

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4103 Zootechnika

Studijní obor: Zootechnika

Katedra: Katedra zootechnických věd

Vedoucí katedry: prof. Ing. Václav Matoušek, CSc.

Diplomová práce

ZMĚNY MECHANIKY POHYBU KONĚ V TAHU PŘI
RŮZNÉ ZÁTĚŽI

Vedoucí práce:

doc. Ing. Miroslav Maršálek, CSc.

Autor diplomové práce:

Bc. Paulína Piscová Mandová

České Budějovice, 2019

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Bc. Paulína Píscová Mandová**

Osobní číslo: **Z17135**

Studijní program: **N4103 Zootechnika**

Studijní obor: **Zootechnika**

Název tématu: **Změny mechaniky pohybu koně v tahu při různé zátěži**

Zadávající katedra: **Katedra zootechnických věd**

Zásady pro vypracování:

Význam chladnokrevných koní v současnosti spočívá především v jejich využití při práci v lesních porostech. K posouzení obtížnosti této práce je důležité, s jakou zátěží kůň pracuje a v jakém terénu se pohybuje.

Cílem práce je objektivně posoudit změny mechaniky pohybu koně při různé zátěži v tahu. Z aktuálních literárních zdrojů zpracujte informace o změnách mechaniky pohybu koní v tahu a na základě vlastních měření zpracujte výsledky o délce kroku, rychlosti kroku a výšce akce u koní pracujících v tahu. V rámci podmínek účelového zařízení ZF JU připravte a vyhodnoťte experiment, ve kterém budou posuzovány výše zmíněné kvantitativní charakteristiky chodu při měnící se zátěži. K vyhodnocení využijte videografické kinematické analýzy jako objektivní metodu na posouzení mechaniky pohybu. Opakované měření zpracujte pomocí statistických metod a navrhnete vyplývající závěry pro praktické využití.

Doporučená literatura:

BACK, W. a CLAYTON, H. M. 2012. Equine Locomotion. 2. vydání. Edinburgh: Saunders Elsevier, 2012. ISBN 9780702029509.

CLAYTON, H. M. 2004. The Dynamic Horse. Mason; Sport Horse Publications, 2004. ISBN 097476700X.

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

MARŠÁLEK, M. a CIVIŠOVÁ, H. 2016. Šlechtění chladnokrevných koní a jejich uplatnění. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2016. ISBN 978-80-7394-580-0.

MARŠÁLEK, M. 2008. Chov koní - popis, posouzení, šlechtění. České Budějovice: Jihočeská universita Zemědělská fakulta, 2008. ISBN 978-80-7394-101-7.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Změny mechaniky pohybu koně v tahu při různé zátěži“ vypracovala samostatně, na základě vlastních zjištění, odborných konzultací a materiálů, které uvádím v seznamu literatury.

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

České Budějovice, 12. duben 2019

Bc. Paulína Piscová Mandová

Děkuji vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Miroslavu Maršálkovi, CSc., za odbornou pomoc při vypracování diplomové práce a hodnotné připomínky. Také děkuji Ing. Janě Zedníkové, Ph.D., za asistenci při měření a Mgr. Veronice Čoudkové za pomoc při zpracování statistických výsledků. V neposlední řadě moc děkuji své rodině, za neúnavnou podporu, zázemí a pomoc při studiu.

České Budějovice, 12. duben 2019

Bc. Paulína Piscová Mandová

Abstrakt

Chladnokrevní koně nacházejí využití v současnosti především v práci v tahu v lesních porostech. Mechanika pohybu sehrává klíčovou roli při odhadu jejich potenciálu pro vykonávání této činnosti. Následně se pak uplatňuje v jejich selekci a reprodukci. Zátěž, se kterou kůň pracuje, přitom významným způsobem ovlivňuje charakteristické vlastnosti pohybu. Pro koně pracující v tahu, je proto důležité objektivní zhodnocení jejich mechaniky pohybu, nejen při předvádění, ale také pod měnící se zátěží.

Cílem práce bylo připravit a vyhodnotit experiment pro posouzení kvantitativních charakteristik mechaniky pohybu (délky kroku, výšky akce a rychlosti chodu) chladnokrevného koně bez zátěže a při tahu břemen různé hmotnosti za využití videografické kinematické analýzy. Získané údaje byly statisticky zpracovány pro posouzení změn v délce kroku, výšky akce a rychlosti chodu v závislosti na měnící se zátěži.

Z experimentu vyplynulo, že délka kroku se zvyšující se hmotností břemene klesá. Z průměrné hodnoty 1,94 m při chodu bez zátěže klesá na průměrnou hodnotu 1,02 m při maximální sledované zátěži 500 kg. Byla zjištěna vysoká závislost ($r=-0,93$) zkracování délky kroku na hmotnosti taženého břemene. Závislost je silně průkazná ($p<0,001$).

Změny výšky akce se zvyšující se hmotností břemene jsou různé pro hrudní a pánevní končetinu. Hrudní končetina má téměř konstantní hodnotu ($\sim 0,08\text{m}$) a nebyla prokázána závislost ($p=0,977$) na měnící se hmotnosti břemene. Pánevní končetina vykazuje silně průkaznou závislost ($p<0,001$) na zvyšující se hmotnosti břemene. Hodnota korelačního koeficientu $r=0,52$ značí pouze mírnou těsnost závislosti. Tento rozdíl lze vysvětlit rozdílnou funkcí a stavbou končetiny.

Rychlost chodu odvozena z horizontální složky ze sledovací značky na hřbetu je ve všech pozorovaných případech rovnoměrná a při zvyšující se hmotnosti břemene klesá z hodnoty $1,95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na hodnotu $1,19\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Závislost je silně průkazná ($p<0,001$) a hodnota korelačního koeficientu $r=-0,94$ značí silnou závislost. Výsledky získané z horizontální složky rychlosti hlavy jsou s výsledky ze hřbetu ve velmi dobré shodě.

Výsledky, které tato metoda poskytuje, mohou být nedocenitelným nástrojem při objektivním zjišťování užitkového a chovatelského potenciálu chladnokrevných koní pracujících v tahu. Na základě těchto zjištění lze doporučit další rozvoj aplikace videografické kinematické analýzy k objektivizaci hodnocení kvantitativních charakteristik mechaniky pohybu pro zootechnickou a chovatelskou praxi.

Klíčová slova: chladnokrevný kůň, mechanika pohybu, kinematická analýza, práce v tahu

Abstract

Cold-blooded horses find their use at present mainly in tensile work in forest stands. Motion mechanics plays the key role in estimating their potential for performing this activity. Subsequently, it is used in their selection and reproduction.

In the process, applied load the horse is working with significantly influences the characteristics of a movement. Therefore, for horses doing tensile work, an objective assessment of their movement mechanics is important, not only during demonstration but also under a changing load.

The aim of this study was to prepare and evaluate an experiment for assessing the quantitative characteristics of motion mechanics (step length, action height and running speed) of a cold-blooded horse with no load and with a load of different weight using videographic kinematic analysis. The data obtained were statistically processed to assess changes in step length, action height and running speed depending on the changing load.

The results of our experiment showed that the step length decreases with increasing weight of the load. From an average value of 1.94 m at run without a load, it drops to an average value of 1.02 m at a maximum monitored load of 500 kg.

A high dependence ($r=-0.93$) of the step length reduction on the tensile load was found. The dependence is strongly evincible ($p<0.001$). Changes in action height with increasing load weight are different for the forelimb and rear limb. The forelimb has an almost constant value ($\sim 0.08\text{m}$) and no dependence ($p=0.977$) on the changing weight of the load has been demonstrated. The rear limb shows a strong correlation ($p<0.001$) to the increasing weight of the load. The correlation coefficient $r=0.52$ indicates only a slight dependence. This difference can be explained by different function and construction of the limb. The running speed derived from the horizontal marker from the tracking mark on the back is uniform in all observed cases and decreases from $1.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $1.19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ with increasing weight of the load. The dependence is strongly evincible ($p<0.001$) and the correlation coefficient of $r=-0.94$ indicates a strong dependence. The results obtained from the horizontal head velocity component are very well matched to the spine results.

The results provided by this method can be an invaluable tool in objective detection of utility and breeding potential of cold-blooded horse in tensile work.

Based on these findings, we can recommend further development of videographic kinematic analysis application to objectify the evaluation of quantitative characteristics of motion mechanics for zootechnical and breeding practice.

Keywords: coldblooded horse, movement mechanics, kinematic analysis, tensile work

Obsah

1. Úvod	8
2. Literární přehled	9
2.1 Využití koně člověkem	9
2.1.1 Charakteristika chladnokrevného koně a významná česká plemena.....	15
2.1.2 Využití koní v lesním hospodářství.....	17
2.1.3 Tažení břemene a význam tření	20
2.1.4 Vliv taženého břemene na charakteristiky pohybu	21
2.2 Moderní kinematická analýza mechaniky pohybu koně	24
2.2.1 Metody kinematické analýzy.....	26
2.2.2 Sledovací značky	28
2.2.3 Fáze kroku a segmentace záznamu	30
2.2.4 Zpracování a úprava dat	31
3. Cíl práce	32
4. Materiál a metodika	33
4.1 Charakteristika objektu měření	33
4.2 Příprava a průběh měření	33
4.3 Zpracování naměřených dat	35
5. Výsledky a diskuze.....	36
5.1 Změny délky kroku při různé zátěži.....	41
5.2 Změny výšky akce končetin při různé zátěži	42
5.3 Změny rychlosti chodu při různé zátěži	44
6. Závěr.....	47
7. Doporučení pro chovatelskou praxi	49
Citovaná literatura	50
Přílohy	54

1. Úvod

Člověk byl od pradávna fascinován zvířaty, která ho obklopovaly, zvláště velikými savci. Mezi nimi výrazně dominoval právě kůň. Lidstvu imponoval svojí rychlostí, elegancí a majestátností. Kůň byl po celá milénia významnou hybnou silou ekonomického pokroku. Průmyslová revoluce, využití parního stroje a navazující vývoj a zavedení spalovacího motoru však znamenalo pro koně zásadní obrat. Hospodářské zvíře, které rozhodujícím způsobem ovlivňovalo ekonomický růst a sílu armády, se v průběhu posledních padesát let stalo „pouze“ zájmovým zvířetem. Zůstávají však oblasti, především v lesním hospodářství, kde je koňská síla jen těžko nahraditelná, nebo ji nahradit nelze.

Pro odhad pracovního potenciálu a šlechtitelské hodnoty koní je důležité posouzení mechaniky pohybu při zápisu do plemenných knih. V kategorii chladnokrevných koní hraje důležitou úlohu také jejich pohybový potenciál při vykonávání práce v tahu s břemenem. Způsob, jakým se kůň s touto zátěží fyziologicky vyrovnává, se přímo zrcadlí ve změnách jeho pohybových vzorců. Proto je důležitým aspektem nejen mechanika pohybu bez zátěže, ale i při práci v tahu.

V současné době se mechanika pohybu koní posuzuje na základě subjektivního hodnocení kvalitativních charakteristik za pomoci odborné poroty. Stejně tak přistupují k této problematice chovatelé při výběru vhodných jedinců ke šlechtění.

Rozvoj výpočetní a audiovizuální techniky a hromadící se poznatky v oblasti zootechnických věd, veterinárního lékařství a biomechaniky nabízejí vhodné a dostupné nástroje, kterými se dá objektivně analyzovat pohyb koně při různých činnostech.

Cílem práce je posoudit změny mechaniky pohybu chladnokrevného koně při různé hmotnosti taženého břemene. Pro objektivní posouzení budou změřeny a hodnoceny kvantitativní charakteristiky pohybu – délka kroku, výška akce a rychlost chodu. Pro zpracování této práce byla zvolena videografická metoda kinematické analýzy jako nejvhodnější a nejdostupnější k vykonání experimentálního měření a jeho vyhodnocení.

V rámci možností účelového zařízení zemědělské fakulty má být připraven experiment, ve kterém budou posuzovány výše zmíněné kvantitativní charakteristiky chodu při měnící se zátěži. K získání dat má být využita uvedená metoda jako objektivní způsob posouzení mechaniky pohybu. Opakované měření má být následně zpracováno pomocí statistických metod a na základě vyplývajících závěrů má být navrženo praktického využití poznatků.

2. Literární přehled

2.1 Využití koně člověkem

Kůň byl ze všech hospodářských zvířat domestikován jako poslední. Bylo to zhruba před 6000 lety na území dnešní Ukrajiny, jihozápadu Ruska a Kazachstánu. Za jeho pozdější domestikaci může jeho plachost v kombinaci s jeho rychlostí a silou. Vztah koně a člověka je doposud křehký, kůň má tendenci vnímat člověka pořád jako predátora.

Prvotně byl využíván jako zdroj potravy, avšak jeho rozšíření a zušlechtování bylo podmíněné právě jeho pohybovými vlastnostmi. Schopnost pohybovat se udělala z koně důležitý prvek v dopravě v mnohých civilizacích na planetě a tyto samé vlastnosti z něho udělaly nejobávanější zbraň na bojišti od pravěku až do 20. století. Jízdu na koni předcházelo vozatajstvo.

Díky nasazení koní ve válce během starověku mohly vzniknout obrovské říše a impéria. Příkladem je Perská říše, která byla nejrozlehlejší říší té doby. Za vznik vděčí koňské jízdě, proti které tehdy neexistovala obrana a jejíž název „Persie“ je odvozen právě od slova „jezdec“. Tuto říši nakonec dobyla a rozvrátila armáda Alexandra Velkého, která rovněž excelovala v umění ovládat koně v boji (VAN WEEREN, 2013).

Od těch dob se kůň stal strategickým zdrojem, který podmiňoval síla armády. Vědecký zájem o stavbu koňského těla a popis jeho pohybových schopností položili již v dobách antiky Řekové. Římané tyto vědomosti přebrali a aplikovali je při budování svého impéria.

Podobně jako dříve Spartané nebo Athéňané, nebyli Římané národem zcela jezdeckým. Legionáři z období staré republiky byli vlastně pěšáci, kteří brali koně s sebou do vozů, ale na koních příliš nebojovali. Ovšem koňské dostihy byly už tehdy oblíbenou zábavou. Účastnili se jich koně importované z Asie, Egypta, Itálie, Sicílie, ale hlavně ze severní Afriky a z Hispánie (BÍLEK, 1955).

Po rozpadu západní části Římského impéria v roce 476 n.l. upadla velká část Evropy do období temného středověku. Mnohé z nastřádaných veterinárních vědomostí byly nenávratně ztraceny a kontinuita zavedených chovů přerušena. V tomto období se na území arabského poloostrova zformovala nová vojenská síla, která se v plné míře opřela o agresivní lehkou jízdu pohyblivých a odolných koní.

První zmínky o chovu koní v českých zemích jsou datovány do 6. století, kdy docházelo k osídlování území Slovany. Koně ale na tomto území chovali už před jejich příchodem Kelti, Markomani, Kvádové, Hunové a další etnika. Tito koně byli ve většině případů kombinací stepního a orientálního typu a křížili se prostřednictvím obchodních styků nebo vojenských výpadů s koňmi západními – okcidentálními, které za sebou zanechali Římané (MARŠÁLEK, et al., 2016).

Následný rozvoj rytířství v období středověku v Evropě kladl na koně nové požadavky. Podmínil uplatnění stále mohutnějších plemen koní západního typu, u kterých byla zdůrazňována síla, rychlost a hmotnost. Síla útoku musela být taková, aby prorazila formace nepřítele (**MARŠÁLEK, 2008**).

U těchto koní byla cvičena bojovnost tak, že útočili pod jezdcem na koně nepřítele, a to převážně zuby s cílem prokousnout hrdlo, nebo šlachy dle možností, případně i skokem na protivníka útokem předních končetin. Součástí bojového výcviku bylo i vyhazování zadními končetinami. Rytířští koně, jejichž pohyblivost byla vzhledem k ochrannému brnění omezenější, byli znamenitě příježdění a i v těchto útočných akcích byli na pomůckách (**DUŠEK, et al., 2011**).

Kůň se v 7. a 8. století důležitým dopravním a tažným zvířetem. Postupně nabýval na významu zejména ve vztahu k hospodářskému vývoji země (obrázek č. 1). Jeho chov se neustále rozšiřoval a v 9. století už představoval důležitý vývozní artikl země koruny české (**MARŠÁLEK, 2008**).

Obrázek č. 1: Kůň ve středověku
(zdroj: thegreatcoursesdaily.com)



Pro uplatnění koně k práci byl klíčový vývoj postrojů. První postroje byly sestaveny z měkkého koženého pásu, který se dával koni kolem krku. Ten tlačil na tracheu a krční cévy, čímž se využití koňské síly omezovalo jen na jednu šestinu. Takto mohli koně přepravovat jen lehké náklady. Proto bylo v těch dobách jednodušší využití například volských povozů. Zásadní pokrok v tomto směru udělali Číňané, kteří už v 7. století přišli s inovativním řešením postroje. Podstatné zvýšení využití tažné síly koní v Evropě umožnilo až použití masivnějšího chomoutu ve 12. století (**MARŠÁLEK, 2008**).

