

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKA NALOGA

NASTJA MATEŠIČ

Ljubljana 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Športna vzgoja, športno treniranje
Kondicijsko treniranje

KINEMATIKA SKLOPLJENEGA SISTEMA JAHAAČ- KONJ PRI SKOKU ČEZ ŠIRINSKO OVIRO

DIPLOMSKA NALOGA

MENTOR
prof. dr. Otmar Kugovnik
SOMENTOR
doc. dr. Matej Supej
RECENZENT
prof. dr. Milan Žvan

Avtor dela
NASTJA MATEŠIČ

Ljubljana, 2008

Zahvala

Najprej bi se rada zahvalila svojim staršem, ki so mi omogočili neštete užitke v družbi teh plemenitih živali – konjev – in so me podpirali med celotnim študijem.

Posebno se zahvaljujem tudi svojemu mentorju prof. dr. Otmarju Kugovniku in somentorju doc. dr. Mateju Supeju, ki sta mi odprla vrata v svet raziskav biomehanike športa in s tem tudi biomehanike konjenišva ter mi s strokovnimi nasveti pomagala pri nastajanju te diplomske naloge.

Posvetilo

Delo posvečam svojim staršem, ki so mi ves čas mojega izobraževanja stali ob strani. Nudili so mi podporo in mi omogočili študij, ki sem ga izbrala.

Ključne besede: *konjeništvu, sklopljen sistem jahač-konj, preskakovanje ovir, širinska ovira, 2D kinematika*

KINEMATIKA SKLOPLJENEGA SISTEMA JAHAČ-KONJ PRI SKOKU ČEZ ŠIRINSKO OVIRO

Nastja Matešič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2008

**Število strani: 102 Število preglednic: 10 Število grafov: 31 Število virov: 22
Število prilog: 4**

IZVLEČEK

Diplomska naloga opisuje kinematiko sklopljenega sistema jahač-konj pri prehodu čez širinsko oviro. Cilj diplomske naloge je bil predstaviti uporabnost 2D kinematike v konjeništvu. V ta namen smo predstavili 2D biomehanski model sklopljenega sistema jahač-konj ter postopke za izračun in analizo nekaterih kinematičnih parametrov tega sistema pri skoku čez širinsko oviro. Konj je bil označen s 27 markerji, referenčne točke pa smo določili na podlagi Buchnerjevega opisa (Buchner idr., 1997). Konja smo opazovali v 2D prostoru. Vsak jahač je bil označen z osmimi markerji (metatarsus, gleženj, koleno, kolk, rama, glava, komolec, zapestje), kot opisuje Winter (1990). V nalogi smo se osredotočili na tri hipoteze.

Prvo hipotezo, ki trdi, da se lahko z 2D kinematiko računa težišče konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj, smo sprejeli. Drugo hipotezo, ki pravi, da imata težišče konja in težišče jahača skupno težiščnico, smo zavrnil. Hipotezo številka tri, ki pravi, da je najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez širinsko oviro na sredini širinske ovire, smo zavrnil. Četrto hipotezo, ki trdi, da antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir, smo zavrnil.

ABSTRACT

Diploma thesis has been dealing with kinematics of joint rider-horse system while crossing horizontal obstacle. The aim of the thesis has been to present the usefulness of 2D kinematics in equestrian sport. We have made a 2D biomechanical model of joint rider-horse system, set the calculation procedures and analysed some kinematic parameters influencing the crossing of horizontal obstacle.

We tagged model horse with 27 points. We have determined the reference points according to Buchner description (Buchner et al., 1997). The horse was being observed in 2D space. Every rider was tagged with eight points (metatarsus, ankle, knee, hip, shoulder, head, elbow, wrist) as described by Winter (1990). We got focused on four hypotheses: The first hypothesis claiming that 2D kinematics can be used to calculate the centre of gravity of horse, rider and rider-horse system was accepted. The second hypothesis claiming that the centre of gravity of horse and rider has common gravity line was rejected. The third hypothesis claiming that the highest gravity point of the joint rider-horse system crossing horizontal obstacle is located at the centre of the obstacle was rejected. The fourth hypothesis claiming that antropometry of rider influences the positioning of the rider's centre of gravity while crossing obstacle was rejected.

KAZALO

IZVLEČEK	4
KAZALO	6
1. Uvod	7
2. Predmet, problem in namen dela.....	10
2.1 Terminologija v konjeništvu in osnovna teorija	10
2.2. Dosedanje raziskave	14
2.2.1. O meritvah, njihovih prednostih in pomanjkljivostih v preteklosti	14
2.2.2. O raziskavah s področja preskakovanja ovir, ki obravnavajo sistem konja	26
2.2.3. O raziskavah s področja preskakovanja ovir sklopljenega sistema jahač-konj.....	27
2.3. Namen naloge.....	28
3. Cilji.....	29
4. Hipoteze	30
5. Metode dela.....	31
5.1. Vzorec merjencev	31
5.2. Vzorec spremenljivk	31
5.3. Organizacija zbiranja podatkov	32
5.4. Metode obdelave podatkov	33
5.5. Kinogrami.....	34
5.6. Napake meritve.....	38
5.7. Uporabljene enačbe in skice	39
5.7.1. Računanje težišča konja.....	39
5.7.2. Računanje težišča telesa jahača	44
5.7.3. Računanje težišča sistema jahač-konj.....	46
5.7.4. Drugi izračuni.....	47
5.8. Uporabljeni koeficienti	48
6. Rezultati z razpravo	49
6.1. H1 – 2D kinematika omogoča izračun težišča konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj	49
6.2. H2 – Težišče konja in težišče jahača imata skupno težiščnico	67
6.3. H3 – Najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez oviro je točno na sredini širinske ovire	74
6.4. H4 – Antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir.....	77
7. Sklep.....	80
8. Literatura	81
9. Priloge	83

