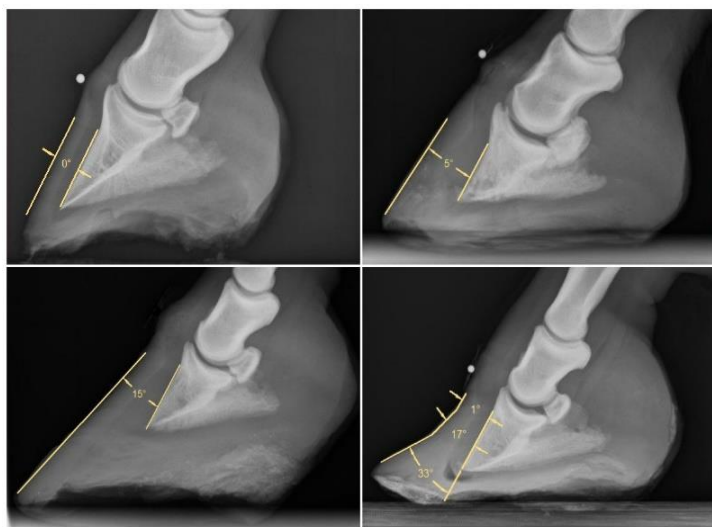
Dalším typickým znakem laminitis je prohnutí kopyta do tzv. sukně. Jedná se o přirozenou kopytní reakci na zátěž. Tímto příznakem se mění velikost především úhlu přední stěny kopyta (Lancaster, 2004). Zde je ovšem výrazná rozdílnost mezi koňmi domácími a divokými. Studie z roku 2003 (Bowker, 2003), poukázala na poměrně významné rozdíly v reakci kopyta na laminitis mezi koňmi v lidské péči a volně žijícími. U domácích koní kopyto v podobě sukně (viz Obr. 12) vykazuje dramatické změny vnitřních struktur kopyta, které novým tvarem reaguje na všechny stresové faktory, které na něj působí a novou podobou se snaží udržet separované stěny. Ovšem u semi-ferálních koní se může tvar kopyta v sukni (viz Obr. 13) vyskytovat, aniž by za tím stál devastující problém. Je to díky tomu, že jejich kopyta nejsou vystavena tak velkému stresu v podobě tréninku, špatné korektury kopyt či volbě nevhodné stravy z hlediska obsahu živin. U volně žijících koní se přerostlé stěny kopyt olámou, a tudíž při laminitis není separovaná stěna ani nucena k nosné funkci, protože se sama

odstraní. Tím je lamelové spojení uchráněno a kopyto dál roste ve spojení s kopytní kostí (Lancaster, 2004).

Krom výše zmíněných změn na kopytech se v důsledku laminitidy mohou vytvářet praskliny ve stěně kopytní, modřiny nebo přímo krev v bílé čáře nebo stěně, může se vyskytovat otok těsně nad korunkou, modřina na chodidle pod špičkou kopytní kosti. Chodidlo je tenké či zesílené nebo příliš vyboulené (Walsh, 2012).



Obrázek 10: Laminitis (Převzato z Grenager, 2012).



Obrázek 11: RTG snímky změn úhlu kopytní kosti a přední stěny kopyta v důsledku laminitidy (Převzato z Hebrock, 2012).



Obrázek 12: Prohnutí přední stěny kopyta koně v lidské péči do tzv. sukně (Převzato z Progressive Hoofcare).



Obrázek 13: Prohnutí přední stěny kopyta Exmoorského ponyho v semi-ferálním chovu, fyziologický stav (vlastní foto).

4.2 Praskliny

Přítomnost prasklin na kopytě může často být fyziologická z důvodu přirozeného procesu zkracování kopytní rohoviny (viz Obr. 23B). Jedná se o vertikální povrchové prasklinky začínající zpravidla u země a táhnoucí se nahoru přibližně do čtvrtiny kopyta. Nejčastěji jimi bývají postiženy hrudní končetiny (Vinčálek, 2015).

Od fyziologických prasklin je ovšem třeba rozlišovat praskliny patologické, které se vyznačují tím, že zjevně narušují celistvost kopytní stěny. Patologické praskliny vznikají například velkými výkyvy teplot či vlhkosti ovzduší, kdy dojde k narušení a popraskání kopyt. Dále jsou často způsobeny nadměrným a dlouhodobým přetěžováním kopyt, což se děje především u koní v lidské péči (Turner, 1992) nebo z důvodu narušení lamelového spojení kopytní stěny, metabolickou poruchou laminitis či nemocí bílé čáry (Ramey, 2007).

V kopytní stěně mohou být přítomny i horizontální praskliny, které jsou obvykle důsledkem poruchy tvorby rohoviny způsobené traumatem lemu korunky nebo otevřením abscesu. Tyto praskliny většinou nezpůsobují velkou bolest, proto při nich koně zřídka kdy kulhají (Booth, 2007).

4.3 Nemoc bílé čáry

Jedná se o separaci vnitřní kopytní stěny mezi *stratum medium* a *stratum internum*. Příčiny vzniku této patologie ovšem nejsou jednoznačné (Redding, 2012).

Vzniká nejspíše díky zánětu způsobenému vniknutím patogenů do kopytní stěny v důsledku jejího mechanického narušení. Tato nemoc je často propojená s laminitidou, která způsobí separaci rohového pouzdra od kopytní kosti v důsledku zánětu, který pak lehce iniciuje zánět přilehlých struktur, což vede k narušení stavu bílé čáry. Může to být i naopak, kdy se prasklinou kopytní stěny dostane patogen vyvolávající nemoc bílé čáry, která při svém rozvoji způsobí laminitis (Ramey, 2005). Nemoc bílé čáry je vyvolávána i příliš velkým suchem nebo naopak vlhkostí, tyto činitele naruší kopytní stěnu, která v důsledku toho praská, čímž se otvírá případným patogenům (O'Grady, 2002 et 2011).

Co se týče vnějších příznaků, nejvýraznější je patologie je v podobě rozštěpení rohového pouzdra kopyta, tím pádem i znesnadněná chůze koně či dokonce kulhání. Jelikož má tato choroba úzkou spojitost s laminitis, projevují se i při ní podobné příznaky. Může tak nastat deformace kopyta. Samotná nemoc bílé čáry ovšem změnu vnějších úhlů kopyt způsobuje minimálně (Redding, 2012).



Obrázek 14: Rozštěpení kopytního pouzdra v důsledku nemoci bílé čáry (Převzato z Larson, 2021).

4.4 Záněty kopytních chrupavek a jejich kostnatění

Kopytní chrupavky hrají významnou roli v prokrvení a pružnosti kopyta a jejich zdravotní stav je výrazným indikátorem odolnosti a mechanické nosnosti kopyt (Zurek, 2012).

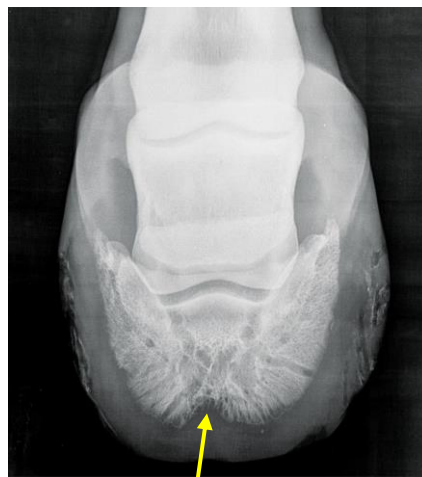
Příčinou vzniku osteoartritidy, tedy zánětu některé z kopytních chrupavek, je především dlouhodobé namáhání končetin na tvrdém povrchu, či vzniká jako následek poranění kloubu nebo celkově špatné stavby kopyta (Baccarin et spol., 2022).

Určitá forma osteoartritidy, která postihuje nejčastěji korunkový kloub, vytváří na kloubu kostěný prstenec jako reakci na poškození způsobené zánětem. Zkostnatělé části chrupavky se pak často odlamují a zánět se může rozšířit i do jiných struktur kopyta (Zurek, 2012).

Mezi klasické příznaky patří zvýšená teplota končetiny, otoky způsobené nadbytkem kloubní tekutiny v důsledku zánětu, kulhání, ztuhlost kloubů a tím pádem i ztráta pružnosti pohybu. Dále deformace kopytního pouzdra (viz Obr.15), způsobená kostními změnami a krepitus, což je skřípavý zvuk vydávaný během pohybu postiženého kloubu. V akutních případech osteoartritidy může zánět vyprýštit skrz korunku ven. Konečné stadium této patologie vede k úbytku nebo úplné ztrátě kloubní chrupavky či přilehlých struktur (viz Obr. 16). To způsobuje bolest, deformaci v podobě změny všech měřitelných vnějších úhlů kopyta, sníženou funkci končetiny či kompletní ztrátu pohybu (Schlueter et Orth, 2004).



Obrázek 15: Osteoartritida kopyta
(Převzato z Bras, 2019).



Obrázek 16: RTG snímek kopytní kosti a její úbytek v důsledku osteoartridy
(Převzato z Muir, 2018).

4.5 Podotrochlóza

Podotrochlóza, neboli navikulární syndrom, se projevuje chronickým, progresivním kulháním spojeným s bolestí patek a degenerací člunkové kosti a jejích okolních struktur (Coomer et McKane, 2013). Děje se tak nejčastěji u hrudních končetin. Někdy může být postižena jedna přední končetina více než druhá (White, 2022).

Diagnostika tohoto onemocnění není jednoduchá i za předpokladu, že jsou k dispozici rentgenové snímky kopyt. Toto onemocnění se proto považuje za syndrom, vykazující příznaky bolestivosti v zadní části kopyta a předpokládá se jeho spojitost se střelkovou kostí (Kauffmann et Cline, 2020).