Tažná síla koně je tedy nejlépe využita v chomoutovém postroji. Nesprávně přizpůsobený postroj snižuje výkon koně, ale také ohrožuje jeho zdraví a ochotu k práci (**RADVAN, 1990**).

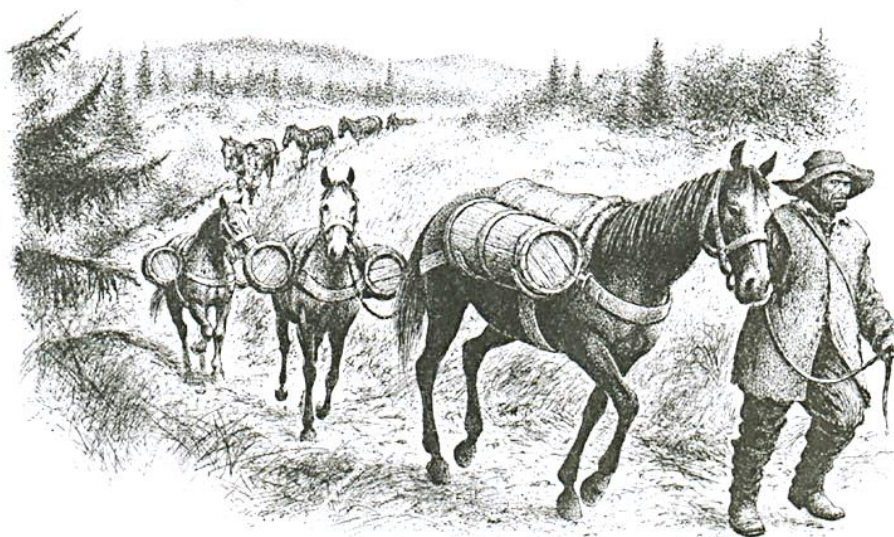
Chladnokrevní koně se v českých zemích šířili především z důvodu potřeby mohutného vozového koně pro účely dopravy materiálu, popřípadě osob. Proto byl

nejdříve do Čech dovážen norický kůň z oblasti Rakouska, který se sem dostával hlavně podél solné stezky jako plemeno koní používané pro přepravu soli. Křížením norických hřebců v okolí přepražních stanic s místními teplokrevnými klisnami vznikaly velmi dobře využitelné místní rázy koní (např. kůň netolický) spojující mohutnost a sílu chladnokrevných hřebců a temperament a výkonnost domácích teplokrevných klisen (MARŠÁLEK, et al., 2016).

Za další významný mezník můžeme považovat období husitských válek, kdy se české království stalo cílem křížáckých vojsk. V důsledku obchodního embarga okolitých krajin trpělo zpočátku husitské vojsko nedostatkem koní pro jízdu, a tak byli nuceni v maximální možné míře využívat lokálních chovů.

V nastávajícím novověku se začala postupně věnovat určitá pozornost i tomuto zemskému chovu a tím se z dřívější pestré krevní struktury začaly vytvářet domácí rázy. Zvláště ve východních Čechách, kde převládal teplokrevný kůň, to byli proslulí hospodářští koně chrudimští a v jižních Čechách zase tažní koně netoličtí. Ti měli větší podíl krve koní západního typu, jak můžeme posoudit i z typů „husitských koní“. Krev západních koní, specificky norických, sem byla importována (obrázek č. 2) „solnou vltavskou stezkou“ (KONDĚLKA, et al., 2017).

Obrázek č. 2: Karavana soumarů na Solné stezce, rekonstrukce, kresba Jiří Petráček
(zdroj: encyklopedie.ckrumlov.cz)



Norik se choval v Budějovickém kraji a v jižních okresech Prahy od dávných dob, protože zde docházelo k obchodním stykům s norickou oblastí Rakouska. (BÍLEK, 1955).

Koncem 18. století se v Evropě neustále zvyšovala poptávka po koních, a to i k tažným účelům (v dopravě, v průmyslu, v přístavech, v dolech atd.), a tak vznikla četná plemena, plemenné rázy atd. Také požadavky vojenské správy přispívaly k rozšíření chovu koní.

K jeho zvelebení byla proto provedena řada plemenářských opatření, byly zakládány četné, převážně vojenské, hřebčince apod. (**KONDĚLKA, et al., 2017**).

V Ostravském kraji a v nejsevernějších okresech Olomouckého kraje se choval kůň norický. V Netolicích u Vodňan bývaly pořádány trhy s jihočeskými koňmi. Název „kůň netolický“, stejně jako „kůň chrudimský“, byl jen trhovým názvem (**BÍLEK, 1955**).

Ke konci roku 1890 bylo evidováno v Království českém 215 729 koní. V této době došlo k rajonizaci v chovu koní a rozdělení českých zemí na tři chovatelské oblasti s chovem poněkud odlišných typů koní, a to na:

1. Koně norického (okres Krumlov, Budějovice, Trhové Sviny, Kaplice, Nýrsko, Vimperk, Nová Kdyně, Domažlice, část Prachatického).
2. Těžkého koně vozového (okres Strakonice, Hluboká, Vodňany, Netolice, Sušice, Vysoké Mýto, Králův Dvůr, Lanškroun, Rychnov, Hradec Králové, Opočno, Rokytnice, Žamberk, Nové Město nad Metují, část Litomyšlského).
3. Koně jezdeckého a prostředního vozového (ostatní okresy Čech) (**MARŠÁLEK, et al., 2016**).

Využití koní ve vojsku kulminovalo koncem 19. století. Stojí však za zmínku, že ještě v první světové válce bylo využito 1,5 miliónu koní, z nichž bylo usmrceno 60 %. Poslední velká jezdecká bitva byla svedena v roce 1915 (**DUŠEK, 1992**).

Po první světové válce, již byl chov koní silně decimován, došlo k rychlému růstu počtu koní. Nastal tak zlatý věk chladnokrevníka, a to především díky intenzifikaci zemědělství a lesnictví. Ve 30. letech tvořili chladnokrevní koně 60 % z celkového počtu koní u nás. Německá okupace za druhé světové války nebyla pro chov chladnokrevníka tak kritická, jako přechod fronty přes naše území v roce 1945. Ustupující německá armáda odvěkla značný počet koní, a také se mezi nimi rozšířily nákazy (**KŘÍŽAN, 2005**).

Vlivem zejména nedostatku krmiva z předcházejícího suchého období a války byl v letech 1947 až 1948 v Čechách založen a testován chov huculského koně. Ten se však v lesnické praxi v tehdejších pracovních podmínkách, kdy bylo veškeré dříví soustředováno koňmi na relativně velké vzdálenosti, neosvědčil. Jeho menší hmotnost a tím i menší tažná síla byla značným nedostatkem, který nevyvážil jeho přednosti – vytrvalost, pevnou konstituci, dobré nohy, nenáročnost na krmiva a obsluhu. Huculský kůň se osvědčil jen ve specifických lokalitách, ku příkladu v bažinatých nebo v jiných extrémně náročných terénech, především s listnatými dřevinami, vyžadující manipulaci přímo v lesním porostu (**PELC, et al., 1987**).

Vývojem hospodářských poměrů v 50. letech docházelo k postupné mechanizaci tam, kde byli dřív využíváni výlučně koně. Ku příkladu **BÍLEK (1955)** uvedl, že četné úkony, které byli tehdy obstarávané koňmi, měli být mechanizovány, avšak koně nemněli být

úplně nahrazeny v zemědělství, lesnictví a obraně státu, nýbrž měli zůstat nepostradatelným doplňkem mechanizace. Automobily a traktory nebyli považovány jako úplně spolehlivé prostředky, přičemž bylo těžké si představit jejich další technický vývoj a potenciál. Koně vnímal jako doplňující prostředek, který má zabezpečit plynulé fungování tehdejšího hospodářství.

V přechodném období v letech 1956–60 byl chov koní pro pracovní účely postupně orientován na středně těžkého koně, chladnokrevníka, později na koně (obrázek č. 3) norického typu (PELC, et al., 1987).

Obrázek č. 3: Norik rakouský - 1747 Neuwirt Diamant IX nar. 1952, v chovu od 1959 do 1969
(zdroj: chladnokrevnihrebci.webnode.cz)



V následující dekádě se využívání koňské síly ještě snížilo. Koně byli masivně nahrazované mechanismy a jejich využívání se považovalo za zpátečnické a neefektivní. Avšak při práci v lese neprobíhal tento proces tak razantně. V odvozu dříví byly sice koňské potahy nahrazeny nákladními auty, ale v přiblížování dřeva stoupal tento podíl mechanizace pomaleji. V roce 1961 činil 31,3 %, v roce 1970 51,9 % a maxima dosáhl v roce 1981 a to 86,5 %. Původní prognózy, podle nichž měl být kůň zcela nahrazen mechanizačními prostředky již v 70. letech, se tedy nenaplnily. Naopak se ukázalo, že se lesní hospodářství bez koní neobejde (PELC, et al., 1987).

V současnosti celkový stav chovaných koní v České republice mírně stopá ale přibližuje se počtu koní chovaných v okolitých evropských státech, přičemž nelze očekávat další dlouhodobý vzestup. U chladnokrevných plemen koní je patrný postupný pokles stavů s výjimkou slezského norika, u kterého se stavy do roku 2015 mírně zvyšovaly. Zvyšování celkového počtu koní v České republice je způsobeno především nárůstem malých plemen koní nebo nárůstem počtu koní bez původu, kteří představují

vážné nebezpečí pro kvalitu současného chovu u všech plemen koní (**KONDĚLKA, et al., 2017**).

Počet chladnokrevných koní chovaných v České republice ke dni 31.12.2017 se nachází v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Počet koní v České republice ke dni 31.12.2017
(zdroj: schhk.cz)

Počet koní k 31. 12. 2017	
Českomoravský belgický kůň	1 960 ks
Norický kůň	1 403 ks
Slezský norický kůň	1 250 ks

Stále zůstává poměrně velká část lesa, kde bude ještě dlouho kůň v přibližování těžko nahraditelný. Ať už se bude jednat o drobné vlastníky lesa, rozptýlené těžby nebo těžko přístupné terény. Šancí pro koně je i stupňující se tlak na lesní hospodářství ze strany ochrany přírody. S ohledem na ekology a přírodě šetrné technologie má své opodstatnění využití chladnokrevných koní při vyklizování či přibližování vytěženého dříví z lesních porostů ve svažitých a méně přístupných terénech, v chráněných lokalitách, národních parcích apod. Státní lesnická politika klade zásadní důraz na obhospodařování lesů podle zásad trvale udržitelného hospodaření, a proto bude i v budoucnosti hrát rozhodující a nezaměnitelnou úlohu využití chladnokrevných koní v českém lesním hospodářství (**KONDĚLKA, et al., 2017**).

2.1.1 Charakteristika chladnokrevného koně a významná česká plemena

Chladnokrevná plemena odvozují původ od diluviálního západního koně (*Equus robustus stegmanni*), který se výrazně lišil od koní východního typu svou robustní tělesnou stavbou velkého rámce. Nejtypičtějším představitelem těchto diluviálních variant je podle kranilogických znaků kůň norický. Většina těchto plemen byla šlechtěna na výkonnost v tahu (**DUŠEK, et al., 2011**).

U těchto plemen předpokládáme, že jejich fylogenetický původ navazuje na mohutné koně západní. Tyto koně se vyznačují mohutnou stavbou těla, často větším rámcem, někdy se sklonem k lymfatičnosti, ale především klidnějším temperamentem a dobrým charakterem umožňujícím využití těchto koní především pro krokovou práci a tah. Základ současných chladnokrevných plemen v Čechách je tvořen především dvěma plemeny koní, a to koněm norickým a koněm belgickým. Ostatní chladnokrevná plemena byla dovážena vzácně a nedosahovala významu těchto dvou plemen (**MARŠÁLEK, et al., 2016**).

Českomoravský belgický kůň

První belgičtí hřebci byli na Moravu přivezeni v roce 1879. Po roce 1918 byl na celém území ČR zaznamenán nedostatek chladnokrevných plemenných hřebců, který byl řešen jak zvýšeným importem, tak zároveň probíhalo převodné křížení s domácími klisnami. Vliv přírodních podmínek, výživy, vyspělost chovatelů, použití jednotlivých hřebců a kvalita matek se podílely na vytvoření oblastí s různou kvalitou chovu. Mezi nejvyspělejší oblasti patřilo Holešovsko, Zlínsko, Znojemsko a Moravskobudějovicko. V roce 2000 bylo toto plemeno (obrázek č. 4) zařazeno mezi genové zdroje České republiky (**IŠ, 2017**).

Obrázek č. 4: Plemenný hřebec 2955 BOŠAR, nar. 7. 4. 2004
(zdroj: schchk.cz)



Jedná se o plemeno mohutnějšího, poměrně harmonického tažného koně, středního, čtvercového rámce (155-160 cm), s těžší, sušší hlavou s výrazným okem, kratším, silným svalnatým vysoko nasazeným krkem, málo výrazným, širokým kohoutkem, kratší, volnější horní linií, kratší, sráznou svalnatou štěpenou zádí, strmější, delší svalnatou plecí, kratším, hlubokým trupem, silným, kratším lymfatictějším fundamentem s poměrně dobrými kopyty, postojem vpředu často sblíženým, vzadu poměrně pravidelným. Barvou ryzák a hnědák. Je to konstitučně méně tvrdý, poměrně raný kůň s poměrně dobrou mechanikou pohybu v kroku a klusu. Velmi dobrý tahoun, náročnější na podmínky chovu (DUŠEK, et al., 2011).

Norický kůň

Vznikl ve starořímské alpské provincii Noricum. Současný norik (obrázek č. 5) je méně ušlechtilý, poměrně mohutný tažný kůň středního až většího obdélníkového rámce (155–167 cm), s hrubší, těžkou hlavou, krátkým, silným vysoko nasazeným krkem, vyšším, méně výrazným kohoutkem, volnější, delší horní linií, delší, sráznou svalnatější, někdy štěpenou zádí, delší, strmější svalnatou plecí, hlubokou, širokou hrudí, delším, hlubokým trupem, kratším, silným, kostnatým, poměrně suchým fundamentem s dobrými kopyty s tvrdou rohovinou, postojem vpředu často sbíhavým, vzadu často sblíženým v hleznech. Barvou je hnědák, ryzák, vraník a skvrnitý bělouš. Norik je konstitučně tvrdý kůň s relativně dobrou mechanikou pohybu a dobrý tahoun (DUŠEK, et al., 2011).

Je odolný, chodivý, pozdní, dlouhověký, méně hluboký, dlouhý, válcovitěho trupu na delší končetině, ale obvykle s prostornějším pohybem a suššími končetinami a také kvalitnější rohovinou kopytní (MARŠÁLEK, et al., 2016).

Obrázek č. 5: Plemenný hřebec 1334 DIREKT, nar. 8. 4. 2006
(zdroj: schchk.cz)



Slezský norický kůň

Plemeno vzniklo, když byly lokální klisny ve Slezsku původně zušlechtovány norfolkskými hřebci. Klisny z tohoto zušlechtění byly později opakovaně připraveny původními norickými hřebci. Vyhlašovacím křížením norickými plemeny postupně vznikl rás slezského norika. Plemeno má (obrázek č. 6) statut genetického zdroje koní v ČR (DUŠEK, et al., 2011).

Základy chovu byly položeny nejdříve v hornaté části Jeseníků, odtamtud se chov šířil do oblasti opavské a bílovecké. Cílem chovatelů bylo skloubit mohutnost norika s pohyblivostí původních teplokrevných koní (PETRTÝL, et al., 2017).

Slezský norik se vyznačuje dlouhým tělesným rámcem, lehčí ale kompaktní kostrou, s ohledem na původ plemene se projevuje jeho prostornější a výraznější pohyb, má živější temperament a v některých případech méně příznivý charakter, který může souviset s větší náročností na zkušenost ošetřovatelů a kočích. Podobně jako u noriků je zde patrný válcovitý trup, nápadně srázná záď, suché končetiny s výraznými klouby a kvalitní rohovina kopytní. Je ušlechtilejší, jemnější, sušší a s výraznějším prostornějším pohybem (MARŠÁLEK, et al., 2016).

Obrázek č. 6: Plemenný hřelec 2953 REGENT, nar. 24. 2. 2004
(zdroj: schchk.cz)



2.1.2 Využití koní v lesním hospodářství

Kůň pracující v lese nesrovnatelně méně zatěžuje půdu, porost i faunu než těžké mechanizační prostředky. Nedochozí u nich k unikům pohonných a provozních hmot, které jsou na ropní bázi a tím se neznečišťuje půda a spodní vody. Práce vykonávané

v lesním hospodářství pomocí koní mají proto také v dnešní době významné ekonomické a ekologické opodstatnění.

Dá se souhlasit s názorem **PŘÍHODY (2007)**, že v České republice byly, jsou a budou terénní podmínky, kde jediná možná varianta přibližování dříví z výchovných zásahů je použití koní. Prozatím výrobci lesní techniky nevyvinuli plnohodnotnou náhradu živého koně.