9.1. Mase segmentov jahačev in mase segmentov konja	83
9.2. Dolžine segmentov konja	85
9.3. Druge tabele	86
9.4. Članek.....	89

1. Uvod

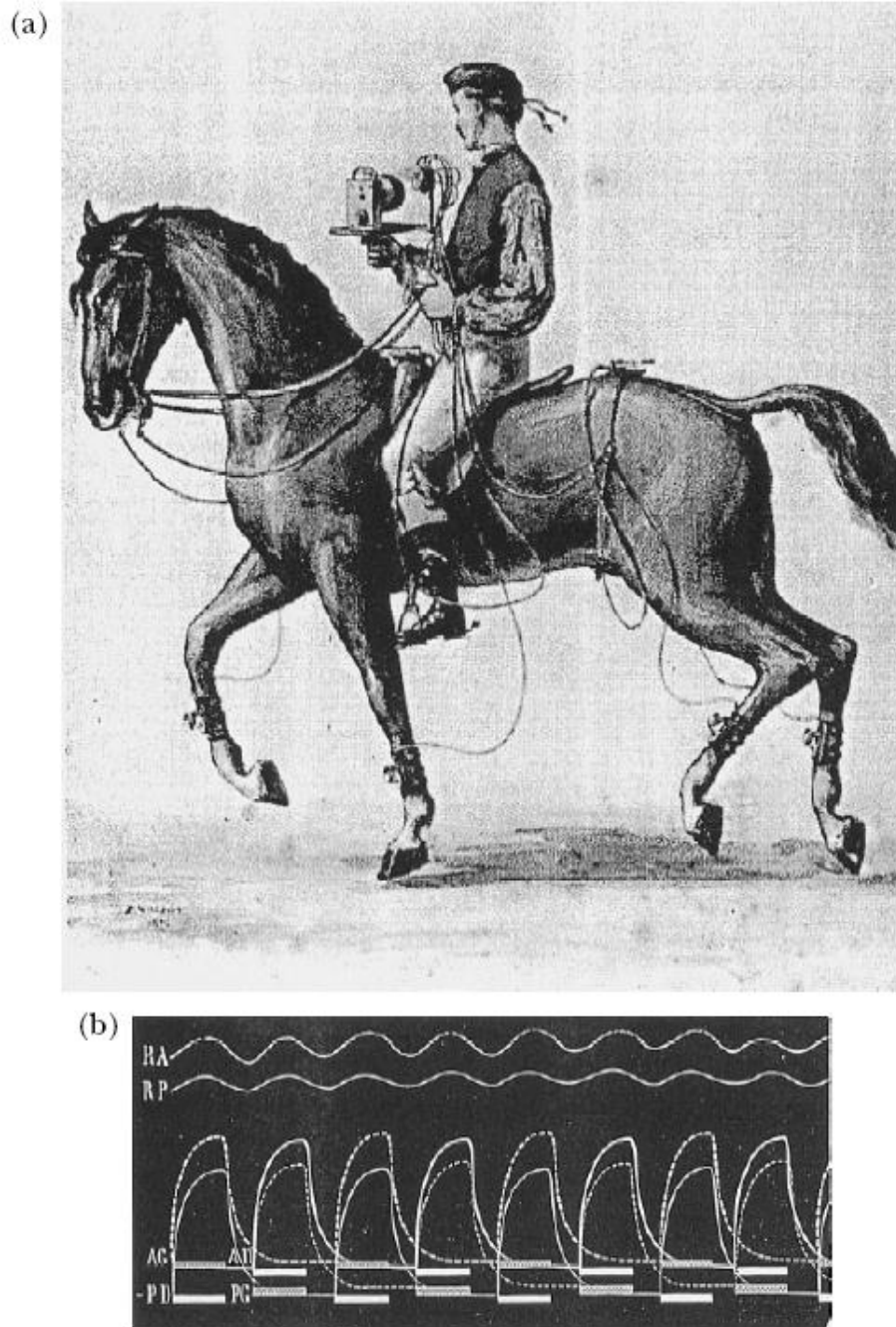
Glede na zadnje arheološke raziskave, opravljene v Ukrajini, so bili konji udomačeni in jahani že od leta štiri tisoč pr. n. št. (Barrey, 1999). Od takrat naprej so poskušali ljudje razumeti in raziskati lokomotorne procese konja, da bi lahko optimizirali uporabo moči teh živali za lov, transport jahača ali vleko tovora. Veliko podob z motivi jahanja in vpregami konja je bilo najdenih v srednjezahodnih civilizacijah. Prvo študijo 'Hippike' o telesni zgradbi konja in jahalnih tehnikah je napisal Xenophon (445–345 pr. n. št.). Aristotel (384–322 pr. n. št.) pa je podrobneje opisal anatomijo konjevega lokomotornega aparata. V 16. in 17. stoletju je razvoj jahalnih šol v Italiji, Španiji, na Portugalskem, v Franciji in Avstriji povečal znanje o zgradbi konja in pojavilo se je zanimanje za uporabo znanja o lokomociji konjev v akademskih jahalnih šolah ter za vojaške potrebe.