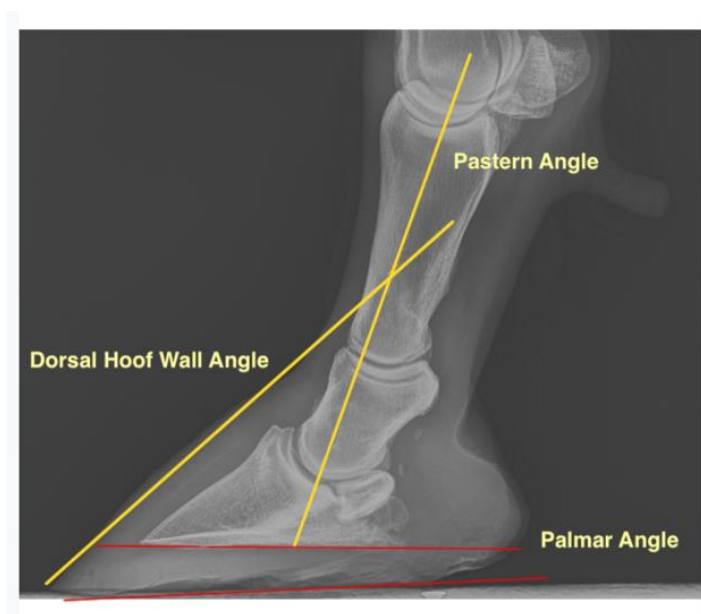
Hlavní příčinou tohoto syndromu je nadměrná zátěž končetin, proto se podotrochlóza často vyskytuje u dostihových koní (Hevesi et al., 2004). Dalšími příčinami je špatná anatomická stavba končetin a určitý faktor zde hraje i stárnutí koně. Všechny tyto příčiny vedou k abnormálnímu biomechanickému zatížení, které narušuje krevní oběh v kopytě (Rose, 1996).

Při podotrochlóze kůň často vykazuje známky kulhání, když delší dobu stojí na místě a potom se začne opět pohybovat (White, 2022). Při stání pak zaujímá pozici připomínající laminitický postoj s typicky vystrčenými předními končetinami. Během pohybu kůň nadměrně zkracuje krok a to především, pokud se pohybuje po tvrdém povrchu nebo z kopce (Rose, 1996). Kopyta bývají opticky zmenšena, jelikož dochází k úbytku prstního polštáře. Následkem tohoto syndromu je podsouvání končetin, snižování patek a nerovnoměrné prodlužování přední kopytní stěny (viz Obr. 17), což mění úhel přední stěny kopyta, patky a

korunky (viz kap. 5.1 Vnější kopytní úhly). Navíc se díky všem předešlým změnám konvexně prohýbá přední stěna kopyta a prolamuje se osa prstu (viz Obr. 18). To obecně poukazuje na pravděpodobně negativní palmární úhel kopytní kosti (viz kap 5.1.3 Úhel korunky, palmární), který může mít spojitost nejen s podotrochlózou ale i s laminitis (Coomer et McKane, 2013).



Obrázek 17: Typicky formované podotrochlózní kopyto s prodlouženou přední stěnou a sraženými patkami (Převzato z Perin, 2018).



Obrázek 18: RTG snímek silně prolomené osy prstu s prodlouženou přední stěnou a zvětšený palmární úhel následkem podotrochlózy (Převzato z Dough, 2019).

5. Jak nekontaktně charakterizovat kopyto

V kapitole o faktorech ovlivňující kvalitu kopyt jsem zmiňovala více činitelů, ovlivňující charakteristiku kopyta. Je ovšem těžké, ne-li nemožné, je všechny obsáhnout a kvantifikovat. Z toho důvodu jsem se rozhodla sestavit metodiku zaměřující se pouze na snímky kopyta. Tím se pochopitelně vytrácí možnost posoudit vliv vnitřních faktorů na kvalitu kopyt, jako je postoj koně, přirozený tvar kopyta a váha jedince. Avšak při primárním zaměření této metodiky na semi-ferální koně tyto faktory nejsme schopni ovlivnit, spolehlivě zjistit ani přesněji kvantifikovat. Tudíž se navrhovaná metodika zaměřuje pouze na kopyto jako takové a jeho proměny v závislosti na vnějších faktorech, které znát můžeme (sezóna, prostředí, věk, potrava, případně nemoci). Z tohoto důvodu byla pro posouzení kvality kopyt zvolena metoda zaměřující se na měřitelné charakteristiky na kopytě, konkrétně na úhly, měnící se v závislosti na vnějších faktorech.

5.1 Vnější kopytní úhly

5.1.1 Úhel přední stěny kopyta

Úhel přední stěny kopyta (viz Obr. 19) svírá přední stěna s podložkou, na které kůň stojí. Fyziologické přední kopyto má velikost tohoto úhlu přibližně 45-50°, zadní kopyto má úhel přední stěny se zemí okolo 50-55° (Strasser, 2004; Debra, 2013). Větší velikost úhlu přední stěny kopyta, je nejčastěji způsobena rotací kosti kopytní, kterou způsobuje především onemocnění laminitis nebo osteoartritida (Debra, 2013; Dr. Redden, 2015). Menší úhel poukazuje na velmi přerostlá kopyta (Dr. Redden, 2015), propadlé patky (viz kap. 5.1.2 Patkový úhel), či na podotrochlózu (Coomer et McKane, 2013).

Melo ovšem ve své studii (2006) uvádí, že toto rozmezí hodnot je chybné a neodpovídá tak fyziologickému stavu kopyta. U volně žijících koní uvádí fyziologické hodnoty úhlů přední stěny kopyt kolem 54°, plus vyšší hodnoty. Nižší hodnoty totiž způsobují velké namáhání kopytních šlach s různými patologickými účinky a predisponují tak k nadměrnému obrušování patek a zalomené ose prstu. Další studie u volně žijících koní ukázala průměr tohoto úhlu $52,8 \pm 2,6^\circ$ na předních končetinách (Hampson et al., 2013).

Přesné fyziologické rozměry úhlu přední stěny kopyta jsou tedy poměrně diskutabilní. Na základě těchto studií lze shrnout, že úhel přední stěny kopyta u předních končetin by měl svírat se zemí přibližně 50°. Vzhledem k absenci přesnějšího rozmezí tohoto úhlu u zdravých kopyt, není vhodné se spoléhat na měření pouze této proměnné, ale vyvozovat závěry s pomocí měření dalších vnějších hodnot.

5.1.2 Patkový úhel

Dalším měřitelným úhlem je úhel patek (viz Obr. 19), svírající patky se zemí. Ten má mít v ideálním případě stejnou či velmi podobnou velikost úhlu přední stěny kopyta (Dyson, 2011). Tyto dva úhly by se od sebe měly lišit maximálně o 10° (Craig, 2008).

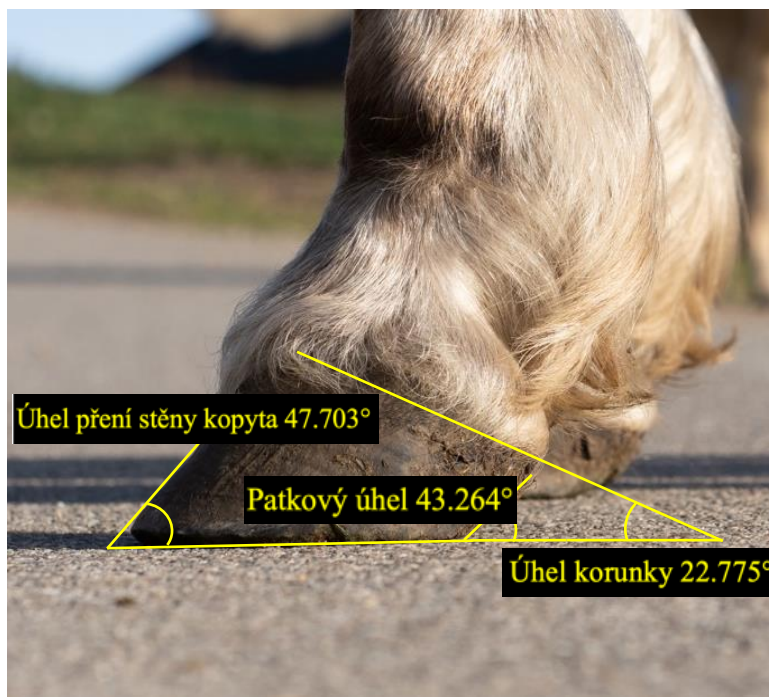
Nižší patkový úhel poukazuje na patky posazené více vpředu a naznačuje prolomenou osu prstu dozadu nebo podotrochlózu (Coomer et McKane, 2013). Jedním z hlavních problémů posunutých patek je to, že nepodepírají kostru končetiny správně (Clements, 2020) a může dojít až k jejich zhroucení pod vahou zvířete. Následkem toho je paralelní poloha patek vůči zemi (viz Obr. 20C) Koně s podsunutými či propadlými patkami mají zároveň tenký prstní polštář který se díky tomu velice deformuje (Debra, 2013).

Je-li patkový úhel příliš vysoký, naznačuje prolomenou osu prstu dopředu a má spojitost s příliš velkým úhlem přední stěny kopyta, tedy i s laminitis nebo osteoartritidou (viz kap. 5.1.1 Úhel přední stěny kopyta).

5.1.3 Úhel korunky, palmární

Úhel, který svírá korunka s podložkou (viz Obr. 19), na které stojí kopyto, klesá dozadu dolů v úhlu 20-25° (Eliashar, 2004). Tento úhel může být použit k odhadu polohy kopytní kosti v kopytním pouzdru (Debra, 2013). Pokud je úhel korunky větší než 30°, kůň má pravděpodobně příliš nízký až negativní palmární úhel (Larson, 2013) který svírá spodní hrana kopytní kosti se zemí (Kauffmann et Cline, 2020). To se na koni projevuje rozmačkáním patek, což způsobuje velkou bolestivost končetiny. Pokud je úhel korunky naopak výrazně nižší, svědčí to o příliš vysokém palmárním úhlu, který je často spojen s osteoartritidou či laminitidou (Debra, 2013).