Naprosto neškodné technologie těžby a soustřeďování dříví ve výchovných těžbách neexistují, což při více výchovných zásazích za obmýtní dobu vede ke kumulaci škod způsobených na porostu těžební činností (obrázek č. 7), a v konečných důsledcích poklesem tržeb za hnilobou poškozené dříví ke snížení efektivity lesního hospodářství. Je proto evidentně v zájmu vlastníka (správce) lesa, volit takové těžební metody a pracovního postupu, aby výchovným zásahem nevyhnutelně způsobené škody na lesním porostu byly minimální (**SIMANOV, et al., 1999**).

Obrázek č. 7: Poškození lesní půdy těžební technikou, Ždiar – Belianske Tatry, Slovensko 2016
(zdroj: fotoarchiv autorky)



Lesní půdy dělíme na elastické a plastické. Elastické půdy se po přejezdu vracejí do původního stavu, zatímco plastické půdy zůstávají stlačené. Na elastické půdě je plocha nesoucí kolo až dvojnásobná oproti ploše na plastické půdě. Vrstva půdy, kde se vyskytují kořeny pokryté humusovým materiálem, se chová jako elastická. Po porušení horní vrstvy půdy se začne půdní povrch chovat jako plastický a kolový prostředek začne vytvářet s přibývajícím pojezdy hlubší a hlubší koleje (obrázek č 4). Vliv na únosnost půdy má hustota a četnost prokořenění, v bukovém porostu není povrchové prokořenění tak četné a vlivem kolového prostředku vznikají hlubší koleje než ve smrkovém porostu, kde je prokořenění vrchní části půdy hojně (**NERUDA, 2013**).

Soustředování dříví, nebo také primární doprava dříví, je první etapou procesu jeho dopravy. Dopravou dříví se rozumí přemístění dříví od místa těžby až k místu jeho zpracování. Při soustředování je dříví přemísťováno po neupraveném, případně jen částečně upraveném povrchu, nebo vzduchem při vzdušné dopravě, a to od místa těžby na místo odvozu (SIMANOV, et al., 2004).

Způsobů soustředování dříví je poměrně mnoho a lze je rozdělit do skupin podle různých kritérií.

Způsoby soustředování dříví

Podle podílu ruční, resp. animální práce, což je hlavním rozlišovacím znakem soustředování dříví, lze toto rozdělit na základní technologické skupiny:

1. Manuální soustředování dříví – je využita pouze pracovní síla člověka, velmi omezeně použitelná technologie.
2. Gravitační soustředování dříví – zahrnuje historické i používané způsoby dopravy, při kterých je využívána gravitace, jakou jsou ruční spouštění kmenového dříví, sáňkování dříví, spouštění dříví smyky a skluzy.
3. Animální soustředování dříví – zdrojem tažné síly jsou koně, dříve i volí.
4. Mechanizované soustředování dříví – soustředování je prováděno pomocí mechanizačních prostředků. Můžeme jej dále rozdělit na:
 - a. Komplexně mechanizované – též bezúvazkové, je plně mechanizované a proces soustředování je zajištěn bez dotyku lidské ruky, je realizován vyvázečnými soupravami, na které je náklad sestavován hydraulickou rukou, nebo traktory s klešťovými závěsy
 - b. Částečně mechanizované – nebo také úvazkové, při tomto soustředování je nutné zapojení fyzické síly, např. vázání úvazků (NERUDA, 2013).

PORUBA (1989) uvádí, že k renesanci používání koní na práci v lese přispělo několik důležitých momentů. Předně to bylo poznání, že těžké stroje působí na nevhodných, především zamokřených, stanovištích velmi negativně na lesní prostředí – utlačují půdní povrchové vrstvy, poškozují stojící stromy a lesní porost a způsobují značnou půdní erozi. Rovněž nedostatek pohonných hmot a nutnost s nimi šetřit přispěla k novým pohledům na přibližování dříví koňskými potahy – samozřejmě hlavně v předmýtních porostech, na podmáčených půdách nebo chráněných územích a v ochranných pásmech vodních zdrojů, prostě tam, kde je z ekonomických i ochranných důvodů prospěšné a kde zle vhodně využít kombinace animálního přibližování z porostů s mechanizovaným soustředováním dříví traktorem nebo lanovkou.

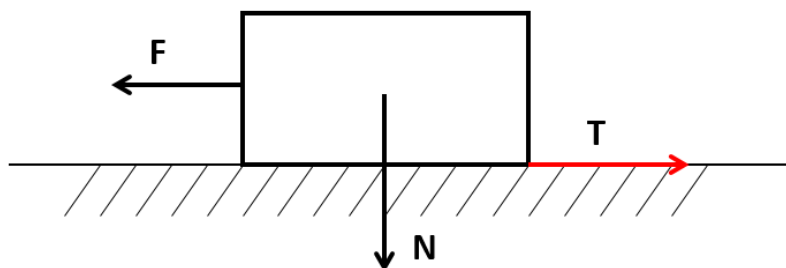
Pro práci v lese je nejvhodnějším plemenem norik, protože svými vlastnostmi – optimálním poměrem tažné síly a pohyblivosti v lesních terénech, skromností, tvrdou

konstitucí a dobrými kopyty – předčí svého konkurenta, chladnokrevného koně chovaného na podkladě belgické krve (KOZEL, 2001).

2.1.3 Tažení břemene a význam tření

Když má být břemeno ležící na vodorovném podkladu (obrázek č. 8) uvedeno do pohybu působením tažné síly F , musí tato síla dosáhnout nejdřív dostatečné velikosti F_0 . Současně se silou F totiž v smykové ploše břemene a podkladu začíná účinkovat na břemeno síla T , která má opačný směr a která, pokud je F menší než F_0 , účinek síly F ruší. Tato síla T se označuje jako tření ve smyku (ILKOVIČ, 1968).

Obrázek č. 8: Tah břemene po vodorovném podkladu (ILKOVIČ, 1968)



Legenda: F – vektor tažní síly, N – vektor tíhy břemene, T – vektor třecí síly

V technické praxi se rozlišuje tření statické T_0 a tření kinematické T . Statické tření působí proti vzniku pohybu, zatímco kinematické působí proti pohybu, když už se těleso vůči podložce pohybuje. Hodnota statického tření je proto větší nebo rovna hodnotě kinematického tření v závislosti na podmínkách ve smykové ploše.

ILKOVIČ (1968) dále uvádí, že maximální hodnota statického tření ve smyku, a i kinematické tření ve smyku jsou úměrné síle N , kterou jsou stýkající se tělesa k sobě přitlačené (rovnice č. 1).

$$T = N \cdot f \quad , [N] \quad (1)$$

kde

N – vektor tíhy břemene

T – vektor třecí síly

f – koeficient kinematického tření

FEYNMANN, et al. (2000) naopak zdůrazňuje, že uvedený lineární vztah je empirickým zjednodušením velice komplexních vztahů na povrchu styčných ploch. Hodnoty součinitele tření se mění v závislosti na stavu jejich znečištění a oxidace a mnohých vnějších fyzikálních a chemických faktorech. V případě, že podložním materiálem je lesní půda, jsou tyto vztahy ještě složitější a interval, ve kterém se hodnoty součinitelů tření pohybují, je ještě větší.

Z těchto důvodů se v zootechnické a lesnické praxi přistoupilo na využití praktického odhadu tažné síly koně, která je daná jako podíl jeho živé hmotnosti. **MATYAŠ (1962)** uvádí, že normální tažní síla koně představuje 1/5 až 1/6 z jeho hmotnosti. Toto vyjádření tažné síly se často udává v kilogramech. Násobením této hodnoty s gravitačním zrychlením podle rovnice 2, dostaneme odhad síly v N.

$$F = \frac{G_k}{5} \cdot g, [N] \quad (2)$$

kde

F – normální tažní síla

G_k – hmotnost koně

g – gravitační zrychlení

Při soustředování dřeva je rozhodující reálná tažná síla, kterou kůň dokáže vyvinout na svahu. Sklon dráhy má výrazný vliv na velikost přepravovaného nákladu. Sínusová složka sklonu svahu působí na břemeno i koně. Při tažení nákladu na svahu kůň utáhne podstatně vyšší hmotnost než na rovině. Naopak používat koně při soustředění dřeva proti svahu je neefektivní (**MESSINGEROVÁ, 1999**).

Tažnou sílu koně na svahu můžeme určit na základě vztahu:

$$F_s = F + G_k \cdot \sin \alpha \cdot g, [N] \quad (3)$$

kde

F_s – tažná síla koně na svahu

F – normální tažná síla

G_k – hmotnost koně

α – sklon svahu (záporná hodnota při pohybu dolů svahem)

g – gravitační zrychlení

2.1.4 Vliv taženého břemene na charakteristiky pohybu

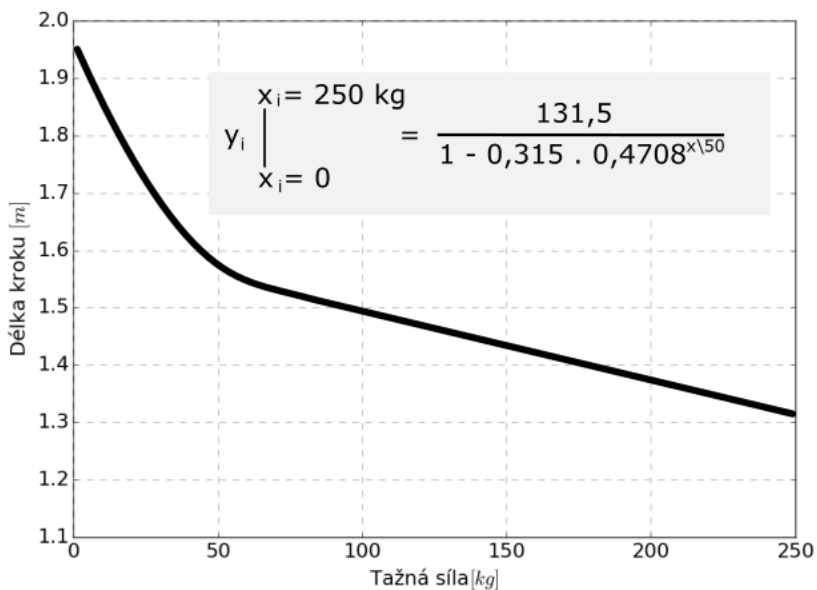
Na mechaniku pohybu koně mají vliv různé faktory. Pracovní zátěž, kterou kůň při tažení břemene musí překonávat, patří mezi fyzikální vnější faktory. S narůstající zátěží roste i vliv na kvalitativní i kvantitativní charakteristiky mechaniky pohybu.

Z hlediska pracovního uplatnění chladnokrevných koní je důležitá znalost změn při různé pracovní obtížnosti. **DUŠEK, et al. (2011)** zjistil, že při zvyšování tažné síly dochází ke zkracování délky kroku (graf č. 1). Tuto závislost vyjádřil exponenciální funkcí (rovnice č. 4). V ní použité symboly jsou koeficienty k označení průběhu křivky. Symbol ρ má zvláštní význam a je hodnotou, ke které se veličina y blíží s rostoucím x za

předpokladu, že děj probíhá beze změny. To však není možné, protože křivka klesne k nule, když organismus narazí na své fyziologické limity.

$$y = \frac{K}{1 + A \cdot \rho^x} \quad (4)$$

Graf č. 1: Vztah zkracování délky kroku při zvyšující se tažné síle v zátěžovém testu ve zkušebních saních (DUŠEK, et al., 2011).

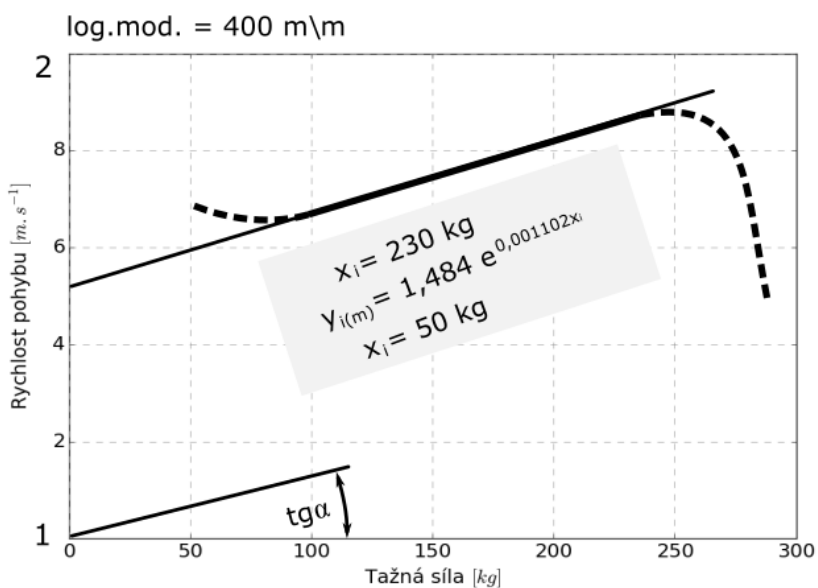


Pokud se kůň táhnoucí břemeno pohybuje po krátké dráze, je možné pozorovat, že se rychlost se zvyšující tažnou silou také zvyšuje (graf č. 2). Při tahu na delší vzdálenosti je tato závislost klesající. Hodnoty proměnlivosti délky kroku a rychlosti chodu při zvyšující se zátěži jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Hodnocení proměnlivosti délky kroku a rychlosti při zvyšující se tažné síle v pokusných saních tažených na tvrdém půdním podkladu (DUŠEK, et al., 2011).

Tažná síla [kg]	Délka kroku [cm]		Tažná síla [kg]	Rychlost pohybu [m.s-1]	
	naměřená	Vypočítaná		naměřená	vypočítaná
0	1,72	1,72	95	1,65	1,65
95	1,51	1,51	140	1,75	1,74
135	1,49	1,47	185	1,82	1,82
176	1,46	1,44	230	1,91	1,91
216	1,4	1,41			

Graf č. 2: Zvyšování rychlosti pohybu při zvyšující se tažné síle v zátěžovém testu v saních (DUŠEK, et al., 2011).

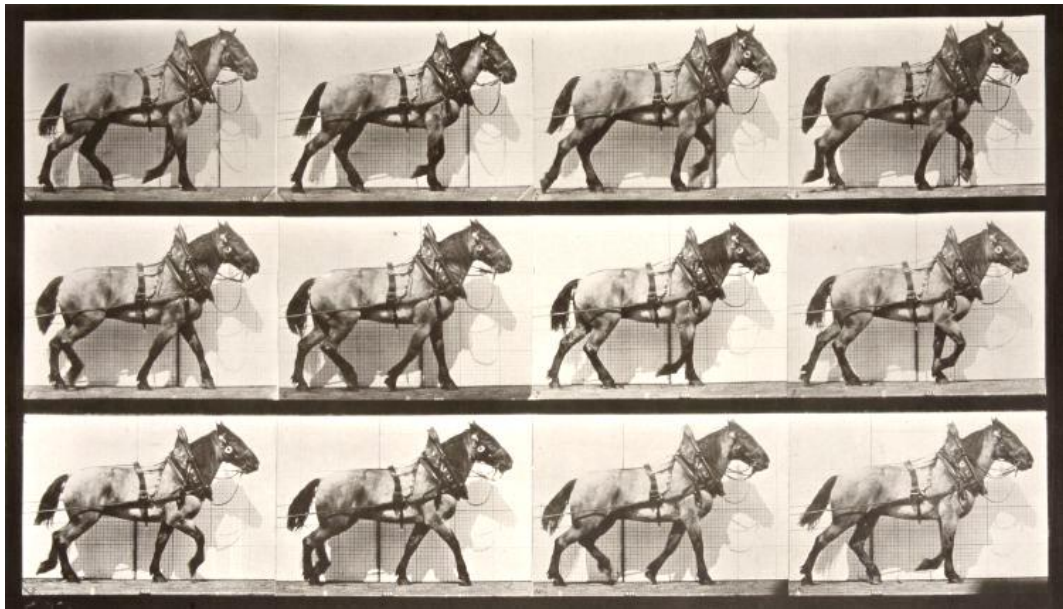


Pro rovnici čáry v rozhodné oblasti tažné síly (graf č. 2) lze použít v rozsahu výsledků lineární i exponenciální funkci. I když není mezi lineární a exponenciální interpretací funkce zřetelný rozdíl je vhodnější použít funkci exponenciální, která, i když je velmi plochá, má přece jen určitou velkou křivost a navazuje tak lépe na počáteční i koncovou část (DUŠEK, et al., 2011).

2.2 Moderní kinematická analýza mechaniky pohybu koně

Za zakladatele kinematické analýzy lze považovat britského fotografa a průkopníka **MUYBRIDGE (1957)**, který vyvinul experimentální metodu fotografování pohybu zvířat (obrázek č. 9), při vysokých rychlostech. Jeho fotografie, které začal publikovat v roce 1877, položily základ vědecké metody, kterou v pozměněné podobě užívají vědci dodnes. Svoji metodu vyvinul ještě před vynalezením kamery.

Obrázek č. 9: Historická fotografie s názvem „Animal Locomotion Plate 567, Horse Walking“
(zdroj: huxleyparlour.com)



Za renesanci a počátek moderního výzkumu se ve světě považuje práce **FREDERICSONA, et al. (1970)**. Na počátku 70. let minulého století publikoval zprávu, která obsahovala kvantitativní analýzu vzorů pohybu kopyt koně při užití vysokorychlostní kamery. Krátce na to byla publikována nová metoda výzkumu koňského pohybu (**FREDERICSON, et al., 1971**), při které využívali k analýze vysokorychlostního zařízení (s počten kolem 500 obrázků za vteřinu) užívaného původně při získání dat v leteckém průmyslu. Právě kolem Fredericsona se ve Švédsku zformovala početná skupina výzkumníků, kteří se intenzivně věnovali analýze pohybu koně.