V 17. in 18. stoletju je veterinar Bourgelat prvi znanstveno pristopil k proučevanju lokomocije konjev (1754, v Barrey, 1999). Marey (1873, 1894, v Barrey, 1999) je v 19. stoletju naredil prve eksperimentalne meritve, s katerimi je z uporabo kronografske metode raziskoval čas vsakega koraka (slika 1). Za njim pa je Muybridge (1887, v Barrey, 1999) uporabil serijo kamer za analizo konjske lokomocije. V istem obdobju sta jahalni mojster Bauchner in general Morris (Lenoble du Teil, 1893, v Barrey, 1999) naredila meritve porazdelitve masnih deležev sprednjih in zadnjih nog. Uporaba moči živali je v začetku 20. stoletja upadla zaradi razvoja strojev, toda v zadnjih štiridesetih letih je naraslo zanimanje za tekmovanja v konjeništvu, jahanje je spodbudilo znanstvene raziskave in povečalo zanimanje za biomehaniko konjev.

Živi organizmi delujejo v skladu z Newtonovimi zakoni, zato obstajata dva načina analize telesa v gibanju: kinetika oz. dinamika in kinematika. Kinematična analiza v biomehaniki ima v športu zelo pomembno vlogo. Ta raziskovalna metoda je pomembna pri analizi tehnik posameznih disciplin ter pri razvoju športne opreme, še posebej pa je pomembna kot podlaga za modeliranje športnih gibanj športnika in lahko posledično prispeva k izboljševanju športnih rezultatov. V Sloveniji je kinematična analiza v veliko panogah, na primer v smučanju, odbojki, atletiki,

gimnastiki, košarki, plavanju in tenisu, močno uveljavljena ne samo v raziskovalnem, temveč tudi v strokovnem delu, v konjeništvu pa se je ta metoda šele začela uporabljati.

Slika 1: Slika prikazuje eno prvih meritev na konjih (Valton, 1872, v Barrey, 1999).



a) Konj, opremljen s pnevmatičnimi pospeškometri, ki so pritrjeni na okončine, sedlo ter križnico in merijo prostorske in časovne parametre hodov.

b) Časovno odvisne spremembe v tlaku, pridobljene s pnevmatičnimi pospeškometri, ki merijo pospeške v kasu (RA – sedlo, RP – križnica, AG – leva sprednja noga, AD – desna sprednja noga, PD – desna zadnja noga, PG – leva zadnja noga).

V svetu je kinematika v konjeništvu, kot smo povedali, že nekaj desetletij v razvoju. Po Mareyu, ki je leta 1894 izboljšal Muybridgovo metodo (Barrey, 1999), s katero so bile trajektorije sklepov in telesnih segmentov v gibanju lahko merjene na podlagi fotografij, narejenih v konstantnem časovnem intervalu, se je začelo obdobje sodobnega pristopa k raziskovanju. Zdaj se uporabljajo markerji, ki so zalepljeni na telo konja in so posneti z videokamerami.

Buchner in njegovi sodelavci (Buchner idr., 1997) so izdelali model konja, ki zajema celoten set tridimenzionalnih inercialnih lastnosti nemških toplokrvnih konj, ta pa vsebuje mase segmentov, vztrajnostni tenzor in gostote vseh telesnih segmentov. Na osnovi podatkov, pridobljenih s temi meritvami, pa so izdelali regresijske izračune za predvidevanje inercialnih lastnosti živečih konjev. Od takrat dalje so raziskave na področju konjeništvaja doživele razmah v svetu. Od leta 2002 pa se opravljajo tudi raziskave na področju sistema jahač-konj. Konjeniški šport je namreč specifičen, saj je pri njem potrebna obravnava dveh različnih športnikov: jahača in konja kot sistema.

Tako v diplomski nalogi predstavljamo antropometrijska modela konja in človeka, ki predstavljata osnovo za biomehansko modeliranje v konjeništvu. Na podlagi kinematične analize bomo določili težišče konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez širinsko oviro. Izračunali in analizirali bomo tudi nekatere kinematične parametre sklopljenega sistema jahač-konj pri tem skoku.

2. Predmet, problem in namen dela

2.1 Terminologija v konjeništvu in osnovna teorija

Pri preskakovanju ovir velja specifična terminologija in je zato treba opisati nekatere izraze, ki so pomembni za razumevanje te diplomske naloge.

Tekmovanje v preskakovanju ovir je tekmovanje, v katerem se par tekmovalcev-konj sodi pod različnimi pogoji v parkurju z ovirami (Pravilnik FEI za tekmovanja v preskakovanju ovir (22. izdaja), 2006). To je tekmovanje, v katerem se pokažejo sproščenost konja, moč, spretnost in spoštovanje ovir, obenem pa tudi tekmovalčevo znanje jahanja. Če jahač zagreši določene napake, npr. poruši oviro, se zaustavi, prekorači dovoljeni čas itd., dobi kazenske točke. Zmagovalec tekmovanja je jahač, ki je dobil najmanj kazenskih točk, ki je jahal parkur v najkrajšem času ali je dobil največje število točk, odvisno od vrste tekmovanja.

Na tekmovanjih v preskakovanju ovir poznamo tri vrste ovir: strme ovire ali 'štacionate', širinske ovire ali 'okserje' in jarke z vodo. V tej nalogi smo obravnavali širinsko oviro.

Da se lahko ovira kakršnekoli konstrukcije imenuje strma ovira, morajo biti vsi elementi, ki jo sestavljajo, postavljeni v isto vertikalo na strani odskoka, pri tem pa ne sme biti na tleh pred njo niti opozorilni drog, niti opozorilna ograjica, niti opozorilni banket, niti opozorilni jarek (Pravilnik FEI za tekmovanja v preskakovanju ovir (22. izdaja), 2006).