Tyto dva úhly se navíc mění při nadměrném zatížení kopyta (Debra, 2013), což se často vyskytuje u sportovních koní. To se pojí opět s rozmačkáním patek (Larson, 2013) způsobující v krajním případě nemožnost pohybu koně.



Obrázek 19: Úhel přední stěny kopyta, patkový úhel, úhel korunky (vlastní foto).

5.1.4 Kopytní úhel

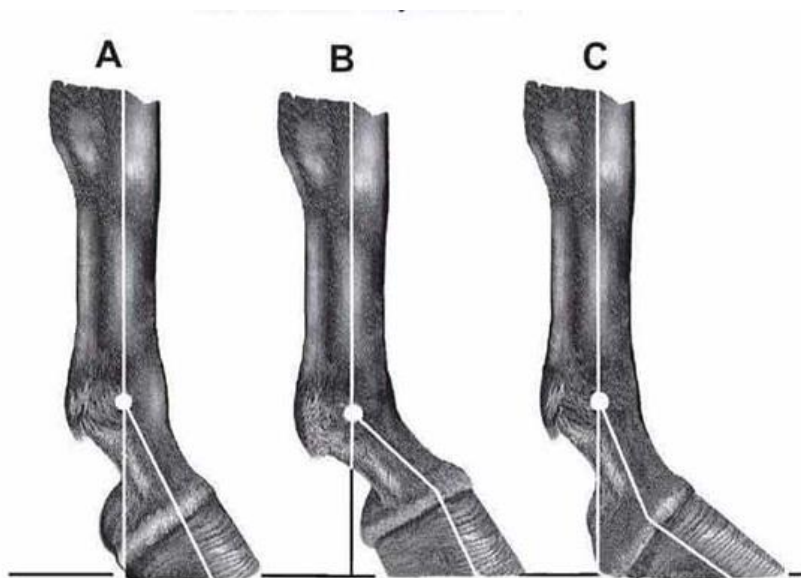
Korektní kopytní úhel svírá dorzální stěna kopyta se zemí. Měří se od spěnkového kloubu, přičemž jedno rameno úhlu vede kolmo dolů až k zemi, kde by mělo končit chodidlo a druhé do středu laterální kopytní stěny (viz Obr. 20A). Má mít přibližně 45° u předního a 55° u zadního kopyta (Debra, 2013).

Aktuálně platí, že úhel dorzální stěny by měl být rovnoběžný s osou, která prochází spěnkovou, korunkovou a kopytní kostí. Obecně je tato osa přezdívana jako osa prstu. Bez rentgenu sice nelze vidět průběh osy skrz kosti, ale lze vidět sklon spěnkové kosti, která je součástí spěnky. Doporučuje se zabývat kopytním úhlem společně s osou prstu, která porovnává úhel dorzální stěny s úhlem spěnkové kosti. Osa prstu a kopytní úhel jsou spolu ovšem v úzkém spojení, a tak poukazují na stejné kopytní problémy. Pokud není dorzální stěna kopyta rovnoběžná s osou spěnky, říkáme, že je osa prstu prolomená, a to buď dozadu nebo dopředu (viz Obr. 20) (Kauffmann et Cline, 2020).

Pokud je kopytní úhel menší než úhel spěnky, hovoříme i o ose prstu prolomené dozadu. To má za následky rovnoběžnost kopytní kosti se zemí či negativní palmární úhel, což nadměrně namáhá zadní část kopytního kloubu a šlachy hlubokého ohýbače prstu.

Výsledkem je zánět šlachy hlubokého ohýbače prstu nebo kopytního kloubu a narušená biomechanika kopyta (Heel 2004 et 2005).

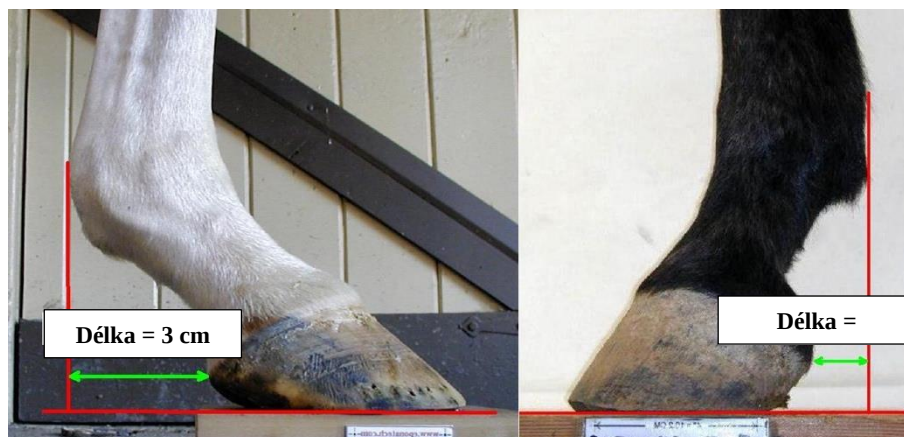
Je-li kopytní úhel větší než úhel spěnky, mluvíme o ose prolomené dopředu. Toto prolomení namáhá přední část kopytního kloubu, protože se nadměrně ohýbá. Velmi namáhaný je i mezikostní sval, protože jeho extenzorové větve upínající se ke šlaše natahovače prstu jsou neustále taženy dolů (Kauffmann et Cline, 2020). Tento postoj způsobuje zánět mezikostního vazy, zánět kopytního kloubu a poškození kopytní kosti podél předního okraje. Někdy dochází k posunu těžiště dopředu, čímž se nadměrně opotřebovává hrot kopyta a v důsledku toho se zvyšuje rychlost růstu patek, na které nepůsobí dostatečný tlak, takže se neobrušují (Floyd et Mannesmann, 2007).



Obrázek 20: Končetina s číslem A – kopyto s fyziologickou osou prstu, B – osa prstu prolomená dopředu, C – osa prstu prolomená dozadu (Převzato z Fabus, 2019, upraveno).

5.2 Další měřitelné charakteristiky

Kromě výše zmíněných úhlů, můžeme na kopytě měřit i další charakteristiky. Jako první se zaměříme na vzdálenost od kolmé linie vedoucí ze spěnkového kloubu k patkám, viz Obr. 21.



Obrázek 21: Vzdálenost patek od spěnkového kloubu (Převzato od Craig, 2008, upraveno).

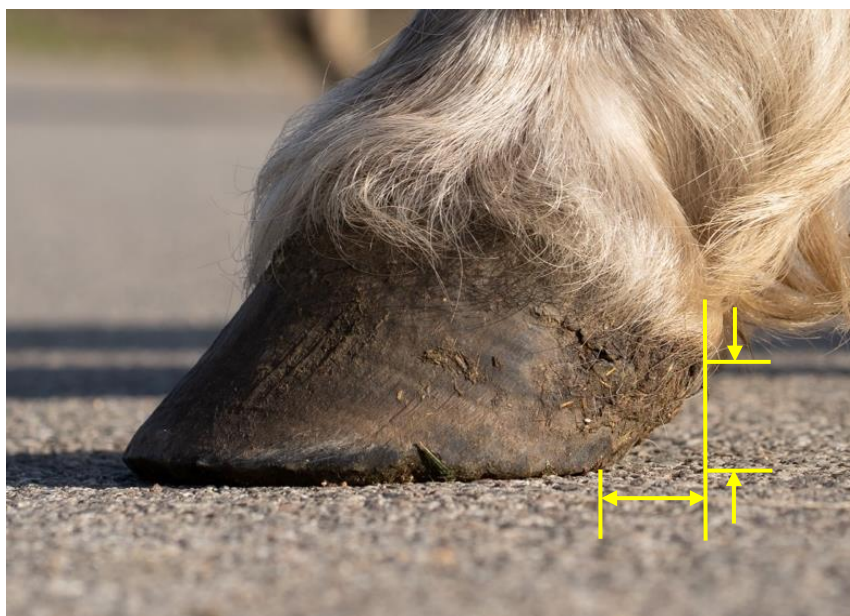
Pro tuto veličinu není určeno žádné fyziologické rozmezí hodnot. S jistotou lze ale říct, že je vhodnější vždy vzdálenost menší, protože končetina pak nemá sklony k prolamování. Tato charakteristika je zároveň spojena s velikostí kopytního úhlu, který je měřitelný poměrně snadno.

Další měřitelnou charakteristikou je délka chodidla. Koňská chodidla rozkládají a nesou celou váhu koně. Proto je důležité, aby délka chodidla byla vůči velikosti těla koně přiměřeně dlouhá, ne-li větší, kvůli dostatečnému rozložení váhy koně. Fyziologické rozmezí není známo, obecně však platí, čím je menší plocha chodidla, tím je zhoršená celková rovnováha zvířete (Craig, 2008).

S výše zmiňovaným patkovým úhlem souvisí celková výška patek (viz Obr. 22). Neexistuje jedna hodnota k určení optimální výšky pro všechny koně. Správná výška patek se však dá zhodnotit tak, že umožňuje kopytní kosti dosáhnout mírně pozitivního palmárního úhlu. To znamená, že je o několik stupňů výš než zadní část kopytní kosti. U většiny koní to odpovídá výšce patkové hrany cca 2,5 -3,8 cm měřeno od linie chlupů po zem (Turner, 1992; Kauffmann et Cline, 2020). Další důležitou charakteristikou je vzdálenost patek od konce nosné plochy kopyta (viz Obr. 22), přičemž vysoké hodnoty poukazují na propadlé či podsunuté patky.

U těchto charakteristik se obecně nedá určit přesnější číselná klasifikace vzdáleností mezi výše zmíněnými strukturami. Pokud však u nich naměříme velké číselné rozmezí je celé

kopytní pouzdro s největší pravděpodobností zdeformováno, což negativně ovlivňuje biomechaniku kopyta (Craig, 2008).



Obrázek 22: Výška patek a vzdálenost nosné plochy chodidla od konce patek (vlastní foto).