Další významná skupina vědců, která se zabývala v 70. letech výzkumem pohybu koně, se zformovala ve Vídni kolem Knezevice. Ten sepsal disertační práci, která se věnovala biomechanice kopyta a rozložení tlaku při kontaktu se zemí. Vídeňská skupina vědců pravidelně od té doby zveřejňovala články přispívající v oboru kinematické a taky dynamické analýze koní (**KNEZEVIC, et al., 1978**). Výzkum urychlilo vybudování nového zařízení (obrázek č. 10), které zahrnovalo pohyblivý pás a softvérový systém na zachycení 3D pohybu v prostoru. Pozornost se následně zaměřila na výzkum pohybu

koňského hřbetu, přičemž bylo využito rozličných technik jako ku příkladu elektromyografie (LICKA, et al., 2001).

Obrázek č. 10: Optoelektronický systém kombinovaný s běžícím pásem pro koně v laboratořích Vídeňské univerzity (GRÖSEL, 2011)



V Holandsku se výzkumná skupina zabývající se biomechanikou formovala v průběhu 70. let na univerzitě v Utrechtu. Ta navazovala na spolupráci odborníků z oddělení veterinární anatomie a oddělení všeobecné chirurgie. Mezi prvními, kteří se zaměřili na zkoumání reakčních sil kopyt se zemí patří **MERKENS, et al. (1986)** a **SCHAMHARDT, et al. (1987)**. Kinematická analýza byla k jejich výzkumu přidána až později (**VAN WEEREN, et al., 1990a**). Vývoj změn v chodu během růstu studoval v tomto kolektivu **BACK, et al. (1994)**. Významně k výzkumu přispěl také německý veterinář **BUCHNER, et al. (1996)**, který v Utrechtu studoval kinematiku symetrie chodu. Zároveň s touto prací sepsal významné pojednání na téma určení těžiště různých segmentů koňského těla (**BUCHNER, et al., 1997**).

Mezi nejvýznamnější současné autority v oboru patří ve Spojených státech Claytonová. Ta se zpočátku zaměřovala na kinematickou analýzu patologických stavů pohybového aparátu pomocí vysokorychlostní analýzy (**CLAYTON 1986, 1987**). Později se zaměřila na základní výzkum v oblasti kinematické analýzy vrcholových sportovních koní (**CLAYTON 1993, 1994, 1997**).

V daném oboru působilo a přispělo velké množství významných vědců. Dnes se dá jen s politováním konstatovat, že práce zpočátku 60. let, které v Československu vykonal **DUŠEK, et al. (1963, 1970)**, zůstali světem zcela nepovšimnuty. Jednak za to může izolace východního bloku, jednak jazyk publikací – jímž byla čeština.

Na jeho práci v českých podmínkách navázal **JELÍNEK, et al. (1999)**, který pracoval na zdokonalení metody získávání dat a jejich vyhodnocení pomocí vylepšených elektronických záznamových zařízení. Navzdory zajímavým výsledkům i tato práce nebyla v praxi uplatněna.

2.2.1 Metody kinematické analýzy

Při kinematické analýze se měří geometrické vlastnosti pohybu bez uvažování sil, které tento pohyb způsobují. V současnosti se velká část těchto analýz ve výzkumu vykonává využíváním optoelektrických systémů. Ty už v sobě mají integrované potřebné vybavení a počítačové programy (**CLAYTON, et al., 2013**).

Tyto systémy poskytují velmi přesné údaje o pohybu objektu měřeném v prostoru. Jejich nevýhodou je vysoká náročnost obsluhy a vysoká pořizovací cena, protože se v zásadě jedná o vybudování jednoúčelové sofistikované laboratoře.

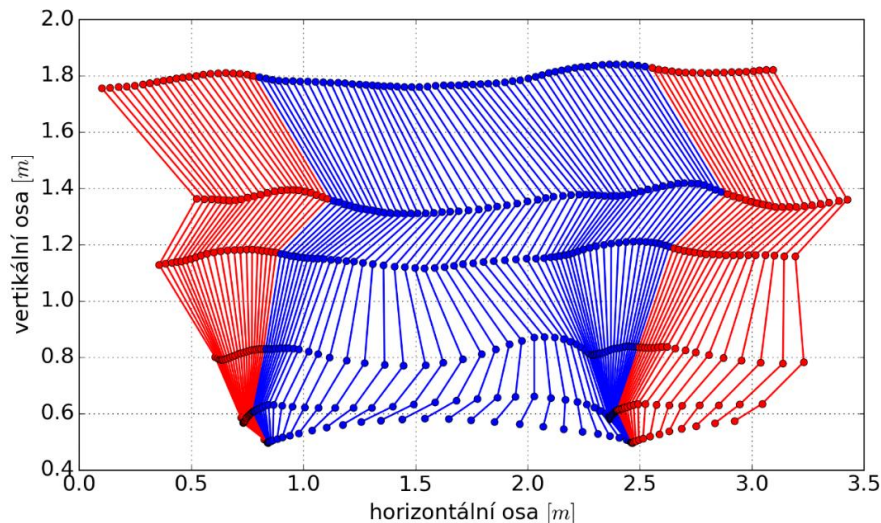
Naproti tomu kinematická analýza vyhotovená z videozáznamu se svojí přesností s optoelektronickou metodou nemůže rovnat, jde však o metodu, která je v dnešní době dobře dostupná, poměrně lehká aplikovatelná a finančně nenáročná (**PISCOVÁ MANDOVÁ, 2017**). Při současné úrovni výpočetní techniky se proto v běžných podmínkách zootechnické praxe jeví tato metoda jako velmi vhodná.

Vyhodnocení měření koně z videozáznamu *in vivo* poskytuje velké množství údajů, které nemusí být vždy konzistentní. Je nevyhnutelné vyhotovit určitý minimální počet opakovaných záznamů korektního chodu.

DREVEMO, et al. (1980a, 1980b) uvádí, že u zdravého koně jsou kinematické a dynamické parametry poměrně stabilní a proto analýza až pěti korektních záznamů je dostatečná k získání reprezentativních hodnot. Střední hodnota je poté použita při vyhodnocení dané končetiny konkrétního koně.

Kvalitativní vlastnosti chodu, které se hodnotí vizuálně, hodnotí kinematická analýza pomocí vyhodnocení časových, prostorových a úhlových naměřených údajů. Vizualizací kinematických dat je možné vytvářet pohybové diagramy (graf č. 3).

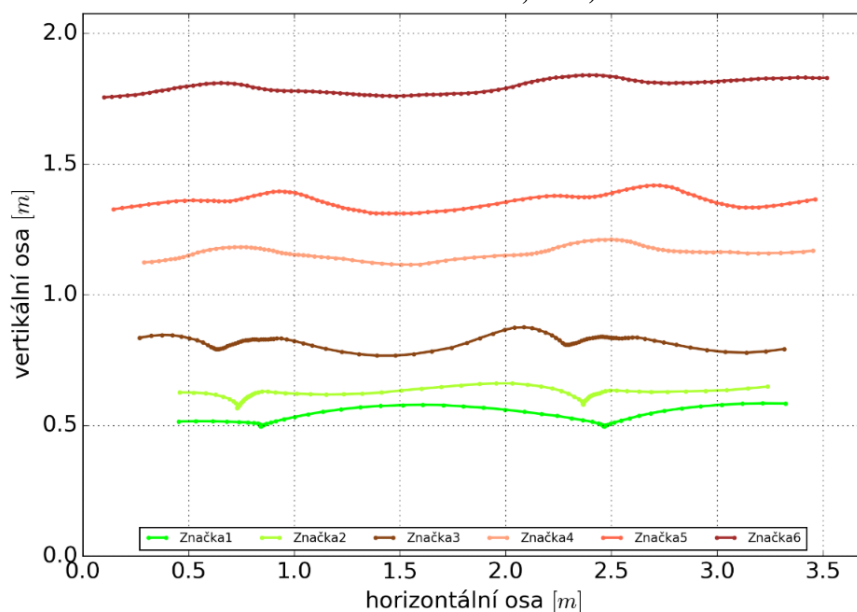
Graf č. 3: Záznam jednotlivých poloh hrudní končetiny v rovině kamery v kroku (PISCOVÁ MANDOVÁ, 2017)



Legenda: červeně jsou vyznačeny polohy mimo a modře polohy patřící vně sledovaného pohybového cyklu hrudní končetiny.

Spojením okamžitých poloh patřících k těm samým sledovaným bodům v různých časových momentech vznikají trajektorie pohybu (graf č. 4). Takto vzniklé křivky je možné vyhodnocovat a porovnávat statistickými metodami. Taktéž je možné srovnávat diskrétní hodnoty, které reprezentují významné události pohybového cyklu, jako je například došlápnutí kopyta jako začátek fáze podpěru.

Graf č. 4: Roztřízené a vyhlazené trajektorie sledovacích světelných značek v kroku (PISCOVÁ MANDOVÁ, 2017)



Legenda: značka 1 – kopyto, značka 2 – spěnkový kloub, značka 3 – zápěstní kloub, značka 4 – ramenní kloub, značka 5 – loketní kloub, značka 6 – lopatka.

V současnosti se nejčastěji získávají údaje pro kinematickou analýzu za pomoci videooptických metod, které zahrnují použití pasivních nebo aktivních sledovacích značek, případně metod, které tyto značky nevyžadují.

- Pasivní sledovací značky bývávají zhotoveny z reflexních materiálů, které intenzivně odrážejí světlo do objektivu kamery a tím na tmavším povrchu vytvářejí dobře sledovatelné světelné body.
- Aktivní sledovací značky jsou zhotoveny nejčastěji použitím vnitřního zdroje světla, například led diodami.
- Beze značkové systémy fungují na principu rozeznávání tvarů a vzorů v obrazu pomocí sofistikovaných programových nástrojů, které tak sledují objekt zájmu (CLAYTON, et al., 2013).

Sledovací značky jsou většinou v pokročilých analytických systémech automaticky vyhledávané v obrazu a následně tříděné.

Optické metody bývají často omezené použitím kamery, která zachytává obraz v rovině před objektivem. Při analýze v prostoru je tudíž potřebné použít větší počet kamer, které jsou rozmístěny kolem pozorovaného objektu. Tyto požadavky omezují získání dat pro přesnou 3D analýzu do laboratorních podmínek za souběžného užití běžícího pásu (CLAYTON, et al., 2013).

Takto získané údaje jsou zpracovávány v postupných krocích, například jak je popsal FIGUEROA, et al. (2003).

- extrakce dat s videozáznamu
- třídění dat
- vyhlazení datových souborů
- vyhodnocení křivek
- interpretace

2.2.2 Sledovací značky

Většina systémů, které se užívají pro analýzu pohybu fungují na principu sledování značek, které jsou přichyceny na kůži nebo fixované na kost sledovaného objektu. Pro analýzu v rovině se obvykle používají sledovací značky s průměrem 1–3 cm. Značky s větším průměrem se užívají v případě nižšího rozlišení videokamery (SCHAMHARDT, et al., 1993).

Pro analýzu v prostoru se používá větší množství videokamer, díky tomu se dá pozice sledovací značky v prostoru extrapolovat ve třech rozměrech. Často se užívají sférické nebo polosférické reflexní značky, které se dají dobře snímat z více úhlů. Průměr těchto značek by měl odpovídat rozlišení použitých videokamer (CLAYTON, et al., 2013).

Použití sledovacích značek, které jsou fixované na kůži koně, může vést k problémům s upevněním. Znečištění srsti, pocení během zvýšené zátěže, ale i nízká teplota prostředí, můžou negativně ovlivnit adhezi fixačního prostředku (**PISCOVÁ MANDOVÁ, 2017**).

Sledovací značky se umísťují v zásadě na významná místa dané kosterní soustavou. **WELLER, et al. (2006)** uvádí, že nesprávné umístění sledovacích značek bývá jedním z nejčastějších důvodů chybných výsledků kinematické analýzy.

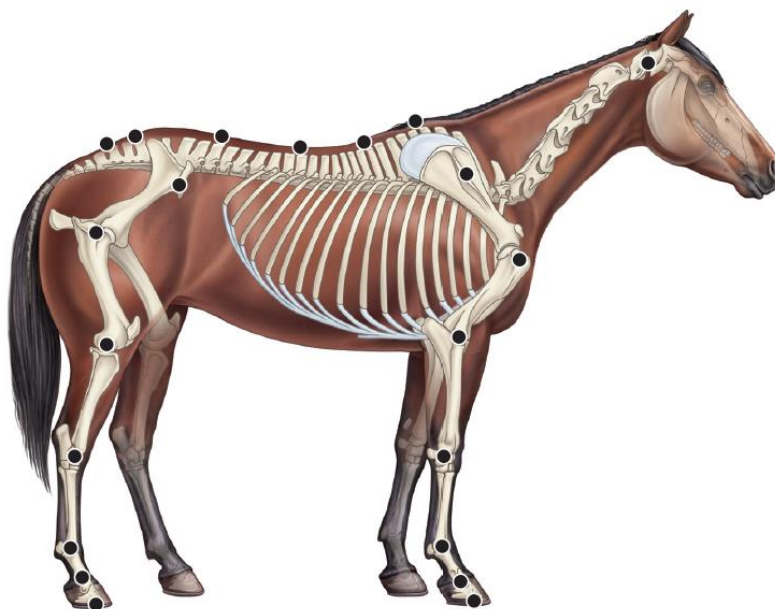
Dalším problémem při užívání sledovacích značek fixovaných na pokožku je relativní pohyb pokožky vůči kosterní soustavě, která je pod ní. Tento relativní pohyb může významným způsobem zkreslovat naměřené výsledky (**VAN WEEREN, et al., 1990b**). Korekcí těchto vlivů se zabýval ve své práci ku příkladu **BACK, et al. (1995)**.

Korekce tohoto pohybu nemusí být nutná v případě, že se vykonává srovnávací analýza opakovanými měřeními. V oblasti základního biomechanického výzkumu je však nevyhnutelná (**VAN WEEREN, et al., 1992**).

Sledovací značky fixované ke kosti nejsou z pohledu zootechnických aplikací zajímavé, protože dochází ke zranění sledovaného koně.

Místa, kam se sledovací značky umísťují, se vybírají dle cílů, kterých má daná analýza dosáhnout. Výpočet zaúhlení kloubů mezi jednotlivými segmenty končetiny v rovině vyžaduje umístění jedné značky do sledovaného kloubu a alespoň po jedné značce na přilehlé segmenty. Obrázek č. 11 zobrazuje rozmístění sledovacích značek v sagitální rovině vhodných k výpočtu zaúhlení kloubů hrudní a pánevní končetiny (**LEACH, et al., 1988**).

Obrázek č. 11: Černé tečky vyznačují pozice sledovacích značek běžně používaných ke kinematické analýze v sagitální rovině koně (**CLAYTON, et al., 2013**).



2.2.3 Fáze kroku a segmentace záznamu

Analýza jakéhokoli opakujícího se pohybu vyžaduje, aby byl tento souvislý pohyb rozdělen na dobře definované cykly.

V případě lokomoce koní rozumíme chodu jako charakteristickému vzorci koordinace končetin, který je rozeznatelný dle následnosti a časování jednotlivých končetin (CLAYTON, 2004). Pohybovým cyklem končetiny je tedy periodický pohyb, který končetina vykonává mezi dvěma totožnými a po sobě následujícími fázemi.

STACHOVÁ (2002a, 2002b) dělí pohybový cyklus, který vykonávají končetiny během jednoho kroku na dvě fáze a čtyři subfáze:

Fáze kmitu – kopyto koně není v kontaktu se zemí. Fáze začíná ve chvíli, kdy kopyto opustí zem (odraz), potom opíše různě dlouhý a vysoký oblouk a opět se dotkne země. Tato fáze má dvě subfáze: subfáze akcelerace (zvedání končetiny) a subfáze decelerace (pokládání končetiny na zem).

Fáze podpěru – začíná ve chvíli, kdy se kopyto dotkne země a končí ve chvíli, kdy ji opustí. Tato fáze má rovněž dvě subfáze: subfáze vlastní podpěru, která začíná dopadnutím kopyta na zem (tzv. první kontakt se zemí), pokračuje nárazem a došlápnutím. Tato subfáze končí ve chvíli, kdy se končetina ocitá kolmo pod tělem. Na ní navazuje subfáze posunu, která končí zvednutím kopyta ze země. Chvíli před zvednutím kopyta rozeznáváme tzv. bod zlomu, kdy se začnou zvedat patky ze země, a kopyto se překlápí přes špičku, která je ještě stále na zemi.

Zvlášť se pak definuje fáze vznosu, kdy se ve cvalu nedotýká země žádné kopyto.