Ovira je širinska, če je grajena tako, da se mora konj potruditi za skok tako v višino kot tudi v širino (Pravilnik FEI za tekmovanja v preskakovanju ovir (22. izdaja), 2006).

Da se ovira lahko imenuje 'jarek z vodo', ne sme imeti pred sabo, v sredini, niti na drugi strani vode nobene ovire. Jarek z vodo mora biti širok najmanj 250 centimetrov. Na strani odskoka mora stati opozorilni element (ograjica ali zidek), visok najmanj 40

centimetrov, in ne višji kot 50 centimetrov. Širina sprednjega dela jarka z vodo, ki je lahko okrašen z rožami, mora biti vsaj 30 odstotkov daljša od dolžine (Pravilnik FEI za tekmovanja v preskakovanju ovir (22. izdaja), 2006).

Poleg tega poznamo pri konjih tri vrste osnovnih hodov: korak, kas in galop. Za lažje razumevanje bomo opredelili vsakega posebej. Korak je vrsta hoda v pravilnih štirih taktih (Pravilnik FEI za tekmovanja v dresurnem jahanju (22. izdaja), 2006). Ta pravilnost mora biti združena s popolno sproščenostjo pri vseh gibanjih v koraku. Kas je hod v dveh taktih, med katerima je trenutek lebdenja. Konj stopa hkrati z dvema diagonalnima nogama, tj. hkrati z eno sprednjo in eno zadnjo nogo (sprednja leva in zadnja desna ter obratno). Galop je hod v treh taktih, pri katerem si npr. v desnem galopu sledijo koraki posameznih nog v naslednjem vrstnem redu: leva zadnja, diagonala sprednja leva in zadnja desna ob istem času, sprednja desna; temu sledi trenutek lebdenja vseh štirih nog, preden se začne naslednji galopni skok.

Poleg hodov je pomembno, da poznamo tudi faze skoka. Skok čez oviro razdelimo na pet faz: faza približevanja, faza odriva, faza leta oz. brezoporna faza, faza doskoka in faza oddaljevanja od ovire (slika 2).

Slika 2:

2A) Shematski prikaz faz skoka čez oviro (Powers, 1999).