Změny velikostí všech uvedených charakteristik jsou navzájem úzce propojené. Změní-li se tedy například jeden z vnějších úhlů, pravděpodobně se ukáže změna hodnot i na ostatních měřitelných charakteristikách.

Pro větší přehlednost hodnot měřitelných na kopytě přikládám níže Tabulku 1, která zobrazuje konkrétní měřitelnou charakteristiku, jakým způsobem se vhodně měří, její fyziologický rozsah a odchylky poukazující na určitou patologii.

Mezi výrazné vnější charakteristiky kopyt patří také příznaky laminitis v podobě růstových kroužků nebo praskliny. Přestože jsou tato poškození kopyt v těžších případech velmi výrazná, prozatím považuji za poměrně obtížné vhodně posoudit tuto širokou škálu projevů od drobného poškození, po extrémní narušení kopyta. Sestavení škály, případně použití morfometrických programů pro kvantifikaci těchto patologických jevů, může být zajímavé pro budoucí studie.

Tabulka 1: Měřitelné charakteristiky vnějšího kopyta.

Veličina	Měří	Fyziologický rozměr	Vyšší hodnoty	Nížší hodnoty
Úhel přední stěny kopyta	Úhel přední stěny kopyta svírající se zemí	Přední: 45–50° Zadní: 50–55°	Laminitis, osteoartritida	Přerostlá kopyta, propadlé patky, podotrochlóza
Patkový úhel	Úhel svírající patky se zemí	Viz Úhel přední stěny kopyta, rozdíl max. 10	Laminitis, osteoartritida	Podsuté patky, prolomená osa prstu dozadu, deformace prstního polštáře, podotrochlóza
Úhel korunky	Úhel svírající lem korunky se zemí	20–25°	Negativní palmární úhel – rozmačkané patky	Osteoartritida, laminitis
Kopytní úhel	Úhel spěnkového kloubu ku patkám a polovině laterální kopytní stěny	Přední: 45° Zadní: 55°	Osa prstu prolomená dopředu – zánět mezikostního svalu, nadměrný růst patek	Osa prstu prolomená dozadu – zánět šlachy hlubokého ohýbače prstu, kopytního kloubu
Spěnkový kloub-patky	Vzdálenost patek od kolmé linie vedoucí ze spěnkového kloubu	Fyziologické rozmezí neurčeno	Souvisí s kopytním úhlem	Souvisí s kopytním úhlem
Délka chodidla	Celková délka nosné plochy chodidla	Fyziologické rozmezí neurčeno	Fyziologické	Problémy s rovnováhou – narušování vnitřních struktur kopyta
Výška patek	Výška patkové hrany od linie chlupů po zem	2.5–3.8 cm	Souvisí s kopytním úhlem	Souvisí s kopytním úhlem
Vzdálenost patek od chodidla	Vzdálenost od konce patek ke konci nosné plochy kopyta	Fyziologické rozmezí neurčeno	Podsuté patky, podotrochlóza	Osteoartritida, laminitis

5.3 Nástroje užitečné pro kvantifikaci vnějších charakteristik kopyt

Posuzování vnější charakteristiky kopyt z fotografie a následné měření z tohoto typu média, nám zjednodušuje využití vhodných analytických programů, z nichž některé jsem shrnula v této kapitole.

Jako první zmíním balíček programů MorphoJ, sloužící pro provádění nejdůležitějších typů analýz geometrické morfometrie (Klingenberg, 2022). Jedná se o morfometrickou metodu, která vychází z popisů tvarů pomocí tzv. landmarků, což jsou referenční body objektu, pomocí nichž program studuje tvary a jejich změny. MorphoJ poskytuje možnost analýzy 2D i 3D dat, které lze importovat z textových souborů nebo souborů z jiných morfometrických programů (Manthey et Ousley, 2020). Tento program se jeví jako poměrně vhodný pro vnější charakteristiku kopyt z hlediska dostupných funkcí. Je určen pro analýzu

biologických dat, ovšem není ideální pro analýzu dat s velkými odchylkami ve tvaru (Klingenberg, 2022), proto nemusí být vhodný při analýze kopytních patologií, které výrazně deformují kopyto. Program MorphoJ je dobré použít v kombinaci s programem tpsDIG2, který byl navržen tak, aby usnadnil statistickou analýzu údajů o referenčních bodech v morfometrii, čímž usnadňuje shromažďování údajů o orientačních bodech z digitalizovaných snímků. Tento program ovšem předpokládá použití fotografií s měřítkem, což značně znesnadňuje jeho použití v námi navrhované metodice.

Dalším programem umožňujícím geometrickou morfometrii je software R (R Core Team, 2015). Má k dispozici řadu variant balíčků morfometrie. Mezi ně patří například Momocs, Geomorph, MorphoTools2, OSymm.R, shapes, borealis a další. Některé programy jsou ovšem stabilnější (Momocs, MorphoTools2) než jiné (OSymm.R, Geomorph, shapes, borealis) (Rolf, 2022; Koutecký, 2014). Při použití R softwaru je tedy třeba určitá zkušenost s prací v tomto prostředí a také určitá opatrnost při výběru statistických balíčků.

ImageJ je software, poskytující všechny nástroje potřebné ke zpracování a analýze obrázků (Cousera project network, 2023). Umožňuje velmi jednoduše změřit již zmiňované úhly na fotografii, proto byl použit při referenčním měření v této bakalářské práci.

Jedním ze způsobů, které by se daly taktéž využít při nekontaktním posuzování charakteristiky kopyt, je analýza teplotních polí na povrchu kopyta pomocí termovizního systému Hoof Inspector. Ten umožňuje bezdotykové měření teploty na povrchu kopyt během chůze kopytníků. Pomocí tohoto lehce přenosného přístroje lze diagnostikovat například zánětlivá onemocnění, a to dokonce i před tím, než se objeví například kulhání nebo další, závažnější zdravotní problémy (Workswell, 2020). Pokud by se tedy tato termokamera umístila na vhodné místo v rezervaci semi-ferálních koní, šlo by o ní uvažovat jakožto doplňujícím zdroji dat při nekontaktním posuzování kopyt.

Pravděpodobně nejspolehlivější diagnostickou metodou zjišťování charakteristiky kopyt jsou rentgenové snímky, a to zejména z hlediska sledování změny polohy kopytní kosti v důsledku patologií. Přenosné veterinární rentgenové přístroje by bylo teoreticky možné použít při krátkém uzavření koně v manipulačním boxu. V případě milovické rezervace se tak děje jednou ročně při čipování hříbat. Ovšem kopyto by pro tyto snímky mělo být ideálně vyčištěné a umístěné na speciální podložce, přičemž kůň musí být několik vteřin úplně v klidu (Žert et spol., 2002). Z toho důvodu se jedná o špatně proveditelnou metodu, navíc velice nákladnou.

6. Referenční měření

Pro zjištění spolehlivosti měření úhlů z fotografie, bylo na závěr této práce provedeno referenční měření, a to na dvou koních v lidské péči se zdravými kopyty fyziologického tvaru.

6.1 Metodika

Na rovné a pevné podložce byl určen bod, od kterého vedly rovné linie po 10° v rozmezí $0-180^\circ$, kdy 90° značí pozici kolmou k focenému objektu. Na každé linii byla vyznačena značka po jednom metru od výchozího bodu, v rozmezí jednoho až čtyř metrů. Na bod, z něhož vycházely linie, bylo postaveno kopyto, které bylo následně nafoceno z každé linie a každé značky na určité linii. Každá fotografie byla navíc pořízena z pozice sedu a pozice, kdy byl fotoaparát na boku fotografa. Postupně byly nafoceny obě přední i zadní kopyta z jejich vnější strany. Z pořízených fotografií byl změřen úhel kopytní, korunkový, patkový a úhel přední stěny kopyta, ve výše zmiňovaném programu ImageJ. Tyto hodnoty byly následně porovnávány s úhly změřenými přímo na kopytě přímo, pomocí drátu a úhloměru. Následně byly tyto hodnoty statisticky vyhodnoceny pomocí programu Statistica.

6.2 Statistická analýza

Pro zjištění vlivu jednotlivých kategorií (pozice fotografa a jeho vzdálenost) na střední hodnoty výběrů (rozdíly hodnot úhlů naměřených z fotografie a přímo na kopytě, $N = 64$) byla použita faktoriální ANOVA. Pro míru spolehlivosti měření úhlů kopyt z fotografie byla určena přípustná míra směrodatné odchylky, a to $0,5^\circ$ (vzhledem k použité metodě měření skutečných úhlů kopyta standardním úhloměrem). Následně byla tato směrodatná odchylka rozdílů úhlů naměřených z fotografie a naměřených přímo na kopytě vypočítána a proměnné splňující toto kritérium byly považovány za dostatečně přesné pro měření v této pilotní studii.

6.3 Výsledky

Výsledky analýzy variance jednotlivých faktorů ovlivňujících měření z fotografie ukázaly, že statisticky významný vliv na střední hodnoty výběrů mají pozice fotografa ($F_{1,2296} = 8.604$, $p < 0.005$) a vzdálenost fotografa od objektu ($F_{3,2296} = 22.722$, $p < 0.005$). V případě interakce pozice fotografa a jeho vzdálenosti vůči objektu se střední hodnoty jednotlivých výběrů statisticky neliší ($F_{3, 2296} = 0,6295$, $p = 0,596$). Z tohoto důvodu bylo následně zhodnocení přesnosti úhlů pro fotografování na základě určení přípustné směrodatné odchylky prováděno pro jednotlivé úhly bez oddělení vlivu pozice a vzdálenosti fotografa.

Z hlediska určení přesnosti měření na základě porovnání rozdílů úhlů naměřených z fotografie a přímo na kopytě koně vyplývá, že přípustnou míru směrodatné odchylky $0,5^\circ$ splnily fotografie pořizované pod úhlem 80° - 100° u úhlu přední stěny kopyta, kopytního, patkového úhlu a u úhlu korunky 70° - 100° . Tyto výsledky shrnují Tabulky 2-5 a Grafy 1-4.