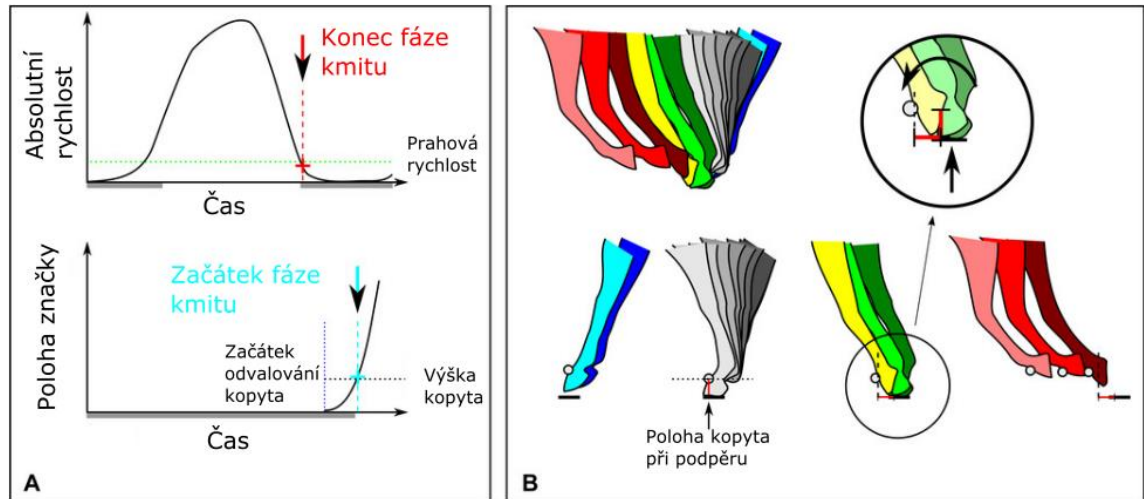
Při analýze dat, získaných pomocí dynamických metod, je možné na základě záznamů z akcelerometrů nebo sil z měřících podložek, přímo určit časové okamžiky, kdy se sledová končetina dotkne země, nebo je ze země zvednuta (SCHAMHARDT, et al., 1987). Jiným příkladem přímého určení těchto časových údajů je využití elektronického přístrojového vybavení fixovaného na chodidlové části kopyta dle JELÍNKY, et al. (1999).

Určení těchto časových okamžiků ze záznamů pořízených videografickými metodami je poněkud obtížnější. Této problematice se ve své práci věnovala kupříkladu STARKE, et al. (2015), která navrhl, jako jednu z možností, využití prahové rychlosti při analýze absolutní rychlosti (rovnice č. 5) pohybu sledovací značky umístěné na kopytě sledované končetiny (obrázek č. 12).

$$v_{abs} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad , [m \cdot s^{-1}] \quad (5)$$

Porovnáním výsledků s dynamickými metodami stanovila optimální hodnotu prahové rychlosti na $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pro krok a klus.

Obrázek č. 12: Detekce začátku a konce fáze podpěru na základě stanovení prahové absolutní rychlosti sledovací značky umístěné na kopytě koně (STARKE, et al., 2015).



Legenda: A – Princip stanovení konce fáze podpěru (rudě) a začátku fáze kmitu (modře) při stanovení prahové absolutní rychlosti a prahové hodnoty posunutí dané výškou kopyta, B – stanovení polohy a výšky kopyta a segmentace pohybu na jednotlivé fáze: (modře) fáze kmitu – decelerace, (sivě) fáze podpěru, (zeleně) subfáze posunu – rotace kopyta, (rudě) fáze kmitu – akcelerace

2.2.4 Zpracování a úprava dat

Prostor, ve kterém se uskutečňuje získávání záznamu pro kinematickou analýzu v sagitální rovině musí být dobře vyměřen a kůň se v něm musí pohybovat po předem vymezené dráze. V záběru kamery musejí být umístěné kalibrační pomůcky, díky kterým bude možné vykonat propočít rozměrů a určit svislý směr (CLAYTON, et al., 2013).

Přesnost, s jakou je tento kalibrační prostor připraven přímo ovlivňuje přesnost a kvalitu získaných údajů pro analýzu (DELUZIO, et al., 1993).

Pro měření v sagitální rovině je dostačující umístění závaží (určujícího svislý směr) do záběru kamery a fixace lineárního měřidla na postroj koně.

CLAYTON (2004) upozorňuje na význam vzorkovací frekvence kamery, která by měla mít dostatečně vysokou hodnotu, aby bylo možné zachytit všechny významné okamžiky pohybu, který má být analyzován.

Údaje o polohách sledovacích značek získaných z videozáznamu vykazují drobné odchylky, které je možno pokládat za šum v signálu. Při odvození rychlosti a zrychlení z těchto údajů však odchylky prudce narůstají a znehodnocují měření. Odstranění těchto vlivů se dá dosáhnout dvěma způsoby:

- **Vyhazením dat** průměrováním po sobě následujících hodnot a jejich aproximací spojitými křivkami
- **Využitím frekvenční transformace dat** a aplikací pásmových filtrů (CLAYTON, et al., 2013).

3. Cíl práce

Mechanika pohybu je do současnosti u chladnokrevných koní posuzována především na základě subjektivního hodnocení, které probíhá jako součást zkoušek výkonnosti. Tyto pohybové vlastnosti jsou velice důležité pro práci, kterou vykonávají. U jezdeckých koní je již tato problematika studována a výsledky jsou úspěšně aplikovány v praxi. Práce v tahu nebyla tímto způsobem dosud dostatečně zkoumána. Tyto poznatky by však mohly mít velký význam pro objektivizaci hodnocení koní v tahu, jejich uplatnění, selekci a následnou reprodukci. Rovněž by tyto výsledky mohly včas poukázat na odchylky v pohybu a odhalit tak diagnózy zranění a onemocnění.

Cílem práce je objektivně posoudit změny mechaniky pohybu koní v tahu a zjistit hodnoty kvantitativních charakteristik pohybu (délky kroku, rychlosti kroku a výšky akce). Dále navrhnout experiment s využitím videografické kinematické analýzy, vyhodnotit naměřená data a na základě výsledků doporučit opatření pro praxi.

4. Materiál a metodika

Pro vyhodnocení změn mechaniky pohybu chladnokrevného koně pod zvyšující se zátěží v tahu byl připraven experiment a byly vyhotoveny videozáznamy (ve dnech 7. 7. a 11. 8. 2018) v areálu statku Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. K měření byly kromě chladnokrevné kobyly také zapůjčeny saně a postroje pro tažení břemene z inventáře Katedry zootechnických věd.

4.1 Charakteristika objektu měření

Klisna Sasanka s hmotností 952 kg (obrázek č. 13) s evidenčním číslem 72/484 patří do Hlavní plemenné knihy klisen plemene Slezský norický kůň. Byla narozena 11. 7. 2000 a představuje genetický zdroj pro dané plemeno. Je hnědé barvy a její základní míry jsou: kohoutková výška pásková 173 cm, kohoutková výška hůlková 162 cm, obvod hrudi 200 cm, obvod holeně 23,70 cm.

Otec: 2691 Streimur (1994)

Matka: 69/688 Ula (1991) po Gonet (1985)

Obrázek č. 13: Klisna Sasanka s reflexními značkami v průběhu měření

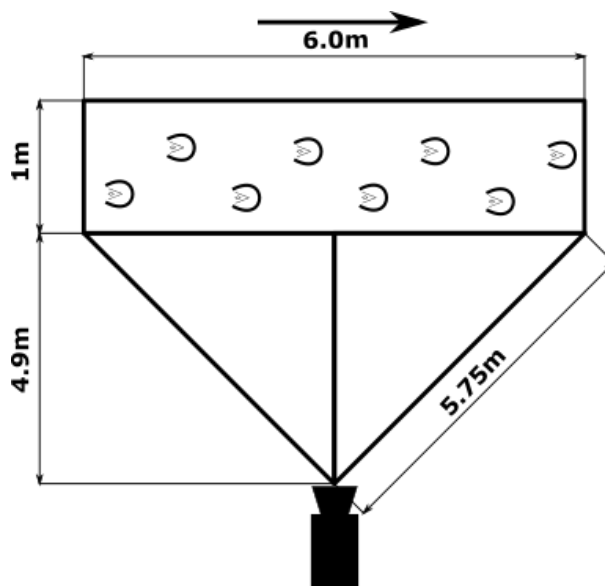


4.2 Příprava a průběh měření

Pro měření byla použita upravená metoda podle **PISCOVÉ MANDOVÉ (2017)**. Vzhledem ke komplexnosti současného měření přední a zadní končetiny a případného překrývání jejich drah, muselo být upuštěno od užití světelných sledovacích značek. Tyto byly nahrazeny reflexními samolepícími body. Tato úprava však zapříčinila velice pracné manuální třídění bodů v jednotlivých snímcích záznamu.

Pro potřeby měření byl vytyčen na dlouhé straně kryté jízdrny statku kalibrovaný prostor podle obrázku č. 14, ve kterém byl umístěný stativ s videokamerou ve výšce 1,55m SONY HDR – PJ 620/BC, která je schopná zachytit 50 snímků za vteřinu při plném HD rozlišení (1920 x 1080 bodů). Do záběru videokamery bylo umístěné závaží k definování svislého směru.

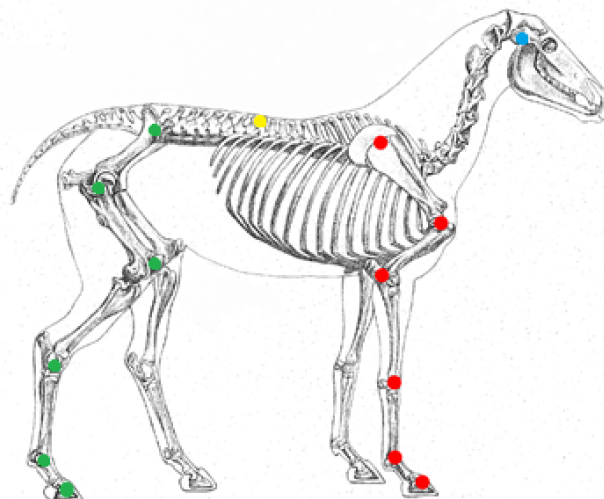
Obrázek č. 14: Schématický nákres místa prvního měření ze dne 7. 7. 2018 a umístění videokamery (pohled shora, šipka představuje směr pohybu koně během pořizování záznamu).



Kůň byl před vlastním měřením očištěn, opohybován a řádně postrojen. Poté byly na čistého koně aplikované reflexní značky. Ty sloužily k identifikaci významných bodů na těle. Dále se na koně umístilo měřidlo ke stanovení konstanty pro počítání rozměrů. Poté kůň několikrát prošel dráhou bez břemena, pouze v kroku pro získání referenčních hodnot při nulové zátěži. Potom byly ke koni připojeny saně o hmotnosti 300 kg a variabilní zátěží. Mezi koněm a saněmi bylo umístěno měřicí zařízení pro odhad tažné síly. Takto nastrojený kůň potom procházel po vyznačené dráze před objektivem kamery. Zátěž na saních se postupně zvyšovala.

Pozice a popis sledovacích značek je znázorněn na obrázku č. 15 a vychází ze standardního umístění kožních značek podle CLAYTONOVÉ, et al. (2013), avšak s přihlédnutím k rozlišovacím možnostem použité kamery a nastavených kritérií třídícího algoritmu.

Obrázek č. 15: Umístění sledovacích značek na významných bodech koňského těla při měření. Sledovací značky jsou barevně rozlišené až při následném manuálním zpracování rozfázovaných záběrů. (Upraveno z *The Horse: Anatomy plates for artists* by Vinciana)



Kůň byl veden na ruce do záběru kamery v kroku bez zátěže nebo v zápřahu se saněmi. Požadavkem přitom bylo vyhotovit alespoň dva korektní záznamy se stejnou zátěží, kde by byli kompletně zachyceny minimálně tři kroky hrudní a pánevní končetiny. Předváděč se snaží koně předvést v co možná nejuvolnějším, plynulém a pravidelném chodu.

4.3 Zpracování naměřených dat

Získané videozáznamy byly následně zpracovány pomocí jednoduchých operací napsaných v programu PYTHON 2.7 (KUCHLING, 2010), který byl rozšířen o knihovnu OPEN CV 3.0 (MALLICK, 2014) pro práci s videem. Tyto na sebe navazující programy a skripta byli metodicky ověřeny pro podmínky účelového zařízení PISCOVOU MANDOVOU (2017). Pro současné sledování pohybu hlavy, zad, hrudní a pánevní končetiny v sagitální rovině se upustilo od užití světelných sledovacích značek a místo toho byly využity lepicí reflexní body. Barevné rozlišení sledovaných skupin bylo vykonáno manuálně editací rozfázovaných záběrů. Až poté byly aplikovány extrakční a třídící algoritmy, které následně po barevné filtraci obrázků zpracovávaly po sobě jednotlivé skupiny. Další postupnost kroků byla sestavené standardně dle FIGUEROA (2003) tak, jak byly popsány v kapitole 2.2.1 literárního přehledu.

Pro propočet vzdáleností z bodů obrazu kamery byly určeny pomocí kalibračních pomůcek následující konstanty:

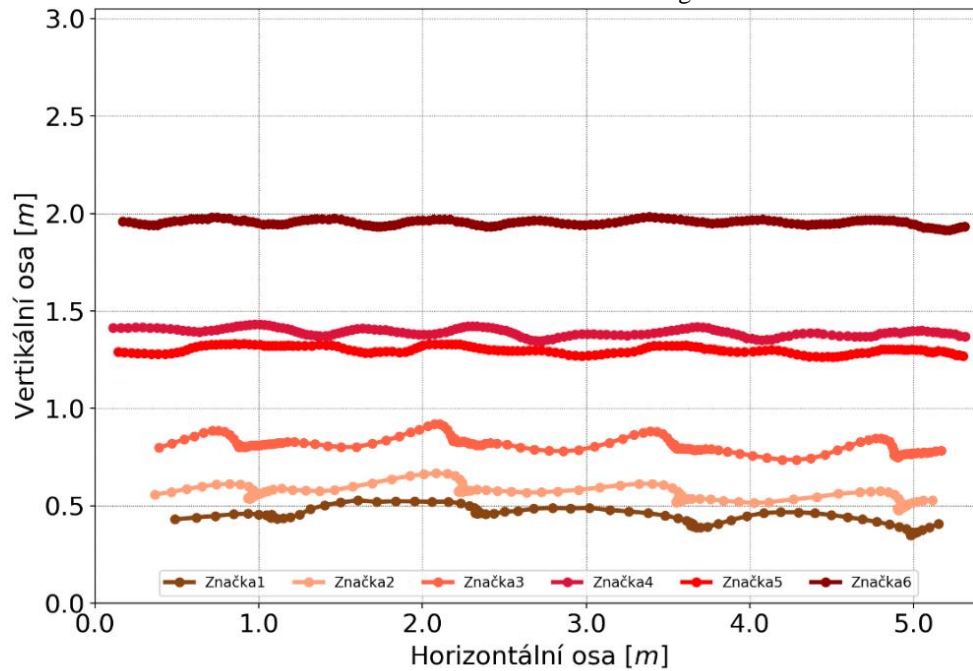
- Sklon svislé osy obrazu kamery a vertikálního směru ($0,56^\circ$)
- Konstanta pro propočet rozměrů (354 bodů = 1 m)

5. Výsledky a diskuze

K vyhodnocení bylo zpracováno 2 377 snímků z 10 získaných korektních chodů, bez zátěže a při měnící se hmotnosti taženého břemene (0 - 500 kg).

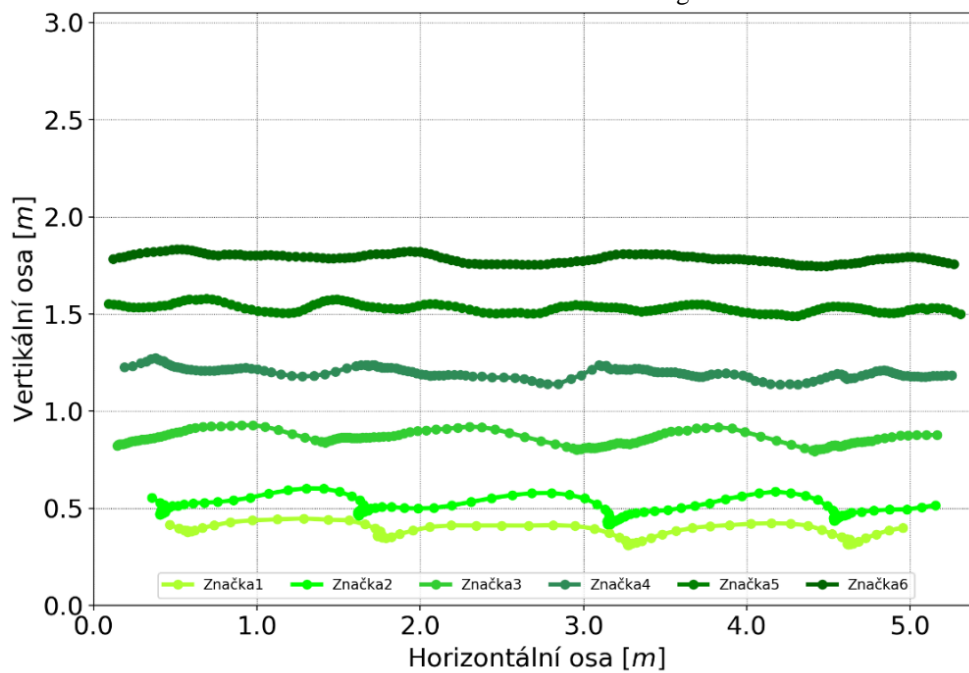
Získaná data byla následně propočtena, vyhlazena a interpolována. Takto získané křivky představují trajektorie, po kterých se v rovině kamery pohybovaly sledovací značky (grafy č. 5, 6 a 7).