f. približevanja

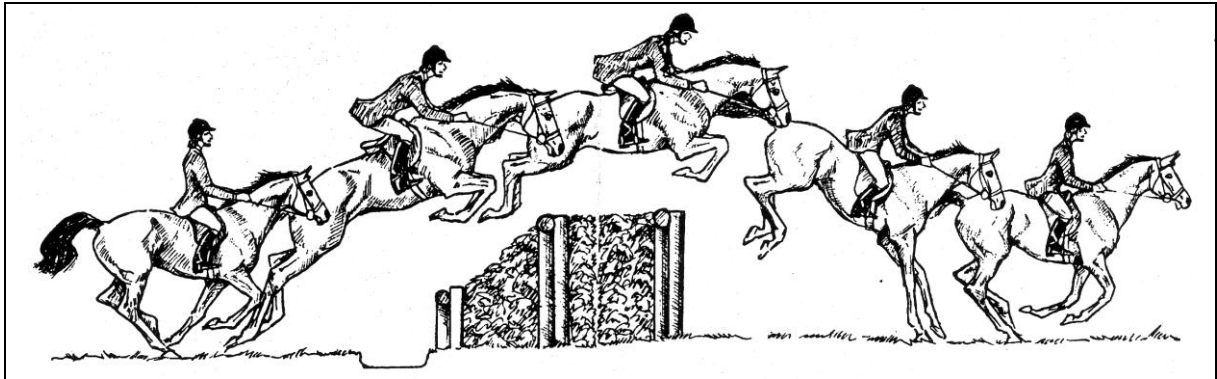
f. odriva

f. leta

f. doskoka

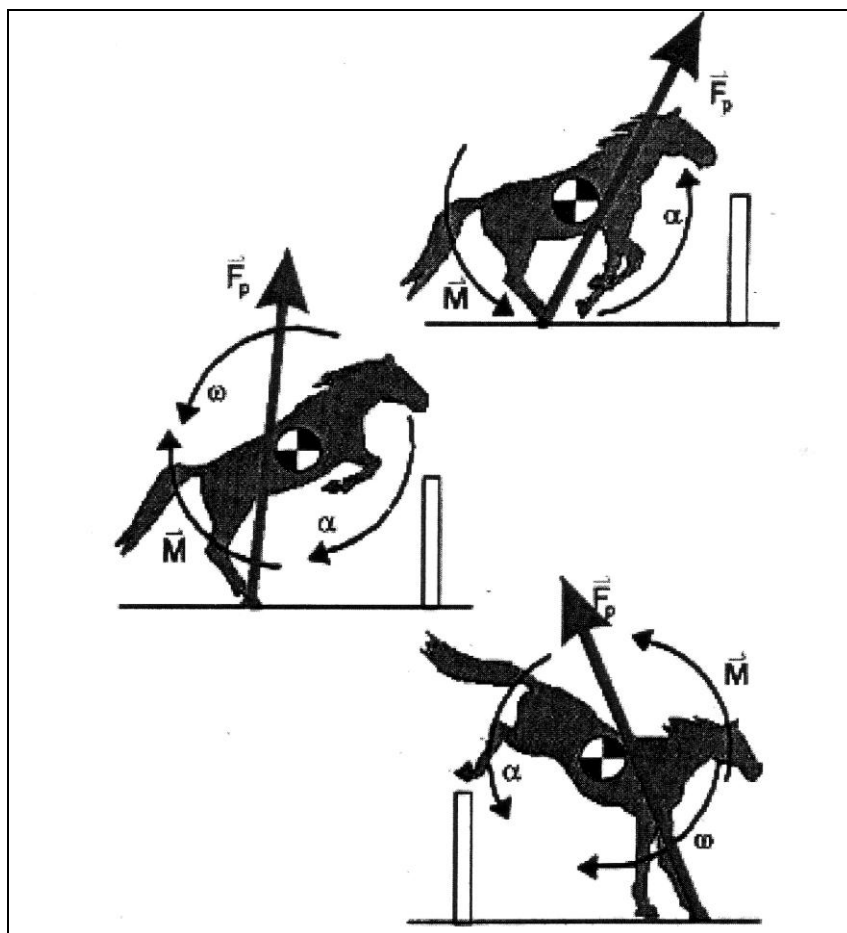
f. oddaljevanja

2B) Shematski prikaz faz skoka čez oviro sklopljenega sistema jahač-konj (The Manual of Horsemanship (9th edition), 1989).



Najprej se konj s sprednjimi nogami odrine navzgor, z zadnjimi nogami pa naprej in navzgor, kar zaradi ustreznega navora sile podlage povzroči pozitivni kotni pospešek α (nasprotna smer urnega kazalca), kot je prikazano na sliki 3 zgoraj (Fuss in Fuss, 1998). Ob koncu opisanega odriva ima konj pozitivno kotno hitrost w okrog lastnega težišča telesa, z zadnjimi nogami pa se odrine precej navzgor, da vzpostavi primeren navor sile podlage za negativni kotni pospešek, saj se mora njegovo telo začeti vrteti v nasprotno smer, če hoče na drugi strani ovire pristati na sprednje noge (slika 3 sredina). Pri pristanku se konj najprej dotakne tal s sprednjimi nogami, sila podlage pa mora imeti takšno smer, da povzroči pozitiven kotni pospešek, ker mora zavrteti negativno kotno hitrost, kot je prikazano na sliki 3 spodaj.

Slika 3: Shematski prikaz najbolj značilnih faz skoka čez oviro (Fuss in Fuss, 1998).



Gledano z vidika stroke, je v preskakovanju ovir zelo pomembna tudi tehnika skoka konja. Pri idealnem skoku konja naj bi se v fazi leta vrh parabole nahajal točno na sredini širinske ovire oziroma točno nad strmo oviro, in sicer okoli deset cm nad oviro (K. H. Vollmer, osebna komunikacija, 25. 11. 2006). To lastnost ocenjujejo pri selekciji mladih plemenskih žrebcev za plemenjake ter na tekmovanjih v prostem skakanju za mlade konje. Po tej teoriji naj bi se konj odrinil pred oviro in doskočil po oviri v enaki oddaljenosti od ovire. Tako skakanje naj bi bilo z vidika obremenitve sklepov in tetiv najracionalnejše in naj bi vplivalo na dolžino športne kariere konja, kar pa pomeni tudi kvaliteto konja.

2.2. Dosedanje raziskave

2.2.1. O meritvah, njihovih prednostih in pomanjkljivostih v preteklosti

V svetu je kinematika v konjeništvu, kot smo povedali, že nekaj desetletji v razvoju. Po Mareyu, ki je leta 1894 izboljšal Muybridgovo metodo, kjer so bile trajektorije sklepov in telesnih segmentov v gibanju lahko merjene na podlagi fotografij, narejenih v konstantnem časovnem intervalu, se je začelo obdobje sodobnega pristopa.

V zadnjih desetih letih so se začeli uporabljati markerji, ki so zalepljeni na telo konja in posneti s kinematografičnimi kamerami ali z videokamerami (Barrey, 1999). Posnetke je treba analizirati, da se lahko izmeri želene parametre. Markerji so narejeni iz majhnih kroglic ali pol sfer in zalepljeni na kožo na standardiziranih anatomskih mestih, kot nam kaže slika 4. Težave se pojavljajo pri premikanju kože, še posebno pri proksimalnih segmentih.

Za analizo lokomocije dirkalnih konj so bile uporabljene high-speed kamere (16 mm – 500 slik/s) (Barrey, 1999). Posnetek je bil narejen s kamero, ki je bila na avtu. Referenčne točke je bilo treba ročno določati na posnetku z računalnikom, kar je bilo zelo zamudno delo, vendar so bile s tem pridobljene mnoge zanimive lastnosti korakov konja. Z napredkom senzorjev posnetkov je mnogo profesionalnih high-speed kamer (100–2.000 slik/s) in domačih videokamer (50–60 slik/s) uporabnih za analizo lokomocij. Videosignal je lahko pretvorjen v digitalne posnetke, ki se jih lahko nato primerno obdelava s polavtomatičnimi ali avtomatičnimi programi za določanje koordinat markerjev v prostoru in času (Drevemo idr., 1993, v Barrey, 1999). Bolj napredne analize uporabljajo markerje, ki vsebujejo fotodiode (Cartesian Optoelectronic Dynamic Anthropometer CODA-3). Prednost tega sistema je v njegovi dobri resoluciji (0,2–2,6 mm) in tridimenzionalnosti, veliki snemalni hitrosti (300 Hz) ter v avtomatični možnosti aktivnih markerjev (Waren idr, 1990c, v Barrey, 1999). Glavna slabost pa je, da mora biti subjekt opremljen z večjim številom fotodiod, povezanih z žicami.