Tabulka 2: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost úhlu přední stěny kopyta. Výsledky splňující kritéria směrodatné odchylky jsou zvýrazněny.

Úhel pořízení fotografie	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka
50°	1,303	-5,432	6,462	2,388
60°	0,396	-3,426	3,364	1,432
70°	0,075	-2,104	2,367	0,795
80°	0,008	-0,655	0,645	0,365
90°	0,054	-0,654	0,567	0,329
100°	0,030	-0,754	0,754	0,372
110°	0,369	-1,532	3,924	0,907
120°	0,812	-4,537	5,562	1,848
130°	1,208	-13,018	7,571	3,464

Tabulka 3: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost úhlu korunky. Výsledky splňující kritéria směrodatné odchylky jsou zvýrazněny.

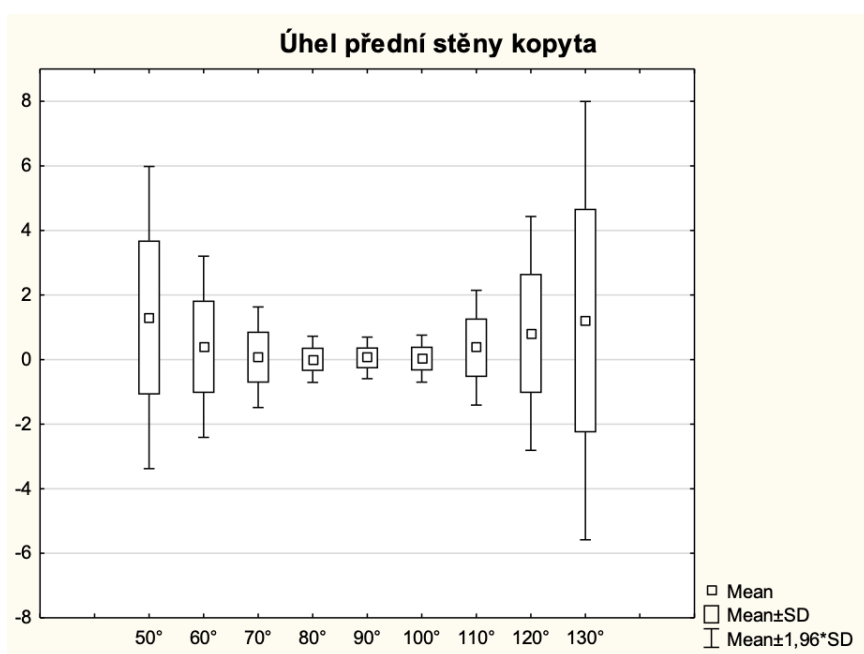
Úhel pořízení fotografie	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka
50°	1,758	-3,232	7,567	2,178
60°	1,107	-2,427	6,221	1,416
70°	0,674	-0,654	1,745	0,438
80°	0,511	0,142	1,567	0,301
90°	0,483	0,102	0,987	0,237
100°	0,511	0,219	1,253	0,252
110°	0,694	-0,437	2,742	0,517
120°	0,980	-2,044	2,682	0,894
130°	1,433	-3,077	5,654	1,848

Tabulka 4: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost kopytního úhlu. Výsledky splňující kritéria směrodatné odchylky jsou zvýrazněny.

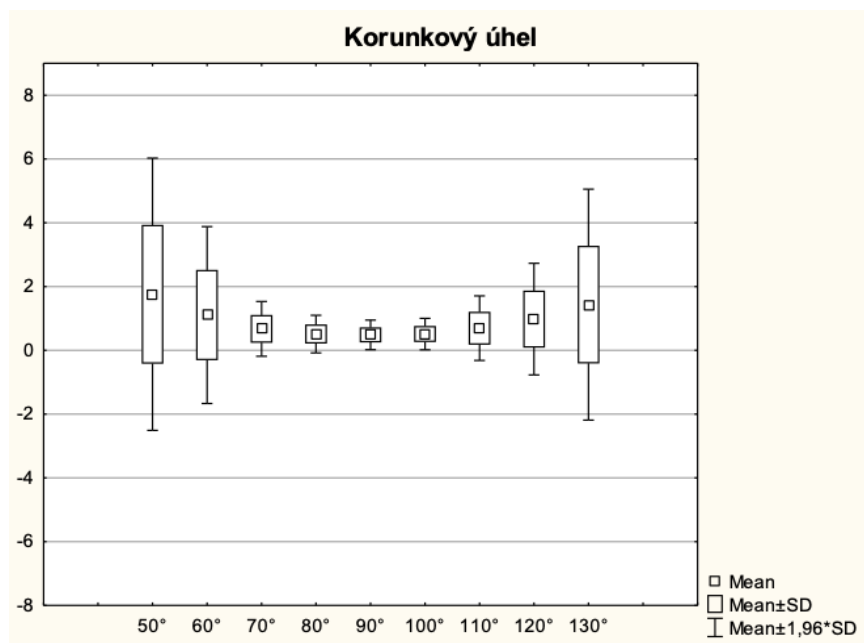
Úhel pořízení fotografie	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka
50°	1,126	-7,106	11,363	3,100
60°	0,245	-8,394	4,378	2,031
70°	0,385	-1,318	3,346	0,755
80°	0,387	-0,311	1,272	0,375
90°	0,387	-0,322	0,970	0,371
100°	0,419	-0,903	1,243	0,414
110°	0,299	-4,547	1,867	0,951
120°	1,076	-3,055	5,856	1,786
130°	1,614	-9,463	9,034	3,349

Tabulka 5: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost patkového úhlu. Výsledky splňující kritéria směrodatné odchylky jsou zvýrazněny.

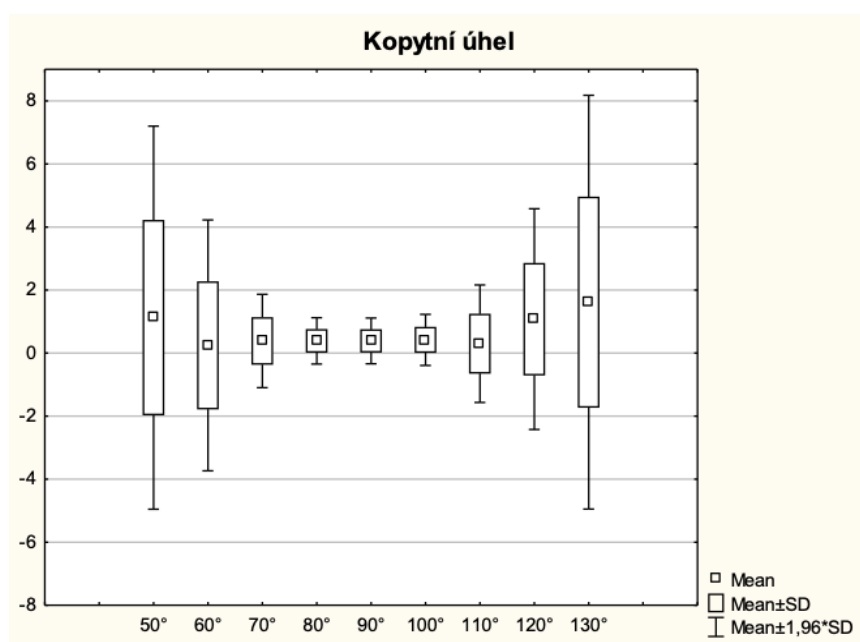
Úhel pořízení fotografie	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka
50°	0,241	-5,325	5,432	2,111
60°	0,080	-4,644	3,673	1,512
70°	-0,116	-2,426	3,243	0,852
80°	-0,152	-0,613	0,502	0,310
90°	-0,127	-0,577	0,645	0,298
100°	-0,148	-0,988	0,465	0,326
110°	-0,008	-1,414	2,365	0,795
120°	-0,153	-6,114	2,879	1,608
130°	0,931	-7,022	5,567	2,130



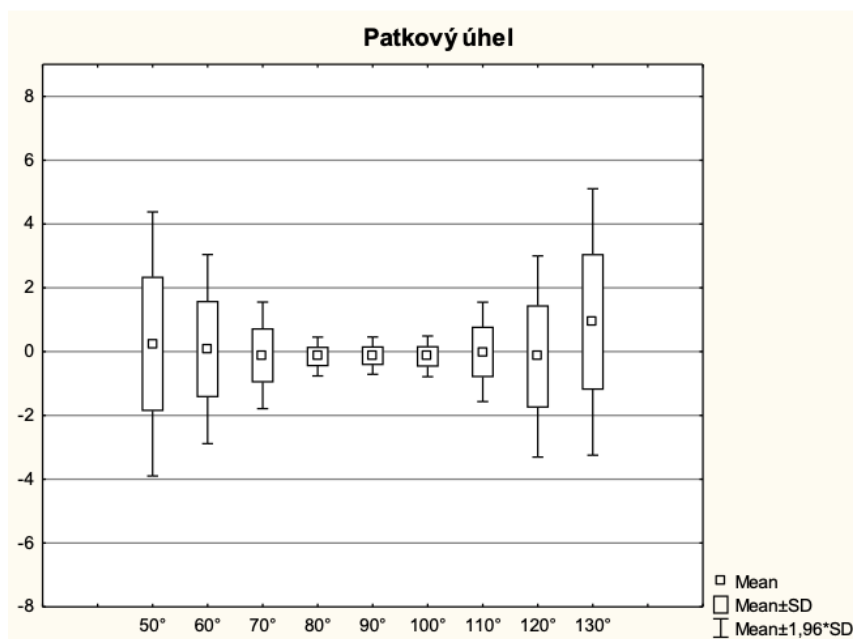
Graf 1: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost úhlu přední stěny kopyta.



Graf 2: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost úhlu korunky.