Graf č. 5: Roztřízené a vyhlazené trajektorie sledovacích světelných značek hrudní končetiny při hmotnosti břemene 300 kg.



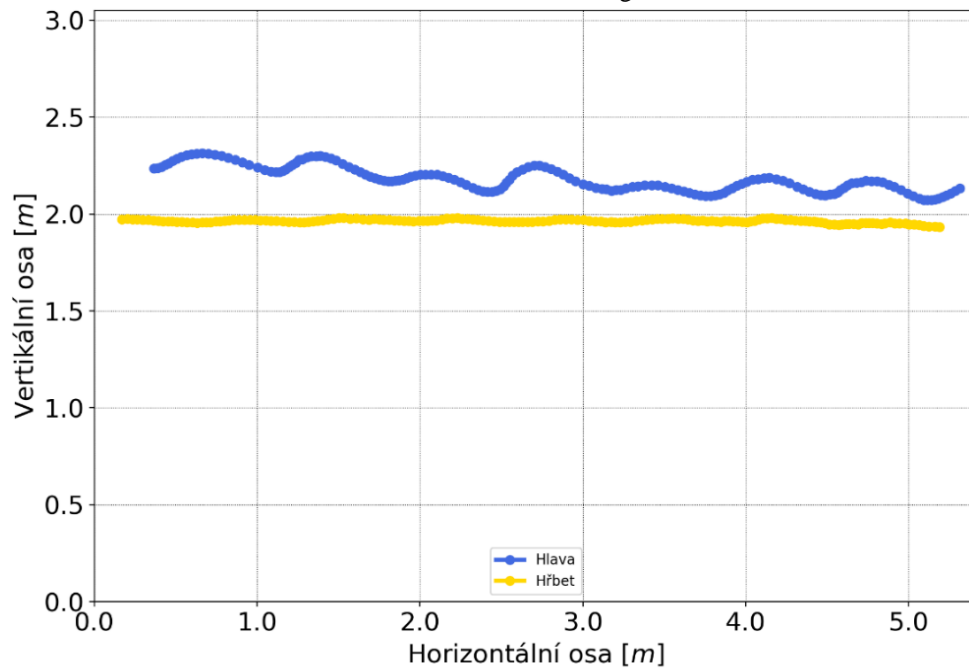
Legenda: značka 1 – kopyto, značka 2 – spěnkový kloub, značka 3 – zápěstní kloub, značka 4 – loketní kloub, značka 5 – ramenní kloub, značka 6 – lopatka

Graf č. 6: Roztřízené a vyhlazené trajektorie sledovacích světelných značek pánevní končetiny při hmotnosti břemene 300 kg.



Legenda: značka 1 – kopyto, značka 2 – spěnkový kloub, značka 3 – hlezno, značka 4 – kolenní kloub, značka 5 – kyčelní kloub, značka 6 –kyčelní hrbol

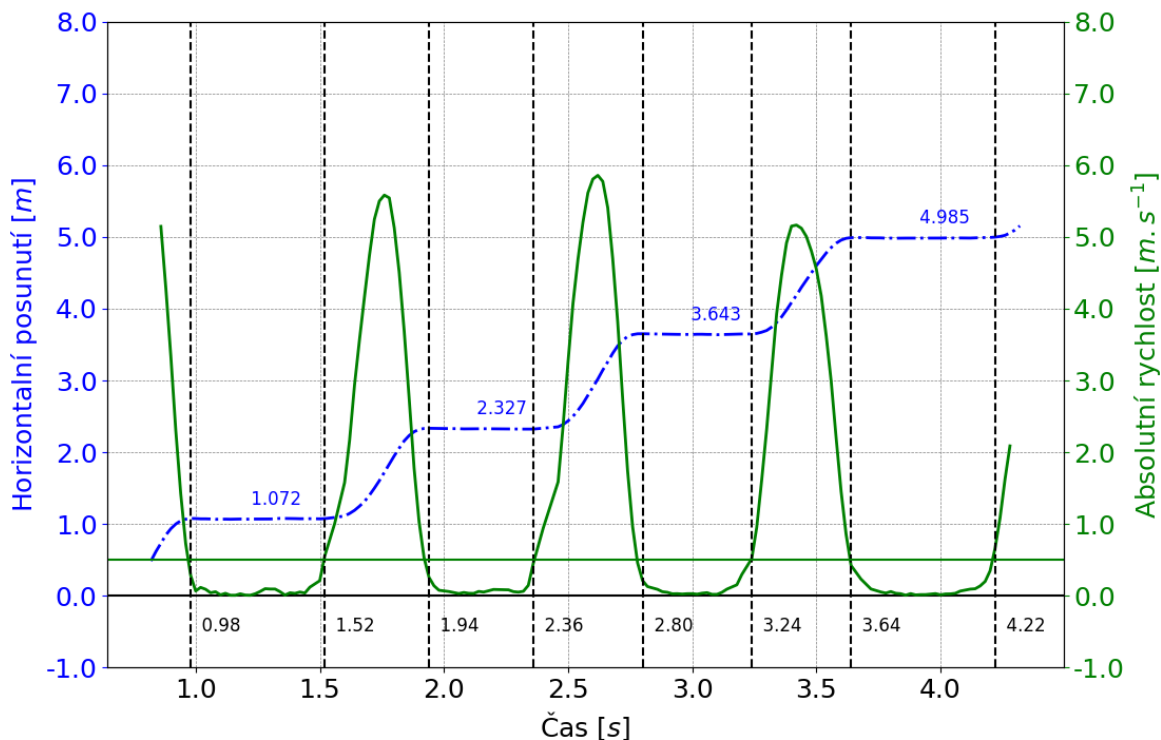
Graf č. 7: Vyhlazené trajektorie sledovacích světelných značek na hřbetu a hlavě při hmotnosti břemene 300 kg.



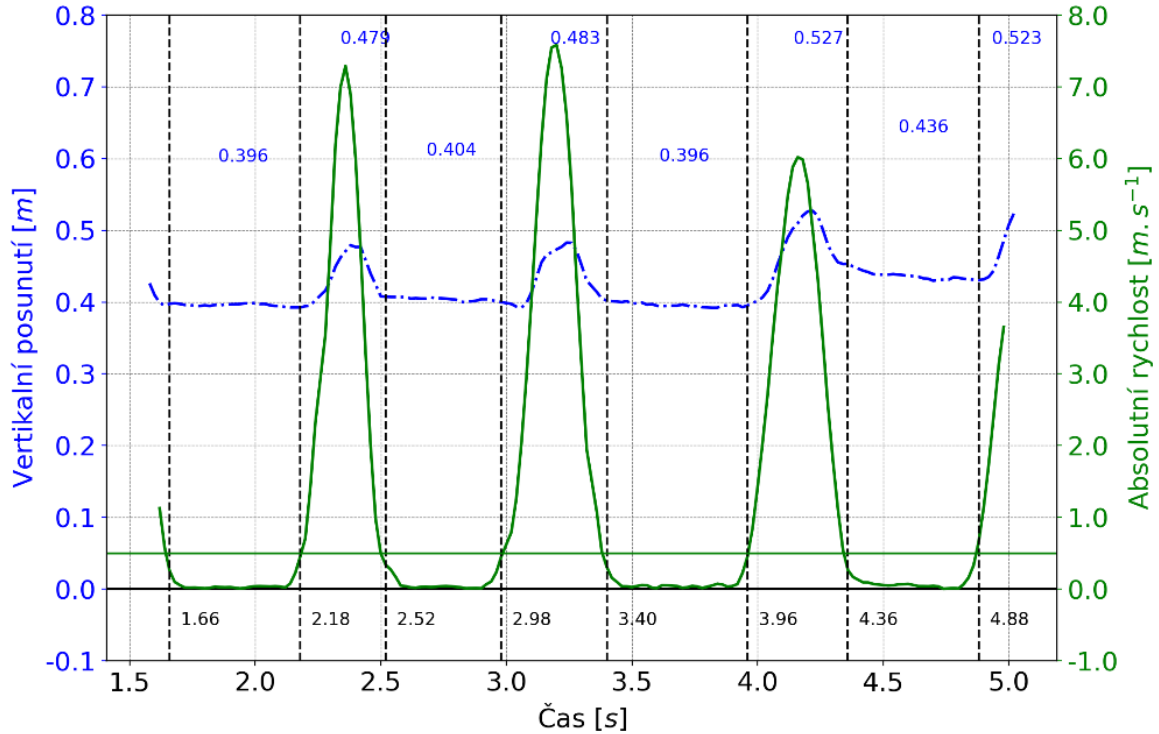
Pro vyhodnocení délky kroku a výšky akce byly zpracované údaje z kopytní sledovací značky hrudní i pánevní končetiny. Z údajů o posunutí značek byly vypočteny hodnoty absolutní rychlosti. Byla stanovena prahová hodnota rychlosti $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro segmentaci záznamu a rozlišení, zda je končetina ve fázi podpěru nebo kmitu (jako bylo popsáno 2.2.3 literárního přehledu). Tímto způsobem byly zároveň identifikovány časové okamžiky, kdy došlo k změnám tohoto stavu. Pomocí těchto časových údajů byla analyzována data o posunutí kopytních značek, které byly rozloženy na horizontální a vertikální složku posunutí (graf č. 8 a 9). Z těchto grafů je možné přímo odečíst délku kroku a výšku akce dané končetiny.

Užité zařízení pro měření síly v tažném laně není schopno vyhotovit záznam o průběhu síly v laně v průběhu měření. Z okamžitých hodnot, které byly ze stupnice odečítány bylo možné pouze hrubě odhadnout tažnou sílu a z ní odvodit z rovnice č. 1 přibližnou hodnotu koeficientu tření mezi ocelovou kluznicí saní a povrchem jízďárny. Odhad koeficientu kinematického tření se pohybuje v intervalu 0,4 až 0,5 a pro další výpočet odhadu tažné síly ve vztahu k hmotnosti břemene bude zjednodušeně použita hodnota 0,45.

Graf č. 8: Horizontální složka posunutí hrudní končetiny při hmotnosti břemene 300 kg segmentována pomocí absolutní rychlosti pohybu sledovací značky na kopytě



Graf č. 9: Vertikální složka posunutí hrudní končetiny při hmotnosti břemene 300 kg segmentována pomocí absolutní rychlosti pohybu sledovací značky na kopytě

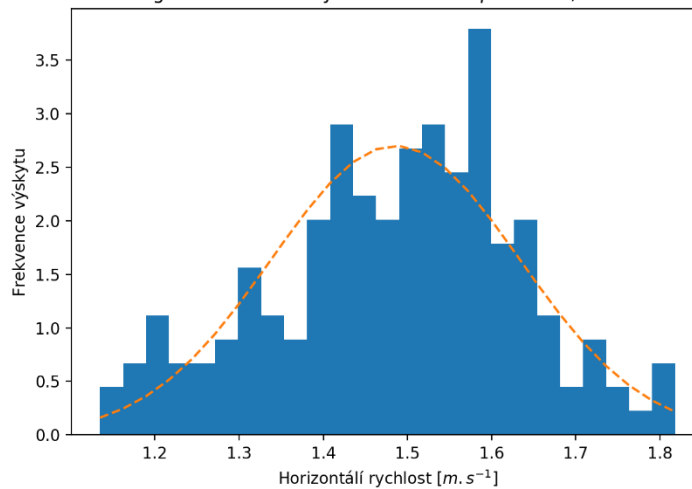


V grafu č. 8 - horizontální složky posunutí, jsou dobře patrné vodorovné úseky, kdy se posunutí v čase nemění, tudíž kopyto nemění svoji polohu a stojí. Rozdílem hodnot dvou po sobě následujících fází podpěru získáme délku kroku. K určení konkrétní hodnoty poloh kopyta se údaje průměrují.

K určení výšky akce se nejdříve zjistí průměr vertikální polohy mezi dvěma po sobě následujícími kroky. Následně se z maximální hodnoty tento údaj odečte.

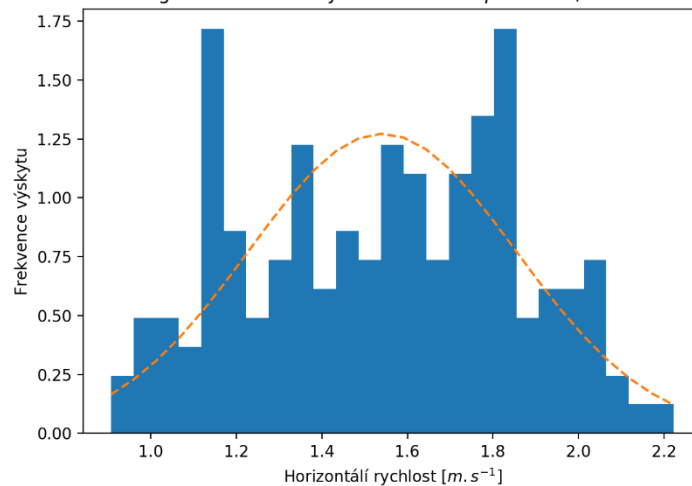
Pro výpočet rychlosti pohybu koně vpřed v daném chodu je nejvhodnější užití údajů získaných ze značky umístěné na hřbetu. Vertikální komponent posunutí je z posunutí této značky nejmenší, a tudíž je zaznamenána trajektorie pohybu téměř přímá. Průběh rychlosti je relativně rovnoměrný, což je zřejmé i z histogramu (graf č. 10) vypočtených okamžitých rychlostí. Rychlost pohybu koně je průměrem těchto rychlostí.

Graf č. 10: Histogram okamžitých rychlostí hřbetní sledovací značky
Histogram horizontální rychlosti - Hřbet: $\mu = 1.486$, $\sigma = 0.148$



Tyto hodnoty je také vhodné porovnat s histogramem rychlosti (graf č. 11) pro pohyb hlavy. Průměrné hodnoty jsou si blízké, avšak vertikální pohyb, který hlava během pohybového cyklu vykonává, způsobuje větší rozptyl hodnot a je možné pozorovat vyšší početnost vlevo a vpravo od průměrné hodnoty.

Graf č. 11: Histogram okamžitých rychlostí ze sledovací značky na hlavě
Histogram horizontální rychlosti - Hlava: $\mu = 1.541$, $\sigma = 0.314$



Rychlosti jsou rozdílné, co se dá přičíst nepřesnostem při samotném měření. Tyto rozdíly rovněž ovlivňuje pohyb končetin, hlavy a hřbetu ve směru příčném na rovinu kamery, který vzhledem k možnosti vybavení nebylo možné zachytit. Dá se předpokládat, že zvyšováním zaznamenané dráhy a času se tento rozdíl zmenšuje. Hlava a hřbet při dostatečně dlouhém záznamu musí dosáhnout ze zřejmých důvodů stejných průměrných hodnot rychlosti vpřed.

5.1 Změny délky kroku při různé zátěži

Pro výpočet průměrné hodnoty délky kroku byly sloučeny naměřené údaje hrudní a pánevní končetiny. Tyto hodnoty se při dostatečně početném souboru dat blíží ke stejné průměrné hodnotě. Důvodem je zřejmý fakt, že při zkracování kroku hrudní končetiny se musí pánevní končetina tomuto zkrácení v průběhu následujícího pohybovému cyklu přizpůsobit.

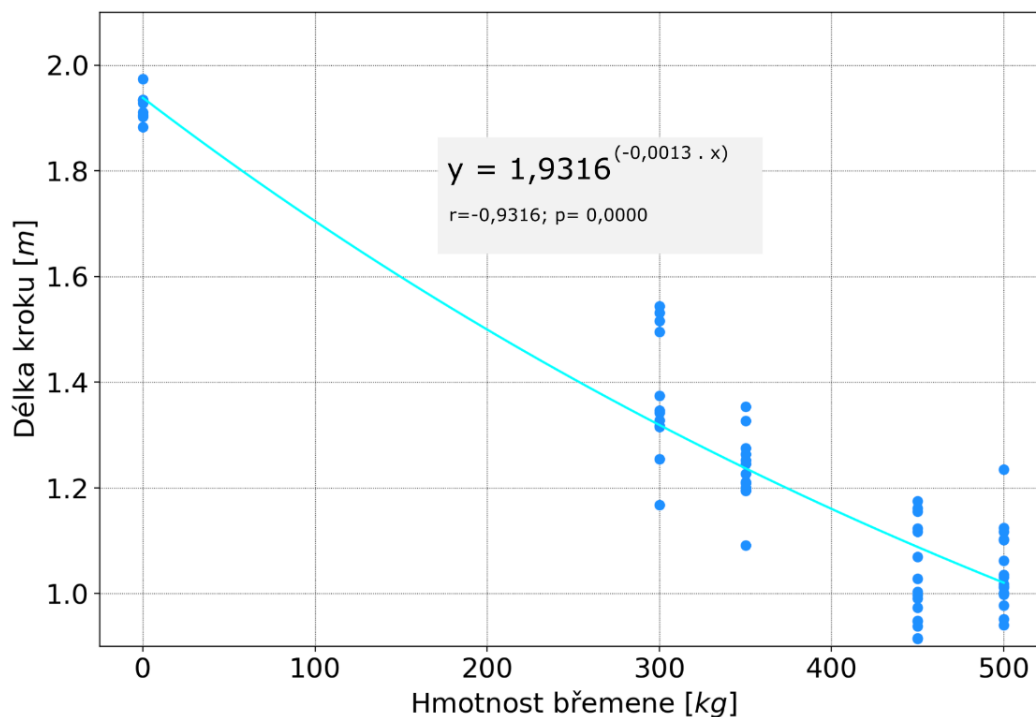
Průměrné hodnoty délky kroku v průběhu jednotlivých záznamů při různé hmotnosti břemene jsou uvedeny v tabulce č. 3. Vzhledem k tomu, že průběh tažné síly nebyl přímo měřen jsou všechny výsledky vztaženy na hmotnost břemene. Pro jednodušší srovnání s dostupnou literaturou jsou v tabulkách uvedeny odpovídající tažné síly, která byla vypočtena pomocí odhadu koeficientu tření mezi sáněmi a povrchem jízdárny (0,45).