Večina študij lokomocij v konjeništvu prikazuje dvodimenzionalne analize gibanj, toda nekateri sistemi vsebujejo štiri ali več videokamer, ki omogočajo rekonstrukcijo gibanja v tridimenzionalnem prostoru in analizo nog na obeh straneh (Degeurcer idr., 1996, v Barrey, 1999). Ena od omejitev teh zapletenih analiz gibanja je omejen prostor, saj zajema samo pet metrov, kar pomeni le nekaj korakov hoda ali kasa. Za analizo športnih gibanj na večji površini je bil uporabljen postopek *paning technique and a parallax correction* (Holmstrom in Fredricson, 1992; Drevemo in Johnston, 1993; Gallux in Barrey, 1997, v Barrey, 1999).

Po snemanju je treba koordinate markerjev vnesti ročno, polavtomatsko ali avtomatsko na vsakem posnetku (Barrey, 1999). V večini sistemov je faza poti omejena zaradi velikega števila posnetkov, ki jih je treba analizirati. Potreben je ročni nadzor, saj markerji, še posebno tisti na distalnih delih in tisti, ki so skriti, niso vedno zaznani. Uporaba specifičnih algoritmov, kot je direktna linearna transformacija, je uspešen način za avtomatsko določanje lokacije markerjev na posnetku.

Po zajemu koordinat markerjev lahko hitrosti in kotne hitrosti pridobimo z računanjem odvoda trajektorij in kotov v odvisnosti od časa (Barrey, 1999). Če je pri posnetkih frekvenca večja, je drugi odvod kota v odvisnosti od časa kotni pospešek. Prednost kinematičnih metod je, da lahko pridobimo vse kinematične parametre (hitrost, translacijski pospešek, kotno hitrost itd.). Obstajajo različne metode za določitev težišča telesa (Springing in Leach, 1986; Kubo idr., 1992; v Barrey, 1999) in vztrajnostnih momentov vsakega segmenta (Galloux in Barrey, 1997, v Barrey, 1999). Če lahko težišče telesa in vztrajnostni moment vsakega segmenta določimo z merjenjem masne porazdelitve in velikosti segmentov, je mogoče iz kinematičnih podatkov teoretično oceniti kinetične parametre (silo in navor), ki določajo gibanje vsakega segmenta. Kinetična energija pa je lahko ocenjena za vsak segment in za celotno telo v gibanju (Duboy idr., 1994a. v Barrey, 1999). Z eksperimentalnega vidika sta bila navor in sila sprednjih sklepov predvidena tako z uporabo kinematičnih podatkov kot z merjenjem sil na podlago.

Tako so pomenile kinematične in kinetične analize pomemben prispevek k boljšemu vpogledu v konjsko lokomocijo (Buchner, Savelberg, Schamhard in Barneved, 1997). Kombinacija analiz, torej uporaba podatkov iz kinematike in kinetike, lahko služi kot

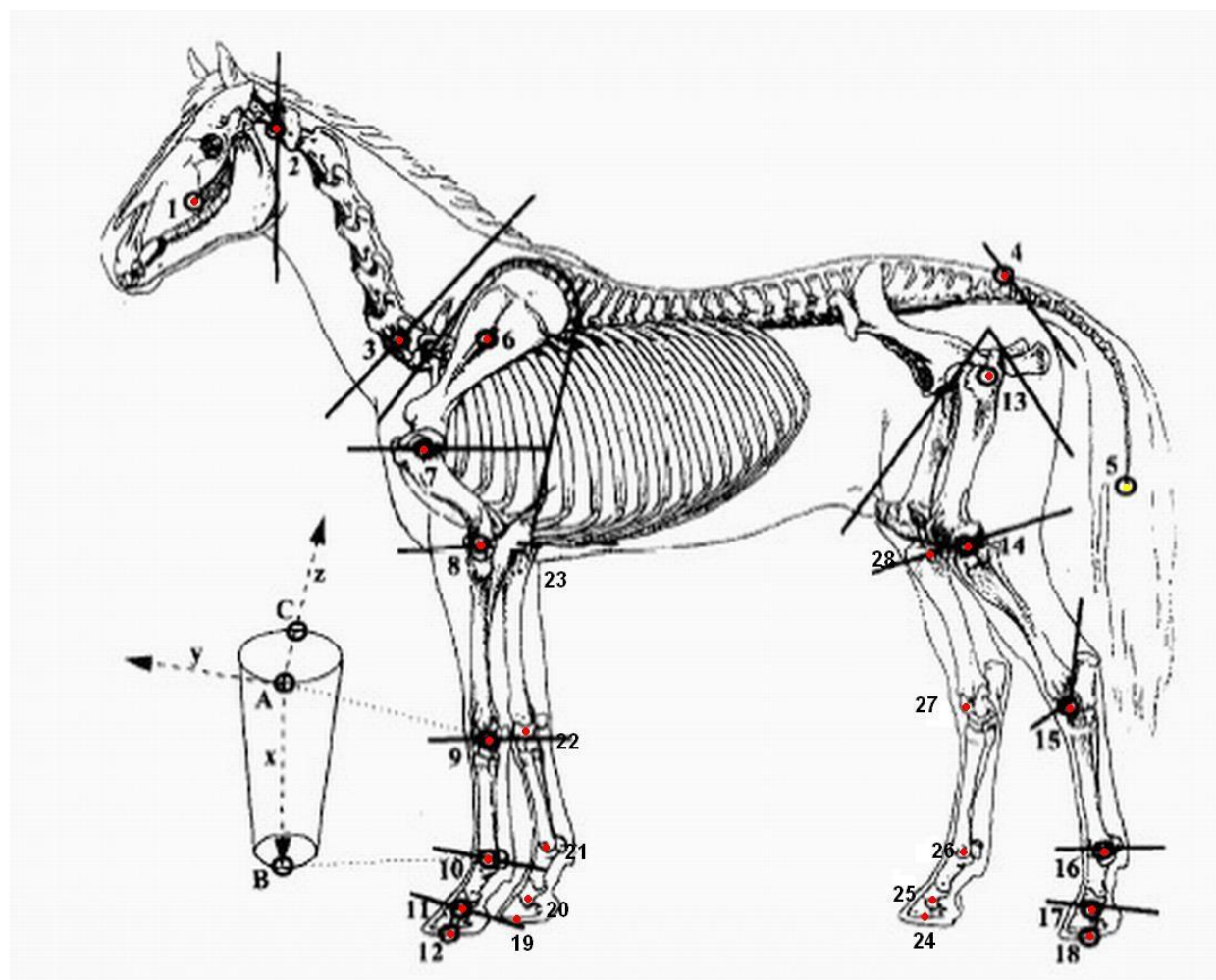
biomehanski model, osnovan na togem dinamičnem telesu. Če določimo segmentom točke, ki označujejo začetek in konec segmenta, lahko opazujemo gibanje segmentov. Poleg tega pa lahko merimo še reakcije sil podlage. Z uporabo inverzne dinamične analize notranjih sil sta lahko nato izračunana sunek navora ali prenos energij v določenih sklepih. V dinamičnem modelu so lokomocije simulirane z uporabo znanih notranjih sil in mehanike telesa (Bogert idr., 1989a, v Buchner idr., 1997). Tako za inverzni kot za dinamični model je potreben celoten set inercijskih lastnosti, ki vsebuje podatke o masah in vztrajnostnih tenzorjih telesnih segmentov (Leach and Crawford, 1983, v Buchner idr., 1997).