Graf 3: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost kopytního úhlu.



Graf 4: Vliv úhlu pořízení fotografie na měřenou velikost patkového úhlu.

6.4 Diskuse

V referenčním měření byla počítána pozice i vzdálenost fotografa vůči objektu dohromady. Dle výsledků je patrné, že nemají tyto dva faktory v interakci statisticky průkazný vliv na variabilitu. To je potěšující výsledek, neboť v terénu se sice pozorovatel může snažit dodržet jednotné vzdálenosti a pozice, ovšem drobných odchylek se nelze vyvarovat.

Výsledky měření v tabulkách a grafy jednotlivých úhlů poukázaly na nejvhodnější pozici fotografa v rozmezí 80-100° vůči fotografovanému objektu. Toto rozmezí je v terénu reálně dodržet (viz 7. Návrh vlastní metodiky). Z výsledků lze dále vyčíst, že krom úhlu přední stěny kopyta dochází u všech ostatních měřených úhlů k určitému zkreslení, posunutí průměru měření od nuly. U korunkového a kopytního úhlu jsou výsledky nadhodnoceny, u patkového úhlu naopak podhodnoceny. Tento posun by bylo vhodné v příštích studiích korigovat pomocí regresního koeficientu. V této práci nebyla tato korekce provedena k tomu, že výsledky referenčního měření jsou pouze pilotní s malým vzorkem měřených kopyt a nezahrnutí proměření kopyt s patologiemi.

7. Návrh vlastní metodiky

Na základě výsledků a informací získaných z odborné literatury, které byly popsány výše, jsem na závěr této práce sestavila návrh vlastní metodiky pro posuzování charakteristik kopyt bez nutnosti přímého kontaktu se zvířetem.

Jako nejvhodnější metodu posuzování kopyt semi-ferálních koní považuji pořízení fotografie. Důvodem je poměrně jednoduché provedení (a to i na velkých lokalitách), relativně dostupného a jednoduše použitelného vybavení, které je lehké na přesun v terénu a neruší zvířata. Jiné metody jsou často velice drahé nebo špatně použitelné v terénu.

Při pořizování snímků se musí dávat pozor na fotoaparáty s funkcí tzv. redukce kolinearity. Tato funkce upravuje různě sbíhající linie na fotografii (El-Beik et Masaad, 1993). Z tohoto důvodu je vhodné pořizovat fotografie pro účel měření úhlů fotoaparát s pevným ohniskem a posléze na fotografii použít zoom v počítači. To je možné snadno provést u většiny kvalitnějších fotoaparátů.

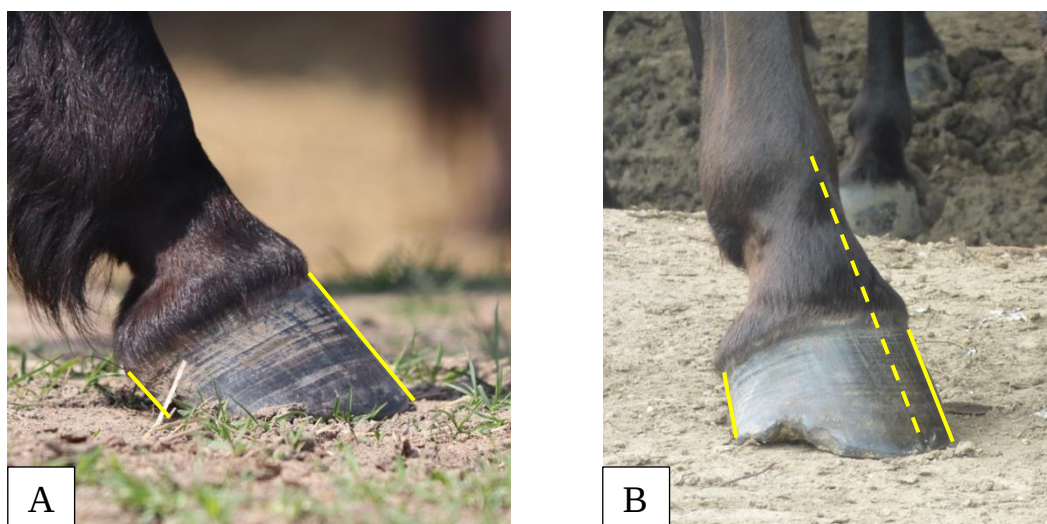
Co se týče samotné měřitelnosti charakteristik kopyt, které jsou zmíněny výše (viz kap. 5. Jak nekontaktně charakterizovat kopyto), považuji za nejvhodnější se zaměřit spíše na měření úhlů než na přeměřování reálných délek a výšek různých struktur. Hlavním důvodem je, že úhly na kopytech jsou obecně dobře měřitelné, a především není nutné je proporčně přepočítávat vzhledem k velikosti koně. Díky tomu se nabízí možnost tyto hodnoty používat univerzálně, a to jak u koní jednoho plemene, tak mezi plemeny, kde je variabilita velikostí a hmotností podstatně vyšší. Navíc, jak je patrné z Tabulky 1, tak většině reálných délek a výšek chybí přesnější a číselná klasifikace, tudíž se dají posuzovat jen orientačně.

Měření úhlů má také i svá úskalí. Při hledání odborné literatury na toto téma je patrné, že se někteří vědci neshodují s jejich přesným fyziologickým rozmezím, obzvláště u úhlů přední stěny kopyta. Převládající část odborníků ovšem zatím podporuje z několika variant rozmezí pouze jedno, které bylo v této práci použito.

Dalším problémem je použití metody měření vnějších úhlů kopyt v terénu. Pro ideální pořizování fotek na následné měření úhlů z fotografie je nutné vyčkat na správnou dobu, kdy bude kůň stát v klidu na tvrdém, co nejvíce rovném podloží bez rušivé trávy zasahující do obrysu kopyta. Proto je vhodné pořizovat fotografie v létě, kdy se přes den většina koní shromažďuje na jednom místě ve stínu, kde je udusané, rovné a nebahnité podloží. Bohužel ne vždy se dají pořizovat fotografie v těchto ideálních, letních podmínkách, obzvláště pokud chceme provádět například monitoring vlivu sezónních změn na stav kopyt. V tom případě je dobré vyčkat, až se bude kůň vyskytovat na netravnatém a nebahnitém podloží. Takovými

místa jsou například okolí napajedel nebo místa využívaná k odpočinku. Tento fakt poukazuje na nutnost alespoň základní znalosti prostředí, ve kterém jsou koně chováni, případně jejich denních rytmů. Důležité je také zmínit, že vzhledem k tomu, že ideální podmínky pro pořízení fotografií nastanou zpravidla během odpočinku koní, je příhodné také vizuálně zkontrolovat zatížení končetiny. Mnoho koní při odpočinku odlehčuje jednu z končetin, zpravidla zadních a takto odlehčená, až nadzvednutá končetina by mohla výsledek měření zkreslit. Zatížení zadních končetin, pokud není noha přímo nadzvednutá, je dobře patrné na zádi koně, která je v případě přenesení váhy na jednu končetinu nesymetrická.

Další úskalí měření úhlů kopyt z fotografie spočívá v tom, že ne vždy se dá dodržet ideální pozice fotografa od foceného objektu. Přestože u pozice fotografa v interakci s jeho vzdáleností od objektu nebyl prokázán statisticky významný vliv na výsledek měření (viz 6.3 Výsledky). Z dosavadních pilotních výsledků vyplývá, že nejpřesnější pozice fotografa vzhledem k fotografovanému objektu je 80° - 100° , kdy za 90° považujeme kolmici k fotografované končetině. Toto rozmezí je poměrně dobře rozpoznatelné i bez měření, které v terénu samozřejmě není možné. V námi určeném rozmezí (80 - 100°) jsou patrné pouze dvě hrany kopyta (dorzální stěny a rohových patek), pomyslné linie vedoucí přes tyto hrany přesně uprostřed kopyta jsou vyznačeny na Obr. 23A. Při větším rozmezí se tyto pomyslné linie posouvají a nevedou již prostředkem stěn. Vedou po postranních stěnách kopyta (viz Obr. 23B), správně vedoucí linie dorzální stěny je na fotografii vyznačena přerušovanou čarou.



Obrázek 23: A – Fotografie pořízená z úhlově správné pozice fotografa vůči objektu. B – Fotografie pořízená z úhlově nevhodné pozice fotografa vůči objektu. Je zde také patrné fyziologické olámaní stěny kopyta, které na zdravotní stav zvířete nemá žádný vliv.

7.1 Doporučená metodika – shrnutí

Pro přehled shrnuji navrhovanou metodiku do následujících bodů.

- Vhodné podmínky pro pořízení fotografie
 - Rovný, nebahnitý povrch bez vysoké trávy
 - Kůň v režimu odpočinku se všemi končetinami rovnoměrně zatíženými
- Pořízení fotografie kopyta
 - Fotoaparát s pevným ohniskem
 - Poloha fotografa přibližně stejná, v rozmezí 80-100° vůči kopytu
- Změření vnějších úhlů kopyta
- Vyhodnotit rozměry a jejich proměnu na kopytě v závislosti na sledovaném faktoru

8. Závěr

V této práci shrnuji základní faktory a kopytní patologie působící na stav kopyt. Dále představuji základní možnosti nekontaktního posuzování charakteristiky kopyt u koní. Vlastní metodu nekontaktního posuzování jsem sestavila především na základě měření vnějších úhlů kopyta z fotografie, díky nimž se dá pozorovat určitý vliv faktorů na stav kopyta, u patologií i na stav celého koně. Pro ověření přesnosti této metodiky jsem také provedla referenční měření, které poukázalo na nejvhodnější pozici fotografa vůči fotografovanému objektu v rozmezí 80-100°. Výsledky z referenčního měření jsou ovšem pilotní a bude třeba je pro budoucí studie ještě doplnit a případně zkorigovat.