Tabulka č. 3: Průměrná délka kroku z jednotlivých záznamů při různé zátěži

Číslo záznamu	Počet kroků	Hmotnost břemene [kg]	Odhad tažné síly [kg]	Průměrná délka kroku [m]	Směrodatná odchylka [m]	Minimální hodnota [m]	Maximální hodnota [m]	Variační koeficient [%]
1	4	0	0	1,906	0,016	1,883	1,928	0,849
2	4	0	0	1,937	0,024	1,906	1,974	1,256
3	6	300	135	1,429	0,092	1,318	1,544	6,432
4	6	300	135	1,327	0,110	1,168	1,486	8,328
5	6	350	158	1,232	0,075	1,091	1,354	6,063
6	6	350	158	1,238	0,046	1,195	1,327	3,712
7	8	450	203	0,955	0,031	0,915	1,003	3,296
8	8	450	203	1,103	0,062	0,991	1,175	5,666
9	8	500	225	1,066	0,085	0,940	1,235	7,999
10	8	500	225	1,024	0,051	0,952	1,103	4,962

Zjištěné hodnoty v závislosti na změně hmotnosti břemene jsou zobrazeny v následujícím grafu č. 12. Zjištěnou závislost lze aproximovat klesající exponenciální funkcí (exponenciální regrese). Z výsledku vyplývá, že při zvyšující se zátěži, a tedy i tažné síle, se průměrná délka kroku zkracuje.

Graf č. 12: Závislost průměrné délky kroku na hmotnosti břemene



Byla zjištěná vysoká závislost ($r=-0,93$) zkrácování délky kroku na hmotnosti taženého břemene a tato závislost je statisticky silně průkazná ($p<0,001$).

5.2 Změny výšky akce končetin při různé zátěži

Při vyhodnocení výšky akce nelze tyto údaje sloučit u hrudní a pánevní končetiny dohromady, protože fyziologická funkce těchto končetin je značně odlišná. Hrudní končetina má funkci podpůrnou a lopatka, která je její součástí nemá pevné spojení se zbytkem osově kostry, ale je vázána svaly a šlachami. Naopak pánevní končetina je iniciátorem a motorem pohybu a přes kyčelní kloub má přímé pohyblivé spojení s pánevním pletencem.

Zpracované výsledky průměrných hodnot pro výšku akce hrudní končetiny jsou uvedeny v tabulce č. 4 a pro pánevní končetinu v tabulce č. 5.

Tabulka č. 4: Průměrná výška akce hrudní končetiny z jednotlivých záznamů při různé zátěži

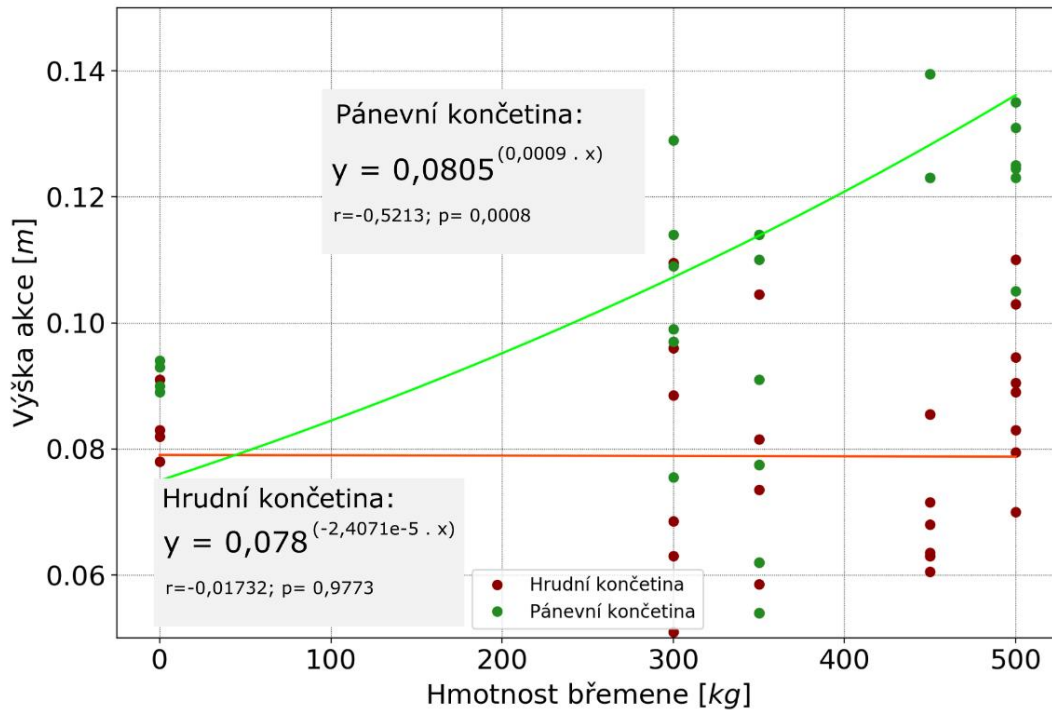
Číslo záznamu	Počet kroků	Hmotnost břemene [kg]	Odhad tažné síly [kg]	Průměrná výška akce [m]	Směrodatná odchylka [m]	Minimální hodnota [m]	Maximální hodnota [m]	Variační koeficient [%]
1	2	0	0	0,081	0,003	0,078	0,083	3,106
2	2	0	0	0,087	0,005	0,082	0,091	5,202
3	3	300	135	0,103	0,008	0,097	0,114	7,342
4	3	300	135	0,077	0,012	0,062	0,091	15,421
5	3	350	158	0,079	0,019	0,059	0,105	24,297
6	3	350	158	0,065	0,010	0,054	0,078	15,125
7	4	450	203	0,069	0,010	0,061	0,086	14,098
8	4	450	203	0,136	0,016	0,123	0,163	11,629
9	4	500	225	0,086	0,012	0,070	0,103	14,369
10	4	500	225	0,094	0,010	0,083	0,110	10,653

Tabulka č. 5: Průměrná výška akce pánevní končetiny z jednotlivých záznamů při různé zátěži

Číslo záznamu	Počet kroků	Hmotnost břemene [kg]	Odhad tažné síly [kg]	Průměrná výška akce [m]	Směrodatná odchylka [m]	Minimální hodnota [m]	Maximální hodnota [m]	Variační koeficient [%]
1	2	0	0	0,092	0,001	0,090	0,093	1,639
2	2	0	0	0,092	0,003	0,089	0,094	2,732
3	3	300	135	0,090	0,020	0,063	0,110	21,823
4	3	300	135	0,065	0,010	0,054	0,078	15,125
5	3	350	158	0,102	0,014	0,082	0,114	14,210
6	3	350	158	0,065	0,010	0,054	0,078	15,125
7	4	450	203	0,143	0,018	0,123	0,167	12,539
8	4	450	203	0,086	0,006	0,078	0,093	6,830
9	4	500	225	0,136	0,016	0,123	0,163	11,629
10	4	500	225	0,129	0,017	0,105	0,154	13,569

Závislost výšky akce jednotlivých končetin na měnící se hmotnosti zátěže je zobrazena v grafu č. 13. Stejně jako v předešlém případě i tady byla použita exponenciální regrese pro vyjádření závislosti sledovaných veličin.

Graf č. 13: Závislost výšky akce hrudní a pánevní končetiny na hmotnosti břemene



Z grafu č. 13 je zřejmé, že zatímco výška akce hrudní končetiny se zvyšující se zátěží zůstává prakticky stejná – nebyla prokázána statistická závislost ($p=0,977$). Naopak, u pánevní končetiny je možné sledovat nárůst výšky akce. Sledované ukazatele vykazují silně průkaznou závislost ($p < 0,001$) na zvyšující se hmotnosti břemene. Hodnota korelačního koeficientu $r=0,52$ značí pouze mírnou těsnost závislosti.

Rozdíly v naměřených hodnotách je možné vysvětlit již výše zmíněnými rozdíly ve funkci a stavbě končetin. Lze tedy usoudit, že zvyšováním břemene se zvyšují nároky na pánevní končetinu, zatímco hrudní končetina plní pořád funkci podpěrnou.

5.3 Změny rychlosti chodu při různé zátěži

Ze všech vyhodnocovaných sledovacích značek byla právě sledovací značka umístěná na hřbetě vybrána jako nejvhodnější na stanovení celkové rychlosti pohybu koně v daném chodu vpřed. Důvodem je výrazný horizontální komponent rychlosti, zatímco vertikální komponent rychlosti je proti tomu téměř zanedbatelný.

Zpracované výsledky průměrných hodnot pro rychlost chodu koně při narůstající hmotnosti břemene jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Průměrná rychlost chodu koně z jednotlivých záznamů při různé zátěži

Číslo záznamu	Počet bodů	Hmotnost břemene [kg]	Odhad tažné síly [kg]	Průměrná rychlost chodu [m.s ⁻¹]	Směrodatná odchylka [m.s ⁻¹]	Minimální hodnota [m.s ⁻¹]	Maximální hodnota [m.s ⁻¹]	Variační koeficient [%]
1	131	0	0	1,850	0,204	1,435	2,339	11,003
2	122	0	0	1,945	0,156	1,557	2,403	10,584
3	154	300	135	1,597	0,124	1,184	1,818	7,776
4	164	300	135	1,486	0,148	1,135	1,818	9,941
5	181	350	158	1,396	0,153	1,000	1,835	10,956
6	171	350	158	1,389	0,142	1,049	1,838	10,217
7	220	450	203	1,112	0,165	0,798	1,608	14,843
8	193	450	203	1,261	0,139	0,944	1,578	11,014
9	197	500	225	1,239	0,159	0,920	1,800	12,802
10	206	500	225	1,188	0,148	0,905	1,612	11,854

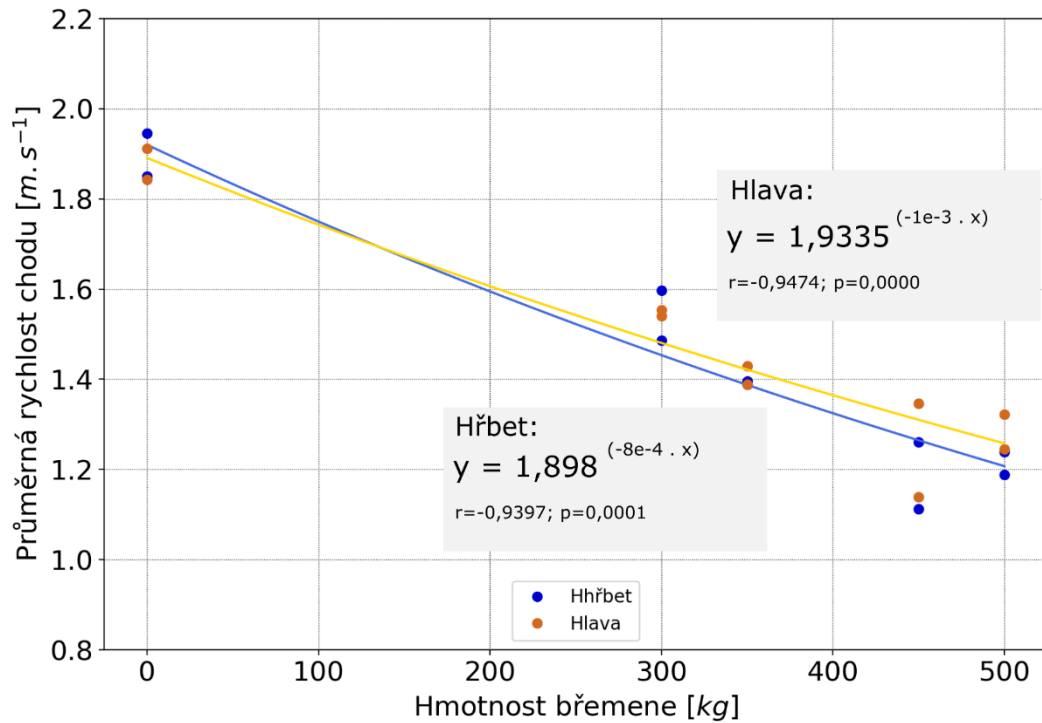
Rychlost chodu koně je možné hodnotit i z horizontálního komponentu rychlosti sledovací značky umístěné na hlavě. V tomto případě je ale vertikální komponent rychlosti výraznější a nedá se zanedbat. Ze zpracovaných výsledků průměrných hodnot horizontálního komponentu rychlosti této značky, které jsou uvedeny v tabulce č. 7 je patrné, že soubory dat vykazují větší směrodatné odchylky a rozložení hodnot má větší rozptyl. Tento fakt je patrný už z histogramu hodnot zobrazeného v grafu č. 11. Rozdíl v těchto hodnotách se dá vysvětlit funkčním pohybem hlavy, který slouží při pohybu ke změně těžiště.

Tabulka č. 7: Průměrná horizontální rychlost sledovací značky umístěné na hlavě koně z jednotlivých záznamů při různé zátěži

Číslo záznamu	Počet bodů	Hmotnost břemene [kg]	Odhad tažné síly [kg]	Průměrná rychlost chodu [m.s ⁻¹]	Směrodatná odchylka [m.s ⁻¹]	Minimální hodnota [m.s ⁻¹]	Maximální hodnota [m.s ⁻¹]	Variační koeficient [%]
1	135	0	0	1,843	0,333	1,248	2,494	18,049
2	126	0	0	1,912	0,282	1,259	2,577	19,745
3	163	300	135	1,554	0,291	0,906	2,156	18,707
4	155	300	135	1,541	0,314	0,907	2,223	20,350
5	183	350	158	1,389	0,252	0,840	1,913	18,127
6	128	350	158	1,430	0,252	0,981	1,872	17,596
7	224	450	203	1,139	0,232	0,594	1,716	20,393
8	191	450	203	1,346	0,223	0,869	1,949	16,587
9	194	500	225	1,322	0,236	0,735	1,787	17,886
10	204	500	225	1,245	0,249	0,698	1,655	18,884

Závislosti rychlostí chodu vypočteny ze sledovacích značek umístěných na hřbetě a hlavě při zvyšující se hmotnosti břemene jsou zobrazeny v grafu č. 14.

Graf č. 14: Rychlosti chodu vypočteny ze hřbetní značky a horizontální komponent rychlosti ze značky umístěné na hlavě v závislosti na zvyšující se hmotnosti břemene



Rychlost chodu odvozena z horizontální složky rychlosti hřbetu je ve všech sledovaných případech rovnoměrná. Závislost je silně průkazná ($p < 0,001$) a hodnota korelačního koeficientu $r = -0,94$ značí silnou závislost. Výsledky získané z horizontální složky rychlosti hlavy jsou s výsledky ze hřbetu ve velmi dobré shodě, což je z fyziologického hlediska očekávaný výsledek.

6. Závěr

Hlavní pracovní využití chladnokrevných koní v současnosti spočívá v jejich nasazení při přibližování dřeva v těžce dostupných lesních porostech. Tato práce klade na jedince specifické psychické a fyziologické nároky, ke kterým jsou tyto koně trénovány a šlechtěni. Významnou součástí hodnocení jejich potenciálu pro pracovní nasazení a šlechtitelské uplatnění je posouzení mechaniky pohybu. Vzhledem k těmto požadavkům jsou důležité kvalitativní a kvantitativní charakteristiky pohybu při pracovním zatížení v tahu břemene.