Inercijski podatki za segmente živečih subjektov so lahko ocenjeni po dveh različnih metodah. Lahko jih ocenimo z uporabo geometrijskega modela, kjer so oblike segmentov približno ocenjene, iz njih pa se lahko na podlagi volumna in gostote izračuna inercijske lastnosti; vendar pa so ti modeli zelo občutljivi na merske napake in za določene segmente niso primerni (Bogert idr., 1989b, v Buchner idr., 1997). Lahko pa uporabimo drugo metodo, in sicer regresijski model, ki temelji na študijah kadavrov (Chandler et al., 1975, v Buchner idr., 1997). Za pravilna predvidevanja, osnovana na tovrstnih analizah, sta potrebni dovolj velika baza podatkov ter kar največja podobnost med testiranimi objekti in originalnimi segmenti kadavrov (Heinrich, 1985, v Buchner idr., 1997).

Leta 1997 je Buchner s sodelavci izdelal celoten set tridimenzionalnih inercijskih lastnosti nemških toplokrvnih konj, ki vsebuje mase segmentov, vztrajnostni tenzor in gostote vseh telesnih segmentov. Na osnovi podatkov iz teh meritev bomo uporabili regresijske izračune za predvidevanje inercijskih lastnosti na živečih konjih. Podatki so predstavljeni v tabelah 1, 2 in 3 ter na sliki 4.

Slika 4: 26-segmentni model konja.

SEGMENTI	TOČKE
čeljust	1
nosač	2
sedmo vretence	3
križnica	4
rep	5
plečni greben	6
plečni sklep	7
komolec SD	8
koleno SD	9
bicelj SD	10
nadkopytnica SD	11
kopytnica SD	12
kolk D	13
koleno ZD	14
skočni sklep ZD	15
bicelj ZD	16
nadkopytnica ZD	17
kopytnica ZD	18
kopytnica SL	19
nadkopytnica SL	20
bicelj SL	21
koleno SL	22
komolec SL	23
kopytnica ZL	24
nadkopytnica ZL	25
bicelj ZL	26
skočni sklep ZL	27
koleno ZL	28



Premice, na katerih se nahajajo referenčne točke od 1 do 18, določajo meje segmentov na standardiziranih mestih na telesu (tabela 1). Shematska povečava enega segmenta prikazuje definicijo somatskega koordinatnega sistema, v katerem so opisani vsak segment s tremi referenčnimi točkami (A, B, C) in x-, y- in z-os (Buchner idr., 1997). Na Buchnerjevi sliki so referenčne točke le na levi strani konja, mi pa smo dodali točke tudi tistim segmentom, ki so vidni na desni strani. Tako so na sliki predstavljene vse referenčne točke, ki smo jih pri meritvah označili z markerji in jih kasneje opazovali na posnetkih. Skupno smo dobili 28 točk in 22 segmentov. Segment rep smo v meritvi izpustili, saj so vrednosti zelo majhne, referenčno točko pa je na posnetku težko opazovati. Trije segmenti, to so pleča, nadlahtnica in stegnenica, so na 2D posnetkih vidni le na eni strani, zato smo v izračunih predpostavili, da se gibljejo vzporedno vidnim segmentom in tako smo dobili skupno 25 segmentov.