Z dostupné literatury se jeví, že pro koně bez korektury kopyt je dosavadní literatura pouze ve formě případových studií a přesnější, kvantitativní sledování stavu kopyt semi-ferálních koní dosud chybí.

I přes určitá úskalí považuji tuto metodiku za poměrně spolehlivou a v terénu dobře použitelnou a jako taková může sloužit jako dobrý podklad k pokračujícím měřením a studiím týkajících se vlastností a proměn kopyt koní žijících semi-ferálně.

9. Seznam citované literatury

AL-AGELE, R., PAUL, E., TAYLOR, S., WATSON, C., STURROCK, C., DRAKOPOULOU, M., ATWOOD, RC., RUTLAND, CS., MENZIES-GOW, N., KNOWLES, E., J., HARRIS, P., RAUCH, C., Physics of animal health: on the mechano-biology of hoof growth and form. *Journal of The Royal Society Interface*, 2019, 16(155).

BACCARIN, R., SEIDEL, S., MIHELACCI, Y., TOKAWA, P., OLIVEIRA, T. Osteoarthritis: a common disease that should be avoided in the athletic horse's life. *Animal Frontiers*, 2022, 12(3):25-36.

BOOTH, L., WHITE, D. Pathological conditions of the external hoof capsule. Floyd AE, Mansmann RA, eds. *Equine Podiatry*. St. Louis: Saunders Elsevier, 2007, 12:224–252.

BOWKER, R. The Growth and Adaptive Capabilities of the Hoof Wall and Sole: Functional Changes in Response to Stress. *American Association of Equine Practitioners*, 2003, 32:146-168.

BUDRAS, K. *Anatomy of the horse*. 6th ed. Hannover: Schlütersche, 2011. ISBN 978-3-89993-666-7.

BUDRAS, K., SCHEIBE, K., PATAN, B., STREICH, W., KIM, K. Laminitis in Przewalski horses kept in a semireserve. *Journal of Veterinary Science*. 2001, 2(1): 1-7.

CLEMENTS, P., HANDEL, I., McKANE, S., COOMER, R. An investigation into the association between plantar distal phalanx angle and hindlimb lameness in a UK population of horses. *Equine Veterinary Education*. 2020, 32: 52-59.

COOK, F., COOK, R. Farriery. [online]. Retraining of race horses, 2022. Dostupné z: <https://www.ror.org.uk/care-and-training/farriery>

COOMER, R., McKANE, S., THOMAS, H. Current concepts of navicular syndrome: diagnosis and treatment. *In Practice*. 2013, 35: 325-335.

COTHRAN-GUS, E. Evolution of the horse. [online]. Britannica, 2023. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9197312/>

COUSERA PROJECT NETWORK. Getting started with ImageJ. [online]. Coursera, 2023. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.coursera.org/projects/getting-started-imagej>

CRAIG, M. The Value of Measuring the Hoof, 2008. [online]. Dostupné z: http://ifpeouest.fr/wp-content/uploads/2021/01/Value_of_Measuring.pdf

CURTISH, S. Foal Hoof Development Explained: The First 12 Months of the Equine Foot. In: Youtube [online]. 19. 11. 2020. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QtMqkirB6kk&t=86s>

DAVISON, K. How does nutritional balance affect hoof quality. [online] American Farriers Journal, 2017. [cit. 28.03.2023]. Dostupné z: <https://www.americanfarriers.com/articles/9404-how-does-nutritional-balance-affect-hoof-quality-afjho>

DEBRA, T. Every hoof has a story: an in-depth look at the physical examination of the equine hoof. Auburn University, Western Veterinary Conference, 2013.

DOUGHTY, A. An epidemiological survey of the dentition and foot condition of slaughtered horses in Australia. University of Queensland, Gatton, 2008. Project ANIM7619.

DR. REDDEN, R. Horse Owner Seminar (Equine Rescue). University of Wisconsin School of Veterinary Medicine. Seminar, 2015, 608:265-5206.

DUBERSTEIN, K. Evaluating horse conformation. [online]. University of Georgia: Extension, 2012. Dostupné z: <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=b1400>

DUŠEK, Jaromír. Chov koní. Vyd. 3. Praha: Brázda, 2011. ISBN 978-80-209-0388-4.

DYSON, S., TRANQUILLE, C., COLLINS, S., PARKIN, T., MURRAY, R. An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. Equine Veterinary Journal, 2011, 43(3): 295-301.

EL-BEIK, A., MASAAD, E. Development of a multi-application collinearity equations model.

The Photogrammetric Record, 1993, 14(82): 635-649.

ELIASHAR, E., MCGUIGAN, M., WILSON, A. Relationship of foot conformation and force applied to the navicular bone of sound horses at the trot. Equine Veterinary Journal, 2004, 36:431–435.

FABUS, T., DINGELL, G. What your horse's hoof angle may be telling you. [online]. Michigan State University, 2019. Dostupné z: <https://www.canr.msu.edu/news/what-your-horse-s-hoof-angle-may-be-telling-you>

FLOYD, E., MANSMANN, A. Equine podiatry. Elsevier Inc, Saunders, 2007. ISBN 978-0-7216-0383-4.

GOETZ, T. The treatment of laminitis in horses. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, 1989, 5.1: 73-108.

GRIFFIN, P., BYBEE, J., WOODWARD, H., COLLINS, G., HENNING, J., CHAMBERS, J. Wild horse and burro considerations. Crist MR and others, editors, 2019, 163-186.

HAMPSON, B., DE LAAT, M., MILLS, P., POLLITT, C. The feral horse foot. Observational study of the effect of environment on the morphometrics of the feet of 100 Australian feral horses. Australian Veterinary Journal, 2013, 91:14-22.

HAN, H., RANDHAWA, A., MACHUGH, D., Selection signatures for local and regional adaptation in Chinese Mongolian horse breeds reveal candidate genes for hoof health. BMC Genomics, 2023: 24(35).

HEVESI, Á., GARAMVÖLGYI, P., AGRARIA, A. Examination of the navicular region of the horse by using magnetic resonance imaging (Methodical study). Acta Agraria Kaposváriensis, 2004, 8(1): 1-10.

JOHNSTON, C., BACK, W. Hoof ground interaction: when biomechanical stimuli challenge the tissues of the distal limb. Equine Veterinary Journal, 2006; 38:634–641.

KALUŽE, M., KONVALINOVÁ J. Nemoci koní. [online]. CIT VFU, 2019. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/nz/NHZ/NZ.html>

KANTOROVÁ, H., WINDHIL, R. Negativní palmární úhel. [online]. Mustang, 2020. Dostupné z: <https://www.mustang-trim.cz/l/negativni-palmarni-uhel/>

KANTOROVÁ, H., WINDHIL, R. Schvácení kopyt – Laminitis. [online]. Mustang, 2019. Dostupné z: <https://www.mustang-trim.cz/l/schvaceni-kopyt-laminitis/>

KAUFFMANN, S., CLINE, CH. Kopyta: kompletní průvodce. Přeložila Dominika ŠVEHLOVÁ. Jihlava: Arcaro, 2020. ISBN 978-80-907983-1-1.

KLINGENBERG, Ch. MorphoJ: An Integrated Software Package for Geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 2011, 11(2):353-357.

KLINGENBERG, P. MorphoJ User's Guide. [online]. Morphometrics.uk, 2022. Dostupné z: https://morphometrics.uk/MorphoJ_page.html

KÖNIG, H., LIEBICH, H. Anatomia domácich cicavcov 1. Hajko a Hajková, 2003. ISBN 8088700558.

KOUTECKÝ, P. MorphoTools: a set of R functions for morphometric analysis. *Plant Systematics and Evolution*, 2014: 301.

KUWANO, A., TANAKA, K., KAWABATA, M., OOI, Y., TAKAHASHI, T., YOSHIHARA, T., REILLY, J. A survey of white line disease in Japanese racehorses, *Equine Veterinary Journal*, 1999, 31(6): 515-518.

LANCASTER, L., Inside a Laboratory that Looks Inside Horses' Hooves. Hoofcare & Lameness, *Journal of Equine Foot Science*, 2004, 78.

LEWIS, C., NADEAU, J., HOAGLAND, T., DARRE, M. Effect of Season on Travel Patterns and Hoof Growth of Domestic Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2014, 34 (7): 918-922.

LEY, W., PLEASANT, R., SCOOT, R., DUNNINGTON, E. Effects of season and diet on tensile strength and mineral content of the equine hoof wall. *Equine Veterinary Journal*, 1998, 46-50.

MALONE, S., DAVIES, H. Changes in Hoof Shape During a Seven-Week Period When Horses Were Shod Versus Barefoot. *Animals (Basel)*. 2019, 9(12):1017.

MANTHEY, L., OUSLEY, S., Geometric morphometrics. In *Statistics and Probability in Forensic Anthropology*, 2020, 289-298.

MC INTOSH, B. Countermeasures For Equine Laminitis. [online]. Slideshare a Scribd company, 2010 Dostupné z: <https://www.slideshare.net/heyboerg/countermeasures-for-equine-laminitis-mc-intosh>

MELO, U., FERREIRA, C., SANTIAGO, R. Equilíbrio do casco equino: uma revisão. *Cienc. Anim. Bras.*, 2006, 7: 389-398.

MCHORSE, K., BIEWENER, A., PIERCE, E. Mechanics of evolutionary digit reduction in fossil horses (Equidae). *Royal Society*, 2017 (284).

O'GRADY, S. White line disease – an update, *Equine Veterinary Education*, 2022, 14(1): 51-55.

O'GRADY, S. A fresh look at white line disease, *Equine Veterinary Education*, 2011, 23(10): 517-522.

O'GRADY, S. Strategies for shoeing the horse with palmar foot pain. *Proceedings of the Annual Conference: Equine Pract*, 2006, 209-217.

O'GRADY, S. How to Manage White Line Disease, 2006 [online]. Dostupné z: <https://aaep.org/sites/default/files/issues/proceedings-06proceedings-z9100106000520.PDF>

PAVIA, A., GENTRY-RUNNING, K. *Horse Health and Nutrition For Dummies*. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 9780470239520.