Cílem práce bylo za pomoci objektivní videografické metody posoudit změny mechaniky pohybu koně při různé zátěži v tahu. Z vykonané kinematické analýzy byly vyhodnoceny kvantitativní charakteristiky jako délka kroku, výška akce a rychlost chodu. Byly zaznamenány trajektorie pohybu jednotlivých sledovacích značek a analyzovány komponentní (horizontální a vertikální) složky pohybu a jejich rychlosti. Ze zjištěných výsledků lze vyvodit následující závěry:

1. Délka kroku se zvyšující se hmotností břemene klesá. Z průměrné hodnoty 1,94 m při chodu bez zátěže klesá na průměrnou hodnotu 1,02 m při maximální sledované zátěži 500 kg. Zjištěná vysoká závislost ($r=-0,93$) zkracování délky kroku na hmotnosti taženého břemene je silně průkazná ($p<0,001$) a lze ji vyjádřit exponenciální křivkou.
2. Změny výšky akce se zvyšující se hmotností břemene jsou různé pro hrudní a pánevní končetiny:
 - Hrudní končetina má téměř konstantní hodnotu ($\sim 0,08\text{m}$) a nebyla prokázána závislost ($p=0,977$) na měnící se hmotnosti břemene.
 - Pánevní končetina vykazuje silně průkaznou závislost ($p<0,001$) na zvyšující se hmotnosti břemene. Hodnota korelačního koeficientu $r=0,52$ značí pouze mírnou těsnost závislosti.

Uvedený rozdíl lze vysvětlit rozdílnou funkcí a stavbou končetiny.

3. Rychlost chodu odvozena z horizontální složky rychlosti hřbetu je ve všech sledovaných případech rovnoměrná a při zvyšující se hmotnosti břemene klesá z hodnoty $1,95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na hodnotu $1,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Závislost je silně průkazná ($p<0,001$) a hodnota korelačního koeficientu $r=-0,94$ značí silnou závislost. Výsledky získané z horizontální složky rychlosti hlavy jsou s výsledky ze hřbetu ve velmi dobré shodě.

Naměřené hodnoty a zjištěné závislosti jsou v dobrém souladu se zjištěními v odborné literatuře, týkající se této problematiky. Lze konstatovat, že analýza kinematických charakteristik a jejich změn při práci v tahu je oproti jiným, sportovně orientovaným disciplínám, oblastí značně opomíjenou. Navzdory rozsáhlým poznatkům z biomechaniky pohybu koně je velice málo odborné literatury věnující se tomuto tématu.

Zjištěné poznatky a samotná metoda videografické kinematické analýzy k posouzení mechaniky pohybu koní může sehrát významnou roli při objektivizaci posuzování pohybového potenciálu koní.

7. Doporučení pro chovatelskou praxi

Hodnocení mechaniky pohybu koní při zápisu do plemenných knih probíhá v současnosti v České republice na základě subjektivního posuzování charakteristik odbornou komisí. Stejně tak k tomuto problému přistupují samotní chovatelé a šlechtitelé při hodnocení užitkových vlastností a plemenného přínosu chovaných koní.

Videografická kinematická analýza se jeví jako účinný a dostupný nástroj k objektivizaci tohoto hodnocení. Její aplikace se sebou nese potřebu zefektivnění jejího nasazení, zvýšení její automatizace a tím snížení náročnosti pro koncové uživatele. Ti nemusejí být výhradně členové odborné komise, ale také běžní chovatelé a zootechnici. Řešení těchto nedostatků se dá lehce najít mezioborovou spoluprací a aplikací programových nástrojů již vyvinutých a úspěšně používaných v jiných oblastech vývoje a výzkumu. Pro zvýšení hodnoty tohoto nástroje je nutné vybudovat databázi kvalitních srovnávacích údajů pro různá plemena při různých činnostech.

Takto získané a srovnávané údaje mohou podávat velice rychle a efektivně objektivní informace jako podklad pro hodnocení mechaniky pohybu koní.

Citovaná literatura

- BACK, W., et al. 1995.** How the horse moves. 1. Significance of graphical representations of equine forelimb kinematics. *Equine Vet. J.*, 27, stránky 31-38.
- BACK, W., et al. 1994.** Logitudinal development of the kinematics of 4-, 10-, 18- and 26-month-old Dutch Warmblood horse. *Equine Vet. J. Suppl.*, 17, stránky 3 - 6.
- BÍLEK, F. 1955.** Plemena domácího koně. [autor knihy] L. AMBROŽ. *Speciální zootechnika: Chov koní*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství.
- BUCHNER, H. H. F., et al. 1997.** Inertial Properties of Dutch Warmblood Horses. *Journal of Biomechanics*, 30, stránky 653-658.
- BUCHNER, H. H. F., SCHAMHARDT, H. C. a BARNEVELD, A. 1996.** Limb movement adaptation in horses with experimentally induced fore - or hind limb lameness. *Equine Vet. J.*, 28, stránky 63 - 70.
- CLAYTON, H. M. a SCHAMHARDT, H. C. 2013.** Measurement techniques for gait analysis. [autor knihy] W. BACK a H. M. CLAYTON. *Equine Locomotion*. 2. vydání. Edinburgh : Saunders Elsevier.
- CLAYTON, H. M. 1987.** Cinematographic analysis of the gait of lame horse. IV: fracture of the third carpal bone. *J. Equine Vet. Sci.*, 7 (3), stránky 130 - 135.
- CLAYTON, H. M. 1986.** Cinematographic analysis of the gait of lame horses. I: fractured supraglenoid tubercle. *J. Equine Vet. Sci.*, 6 (2), stránky 70 - 78.
- CLAYTON, H. M. 1993.** The extended canter: a comparison of some kinematic variables in horses trained for dressage and racing. *Acta Anat.*, 146, stránky 183 - 187.
- CLAYTON, H. M. 1994.** Comparison of the stride kinematics of the collected, working, medium and extended trot in horses. *Equine Vet. J.*, 26 (3), stránky 230 - 234.
- CLAYTON, H. M. 1997.** Classification of collected trot, passage and piaffe based on temporal variables. *Equine Vet. J. Suppl.*, 23, stránky 54 - 57.
- CLAYTON, H. M. 2004.** *The Dynamic Horse*. Mason : Sport Horse Publications. ISBN 097476700X.
- DELUZIO, K. J., et al. 1993.** A procedure to validate three-dimensional motion assessment systems. *J. Biomech.*, 26, stránky 753-759.
- DREVEMO, S., et al. 1980a.** Equine locomotion 1: the analysis of linear and temporal stride characteristics of trotting standardbreeds. *Equine Vet. J.*, 12, stránky 60-65.
- DREVEMO, S., et al. 1980b.** Equine locomotion 3: The reproducibility of gait in standardbred trotters. *Equine Veterinary Journal.*, 12, stránky 71-73.

- DUŠEK, J. a DUŠEK, J. 1963.** Význam tělesné stavby koní z hlediska pracovního výkonu v zemědělství. *Sb. Živoč. Výroby*, 8, stránky 303 - 310.
- DUŠEK, J., et al. 1970.** Beziehungen zwischen trittlänge, trittfrequenz und Geschwindigkeit bei Pferden. *Z. Tierärztl. Zücht Biol.*, 87, stránky 177 - 188.
- DUŠEK, J. 1992.** *Chov koní v Československu*. Praha : Brázda, 1992.
- DUŠEK, J. 2011.** *Chov koní*. 3. vydání. Praha : Brázda, 2011. ISBN 978-80-209-0388-4.
- FEYNMANN, R., LEIGHTON, R., SANDS, M. 2000.** *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady*. 1. Havlíčkův Brod : Fragment. ISBN 80-7200-405-0.
- FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J. a BARROS, R. M. L. 2003.** A flexible software for tracking of markers used in human. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 72, stránky 155-165.
- FREDERICSON, I. a DREVEMO, S. 1971.** A new method of investigation equine locomotion. *Equine Vet. J.*, 7 (4), stránky 137-140.
- FREDERICSON, I., et al. 1970.** Quantitative analysis of hoof motion patterns using high-speed films of harness horses. *Proc. 9th Int. Congr. On High-Speed Photogr.*, stránky 347-350.
- GRÖSEL, M. 2011.** *Erstellung eines dreidimensionalen biomechanischen Modells der equinen thorakolumbalen Wirbelsäule*. Vídeň : Technische Universität Wien. Dizertační práce.
- ILKOVIČ, D. 1968.** *Fyzika I*. 4. Bratislava : Alfa. str. 496.
- IŠ, J. 2017.** *Českomoravský belgický kuň*. Opava : foto&nakladatelství: Ing. Dalibor Gregor. 978-80-87731-17-8.
- JELÍNEK, J., KRYS, J. a TEPLÝ, V. 1999.** Present possibilities of objectified electronic measurement of equine locomotive potential in the Czech republic. *Czech J. Anim. Sci.* Červenec, Sv. 44, stránky 295-302.
- KNEZEVIC, P. F., et al. 1978.** Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Bewegung und Belastung des Pferdehufes mit Hilfe von Hochfrequenzphotographie und Mehrkomponentenkraftmeßplatte. *Biomed. Tech.*, 23, stránky 154-155.
- KONDĚLKA, P., et al. 2017.** Analýza současného stavu chladnokrevných koní vhodných pro lesní hospodářství, skutečnost a potenciál uplatnění a návrh opatření pro zvýšení jejich využití v LH - s vylišením národních plemen (Norik, Slezský norik, Českomoravský belgik). Vsetín : Foresta SG, a. s. .
- KOZEL, J. 2001.** *Koně nejen pro lesní hospodářství*.
- KŘÍŽAN, M. 2005.** Studie stavu a perspektiv využití koní v lesním hospodářství. Brno. Diplomová práce.

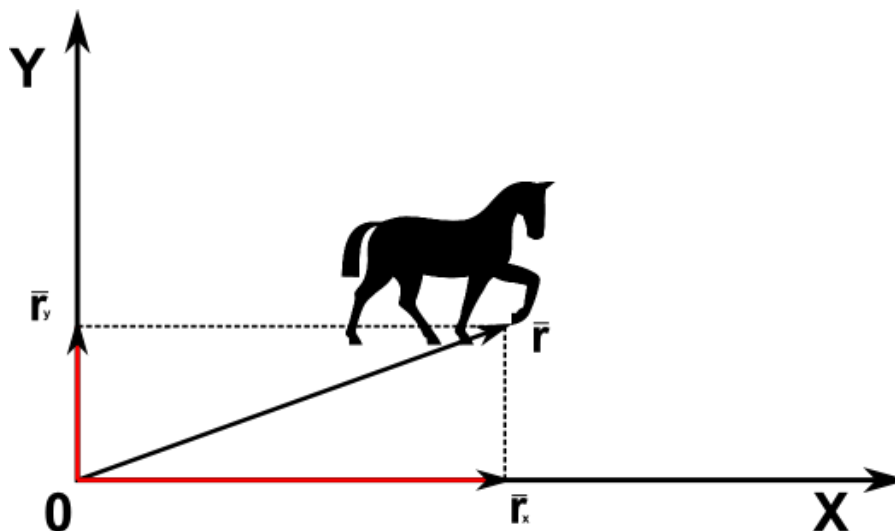
- KUCHLING, A.M. 2010.** Python. *Python Documentation*. [Online] Python Software Foundation. [Citace: 11. 11 2018.] <https://docs.python.org/2/>.
- LEACH, D. H. a DYSON, S. 1988.** Instant centers of rotation of equine limb joints and their relationship to standard skin marker locations. *Equine Vet. J.*, 6 (Suppl.), stránky 113-119.
- LICKA, T., PEHAM, C. a ZOHMANN, E. 2001.** Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain. *Am. J. Vet. Res.*, 62, stránky 1173-1179.
- MALLICK, S. 2014.** OpenCV-Python Tutorials. *OpenCV*. [Online] OpenCV Foundation. [Citace: 11. 11 2018.] <https://docs.opencv.org/>.
- MARŠÁLEK, M. a CIVIŠOVÁ, H. 2016.** *Šlechtění chladnokrevných koní a jejich uplatnění*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-580-0.
- MARŠÁLEK, M. 2008.** *Chov koní - popis, posouzení, šlechtění*. České Budějovice : Jihočeská univerzita Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-101-7.
- MATYAŠ, K. 1962.** *Lesní těžba*. Praha : SZN. str. 314.
- MERKENS, H. W., et al. 1986.** Ground reaction force patterns of Dutch Warmblood horses at normal walk. *Equine Vet. J.*, 18 (3), stránky 207-214.
- MESSINGEROVÁ, V. 1999.** *Lesné dopravníctvo*. Zvolene : Vydavateľstvo TU vo Zvolene, str. 203.
- MUYBRIDGE, E. 1957.** *Animals in motion*. Originální edice 1899. New York : Dover Publications, Republikace BROWN L.S., (Ed.).
- NERUDA, J. 2013.** *Technika a technologie v lesnictví*. Brno : Mendelova univerzita v Brně, 978-80-7375-840-0.
- PELC, V. et al. 1987.** *Chov koní pro lesní hospodářství*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství.
- PETRTÝL, I. a VORÁČKOVÁ, J. 2017.** *Slezský norický kůň*. Opava : foto&nakladatelství: Ing. Dalibor Gregor, 978-80-87731-20.
- PISCOVÁ MANDOVÁ, P. 2017.** *Hodnocení mechaniky pohybu chladnokrevných koní*. České Budějovice : Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Bakalářská práce.
- PORUBA, M. 1989.** *Koňské vzkříšení*.
- PŘÍHODA, J. 2007.** *Budoucnost chladnokrevných koní*.
- RADVAN, J. 1990.** *Kůň v lesním hospodářství*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 80-209-0103-5.

- SCHAMHARDT, H. C. a MERKENS, H., W. 1987.** Quantification of equine ground reaction force patterns. *J. Biomech.*, 20 (4), stránky 443-446.
- SCHAMHARDT, H. C., VAN DEN BOGERT, A. J. a HARTMAN, W. 1993.** Measurement techniques in animal locomotion analysis. *Acta Anat.*, 146, stránky 123-129.
- SIMANOV, V. a HRONÍČKOVÁ, E. 1999.** Laciné těžební technologie a jejich drahé následky. *Lesnická práce*, 78 (2), stránky 78-79.
- SIMANOV, V. a KOHOUT, V. 2004.** *Těžba a doprava dříví*. Písek : Matice lesnická, 80-86271-14-5.
- STACHOVÁ, D. 2002a.** Pohyb koní z pohledu moderních měřících metod. *Jezdeckví*. Říjen 2002, stránky 26-29.
- STACHOVÁ, D. 2002b.** Pohyb koní z pohledu moderních měřících metod (2). *Jezdeckví*. Listopad 2002, stránky 26-29.
- STARKE, S.D. a CLAYTON, H.M. 2015.** A universal approach to determine footfall timing from kinematics of a single foot marker in hoofed animals. *PeerJ*. 783, 3.
- VAN WEEREN, P. R., et al. 1990a.** The role of the reciprocal apparatus in the hind limb of the horse investigated by a modified CODA-3 opto-electronic gait analysis system. *Equine Vet. J. Suppl.*, 9, stránky 95-100.
- VAN WEEREN, P. R., et al. 1990b.** Quantification of skin this placement in the proximal parts of the limbs of the walking horse. *Equine Vet. J.*, 9 (Suppl.), stránky 110-118.
- VAN WEEREN, P. R., VAN DEN BOGERT, A. J. a BARNEVALD, A. 1992.** Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis. *J. Equine Vet. Sci.*, 12, stránky 178-192.
- VAN WEEREN, P.R. 2013.** History. [autor knihy] W. BACK a H.M. CLAYTON. *Equine Locomotion*. 2. Edinburgh : Saunders Elsevier, 2013.
- WELLER, R., et al. 2006.** Reliability of conformational measurements in the horse using a three-dimensional motion analysis system. *Equine Vet. J.*, 38 (7), stránky 610-615.

Přílohy

Příloha č. 1: Vztahy mezi základními kinematickými veličinami (převzato z PISCOVÁ MANDOVÁ, 2017)

Poloha sledovací značky na koni je jednoznačně daná v (sagitální) rovině kamery jejím polohovým vektorem \vec{r} . Jeho rozkladem dostaneme horizontální a vertikální složky (znázorněno na obrázku níže).



Rychlost \vec{v} sledovací značky mezi dvěma následujícími obrázky záznamu dostaneme jako:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}; [m \cdot s^{-1}]$$

Kde $\Delta \vec{r}$ představuje vektorový rozdíl poloh mezi dvěma zaznamenanými polohami a Δt je časový krok, který uplyne mezi vyhotovením těchto obrázků. Je daný snímkovací frekvencí kamery dle vztahu:

$$\Delta t = \frac{1}{\text{snímkovací frekvence kamery}}; [s]$$

Pro vektor zrychlení sledovací značky \vec{a} platí:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta^2 \vec{r}}{\Delta t^2}; [m \cdot s^{-2}]$$

Při užití komponentů polohového vektoru vypočteme příslušné komponenty rychlosti a zrychlení v dané osy.

Analogické vztahy platí pro změnu úhlu $\Delta \bar{\varphi}$, vektor úhlové rychlosti $\vec{\omega}$ a úhlové zrychlení $\vec{\alpha}$:

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta \bar{\varphi}}{\Delta t}; [deg \cdot s^{-1}]$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{\Delta^2\bar{\varphi}}{\Delta t^2}; [deg.s^{-2}]$$

Poznámka: Rozměr [*deg*] je zkrácením anglického termínu ,degree‘ tedy ,stupeň [°]. Kvůli užití programů s anglickým kódováním klávesnice byl tento rozměr užit souběžně s českým. Vztahy byly zpracovány podle **CLAYTONOVÉ et al. (2011)**.