PENNANEN, S. Hot weather guidelines for hoof care. [online]. Equine wellness, 2016. Dostupné z: <https://equinewellnessmagazine.com/hot-weather-guidelines-hoof-care/>

PÍCHA, Š. Jak se vyvíjeli koně. [online]. Přírodovědci.cz, 2020. Dostupné z: <https://www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/3381>

PRITCHARD, L., KING, A. White line disease in horses. Veterinary Times, 2015, 45(31): 12-14.

R CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. [online] The R Foundation, 2015. Dostupné z: <https://www.R-project.org/>.

RAMEY, P. The End of White Line Disease. [online]. Hoof Rehabilitation Specialists, 2005. Dostupné z: <https://www.hoofrehab.com/WhiteLineDisease.html>

RAMEY, P. Understanding the Horse's Sole. [online]. Hoof Rehabilitation Specialists, 2005. Dostupné z: <https://www.hoofrehab.com/HorsesSole.html>

RAMEY, P. Wall cracks. [online]. Hoof Rehabilitation Specialists, 2007. Dostupné z: <https://www.hoofrehab.com/WallCracks.html>

REDDING, W., O'GRADY, S. Nonseptic diseases associated with the hoof complex, Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, 2012, 28(2): 407-421.

ROHLF, F. Data acquisition. [online]. SB Morphometrics, 2023. Dostupné z: <https://www.sbmorphometrics.org/soft-dataacq.html>

ROHLF, F., James. Software using R. Sbmorphometrics, 2022. Dostupné z: <https://www.sbmorphometrics.org/soft-R.html>

ROSE, R. Navicular disease in the horse. Journal of equine veterinary science, 1996, 16(1):18-24.

RUEDA-CARRILLO, G., MARTÍNEZ, R., GARCÍA, A., PÉREZ, E., TAVERA, F. Preliminary Study on the Connection Between the Mineral Profile of Horse Hooves and Tensile Strength Based on Body Weight, Sex, Age, Sampling Location, and Riding Disciplines, *Journal of Frontiers in Veterinary Science*, Volume 8, 2022, ISSN=2297-1769.

RUTLAND, C., KUBALE, V. *Veterinary Anatomy and Physiology*. IntechOpen, 2019. ISBN 978-1-78985-706-1.

RYAN, T. A new and powerful concept for equine laminitis. [online]. *EquineHoof*, 2023. Dostupné z: <https://www.equinehoof.co.uk>

RYAN, T. Review of data on hoof growth in normal and laminitic equines suggests a new aetiology for acute laminitis. [online]. *PeerJ*, 2018. Dostupné z: <https://peerj.com/preprints/26992/>

SELA-PASSWELL, N., ROSENBLUM, G., SHOHAM, T., SAGI, I. Structural and functional bases for allosteric control of MMP activities: can it pave the path for selective inhibition. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 2010, 1: 29-38

SCHLUETER, A., ORTH, M. Equine osteoarthritis: A brief review of the disease and its causes. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2003, 1(4): 221-231.

STACHURSKA, A., KOLSTRUNG, R., PIETA, P., SILMANOWICZ, P., KLIMOROWSKA, A., Differentiation between fore and hind hoof dimensions in the horse (*Equus caballus*), *Arch. Anim. Breed.*, 2008, 51: 531–540.

STASHAK, S., HILL, CH. *Practical Guide To Lameness In Horses*. Williams & Wilkins, 1996. ISBN 0-683-07985-9

STRASSER, H. Péče o kopyta podle Dr. med. vet. Hiltrud Straßer [online]. *Strasser CZ*, 2010. Dostupné z: <https://www.strasser-kopyta.cz/news/podlom-a-hniloba-strelu/>

STRASSER, H. Život se zdravými kopyty: klíče k optimálnímu zdraví koně, rehabilitaci poruch pohybového aparátu a vysoce výkonnému bosému koni. Přeložil Stanislav Blecha. České Budějovice: Růže, 2004. ISBN 80-903485-0-5.

SWANSON, D. Clinical presentation, diagnosis, and prognosis of acute laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 1999, 15(2): 311-319.

THOMAS, S. Healthier. Hoof Care for EMS Horses. [online]. *The Horse*, 2023. Dostupné z: <https://thehorse.com/156869/hoof-care-for-ems-horses/>

THOMASON, J. Estimation of locomotory forces and stresses in the limb bones of Recent and extinct equids. *Paleobiology*, 1985, 11: 209-220.

THOMASON, J., BIEWENER, A., BERTRAM, J. Surface strain on the equine hoof wall in vivo: implications for the material design and functional morphology of the wall. *The Company of Biologists Limited*, 1992, 166: 145–168.

TOCCI, R., SARGENTINI, C., MARTINI, A., ANDRENELLI, L., PEZZATI, A., BENVENUTI, D., GIORGETTI, A., Hoof quality of Anglo-Arabian and Haflinger horses. *Journal of Veterinary Research*, 2017, 62(3).

TURNER, T. The use of hoof measurements for the objective assessment of hoof balance. *Proceedings, Am Assoc Equine Pract*, 1992: 389-395.

VAN HEEL, M., BARNEVELD, A., VAN WEEREN, P., BACK, W. Dynamic pressure measurements for the detailed study of hoof balance: the effect of trimming. *Equine Veterinary Journal*, 2004, 36(8): 778-782.

VAN HEEL, M, MOLEMAN, M., BARNEVELD, A., VAN WEEREN, P., BACK, W. Changes in location of centre of pressure and hoof-unrollment pattern in relation to an 8week shoeing interval in the horse. *Equine Veterinary journal*, 2005, 37(6): 536-540

VINČÁLEK, J. a kolektiv. Podkovářství. Podkovářská Škola s.r.o., 2015. 768 s. ISBN: 9788074900525.

WALSH, D. Laminitis. [online]. *The Laminitis Site*, 2012. Dostupné z: <https://www.thelaminitissite.org/laminitis.html>

WHITE, Ch. Podotrochlosis. [online]. *The Horse*, 2022. Dostupné z: <https://thehorse.com/184051/podotrochlosis-101/>

WHITLOCK, R. Feed Additives and Contaminants as a Cause of Equine Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 1990, 6(2): 467-478.

WORKSWELL. Termokamery a termovizní systémy. [online] Workswell, 2020. Dostupné z: <https://workswell.cz/hoof-inspector-system-pro-bezdotykovy-monitoring-zdravotniho-stavu-paznehtu/>

YOUNG, A. Laminitis. [online]. Ucdavis, Veterinary medicine – Center For Equine Health, 2020. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://ceh.vetmed.ucdavis.edu/health-topics/laminitis>

YUQING, H., NADEAU, J., REED, S., HOAGLAND, T., BUSHMITCH, S., ABORN, S., JONES, A., MARTIN, D. The Effect of Season on Muscle Growth, Fat Deposition, Travel Patterns, and Hoof Growth of Domestic Young Horses, *Journal of Equine Veterinary Science*, 2020, 85.

ZHAO, J., MARGHITU, D., SCHUMACHER, J., WANG, W. Impact of Horse Hoof Wall with Different Solid Surfaces. *Applied Sciences*, 2020, 10(23).

ZUREK, E. Kopytní problematika koní. [online]. Smacr.cz, 2012. Dostupné <http://www.smacr.cz/data/soubory> ke stazeni/Kopytni_problematika_koni_SMACR_13.9.2012.pdf

ŽERT, Z., ŠTERC, J., BARTÚNKOVÁ, H. Rentgenologické vyšetření kopytního kloubu a střílkové kosti při koupi (prodeji) koně. *Veterinářství* 2002, 52:373-376.

10. Seznam citovaných obrázků

BRAS, R. Pyramidal hoof disease. The Horse, 2019. [online]. Dostupné z: <https://thehorse.com/165511/does-my-horse-have-pyramidal-hoof-disease/>

DENOIX, J. The Equine Distal Limb: Atlas of Clinical Anatomy and Comparative Imaging. Manson Publishing Ltd, 2000. ISBN 1–84076–001–X.

DOUG, T. Understanding Navicular Syndrome and heel pain in horses. Horses Side Vet Guide, 2019. [online]. Dostupné z: <https://horsesidevetguide.com/Navicular+Syndrome+%26+Heel+Pain+in+Horses+>

EQUISTERIAN SURFACES. A Guide to Horse Hoof Health – What to look out for with your horse's hooves. [online] Dostupné z: <https://www.equestriansurfaces.co.uk/tips/guide-to-hoof-health/>

FABUS, T., DINGELL, G. What your horse's hoof angle may be telling you. [online]. Dostupné z: <https://www.canr.msu.edu/news/what-your-horse-s-hoof-angle-may-be-telling-you>

GRENGAGER, N. Possible causes of laminitis. The Horse, 2012. [online]. Dostupné z: <https://thehorse.com/114904/possible-causes-of-laminitis/>

HEBROCK, J. Hoof Angles. Better Horse Management Through Science, 2012. [online]. Dostupné z: <https://enlightenedequine.com/2012/04/18/hoof-angles-part-3/>

LARSON, E. The Frustrations of White Line Disease. The Horse, 2021. [online]. Dostupné z: <https://thehorse.com/113282/the-frustrations-of-white-line-disease/>

MUIR, S. How is Your Hoof Care Affecting the Inside of the Equine Foot. American Farriers Journal, 2018. [online]. Dostupné z: <https://www.americanfarriers.com/articles/10460-how-is-your-hoof-care-affecting-the-inside-of-the-equine-foot?v=preview>

PERIN, D. Coping with Navicular disease. Practical Horseman, 2018. [online]. Dostupné z: https://practicalhorsemanmag-com.translate.goog/health-archive/coping-with-navicular-disease/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc

PROGRESSIVE HOOFCARE. Laminitis. [online]. Dostupné z: <https://www.progressivehoofcare.co.uk/laminitis.html>