Tabela 1: *Mase segmentov, referenčne točke, referenčne dolžine in položaji težišča telesa vzdolž treh osi segmenta za vse telesne segmente (Buchner idr., 1997).*

Segment	<i>n</i>	Masa (kg)	Gostota (g cm ⁻³)	Referenčna linija (A, B)	Referenčna dolžina L (m)	x-os % L	y-os % L	z-os % L
Trup (Trunk)	6	352.0 (41)	0.85 (0.05)	4-3	1.56 (0.04)	46.9 (1.7)	-10.3 (2.6)	5 (5)
Rep (Tail)	6	1.49 (0.26)	1.043 (0.026)	4-5	0.499 (0.018)	73 (16)	3 (12)	2 (5)
Glava (Head)	6	23.1 (2.0)	1.031 (0.010)	2-1	0.302 (0.015)	73 (5)	-9 (6)	29 (8)
Vrat (Neck)	6	26.8 (1.5)	1.038 (0.002)	3-2	0.540 (0.016)	46 (6)	11 (4)	16 (6)
Rama (Shoulder)	12	20.1 (1.6)	nm	6-8	0.44 (0.04)	40 (7)	6 (4)	12.2 (2.0)
Pleča (Scapula)	12	11.5 (0.9)	1.043 (0.013)	6-7	0.274 (0.015)	27(4)	-12(5)	21.0 (1.8)
Nadlahtnica (Brachium)	12	8.6 (1.5)	1.048 (0.013)	7-8	0.25 (0.03)	51(8)	- 5.0 (2.8)	30 (4)
Podlahtnica (Antebrachium)	12	6.7 (0.6)	1.12 (0.03)	8-9	0.434 (0.025)	35 (3)	-2.1 (2.3)	14.2 (0.9)
Sprednja piščalnica (Metacarpus)	12	1.59 (0.09)	1.29 (0.04)	9-10	0.287 (0.011)	44 (4)	-1.0 (0.3)	17.4 (2.1)
Sprednji prsti (Digit forelimb)	12	1.83 (0.21)	nm	10-11	0.130 (0.012)	92 (5)	-18 (8)	36 (5)
Sprednja biceljnica (Pastern forelimb)	12	0.73 (0.05)	1.25 (0.03)	10-11	0.135 (0.007)	46 (4)	-11 (4)	33 (4)
Sprednja kopitnica (Fore hoof)	12	1.08 (0.23)	1.181 (0.011)	11-12	0.099 (0.012)	29 (6)	-20 (6)	50 (6)
Stegenica (Thigh)	12	18.6 (2.3)	1.047 (0.007)	13-14	0.36 (0.04)	59 (8)	-12 (4)	20.6 (1.7)
Golenica (Crus)	12	8.3 (0.8)	1.109 (0.019)	14-15	0.434 (0.023)	37.9 (2.5)	-8.4 (2.5)	14 (6)
Zadnja piščalnica (Metatarsus)	12	2.84 (0.22)	1.284 (0.027)	15-16	0.353 (0.026)	32 (4)	-6.7 (2.5)	13.3 (2.8)
Prsti zadnje noge (Digit hind limb)	12	1.87 (0.16)	nm	16-17	0.135 (0.011)	92 (5)	-18 (6)	32 (6)
Zadnja biceljnica (Pastern hind limb)	12	0.89 (0.04)	1.23 (0.03)	16-17	0.141 (0.006)	43 (5)	-13 (4)	29 (4)
Zadnja kopitnica (Hind hoof)	12	0.99 (0.17)	1.179 (0.012)	17-18	0.101 (0.012)	31 (5)	-22 (4)	43 (4)

Podatki so predstavljeni kot povprečne vrednosti šestih konjev, v oklepaju pa je prikazana standardna deviacija. Referenčna linija je definirana kot linija med dvema referenčnima točkama A in B z dolžino L. Referenčne točke so definirane na sliki 4 (Buchner idr., 1997).

Tabela 2: Vztrajnostni moment in produkti inercije (P) (kg m^2) šestih konjev (Buchner idr., 1997). Podatki so predstavljeni kot povprečja šestih konjev.

Segment	n	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}	P_{xy}	P_{yz}	P_{xz}
Trup (Trunk)	6	28 (10)	68 (19)	66 (13)	2 (4)	-1 (7)	0 (7)
Rep (Tail)	6	—	—	—	—	—	—
Glava (Head)	6	0.27 (0.09)	0.57 (0.09)	0.71 (0.11)	0.154 (0.024)	0.01 (0.05)	0.012 (0.029)
Vrat (Neck)	6	0.38 (0.14)	0.73 (0.10)	0.94 (0.09)	0.04 (0.018)	-0.04 (0.08)	-0.01 (0.08)
Rama (Shoulder)	12	0.26 (0.06)	0.55 (0.12)	0.74 (0.15)	-0.09 (0.06)	0.02 (0.07)	0.00 (0.06)
Pleča (Scapula)	12	0.099 (0.021)	0.183 (0.021)	0.27 (0.04)	-0.032 (0.024)	-0.05 (0.19)	-0.004 (0.025)
Nadlahtnica (Brachium)	12	0.078 (0.027)	0.061 (0.020)	0.11 (0.03)	0.016 (0.011)	-0.002 (0.008)	-0.002 (0.005)
Podlahtnica (Antebrachium)	12	0.022 (0.003)	0.120 (0.015)	0.129 (0.016)	-0.007 (0.006)	0.002 (0.005)	0.001 (0.003)
Sprednja piščalnica (Metacarpus)	12	0.0014 (0.0008)	0.0147 (0.0022)	0.0146 (0.0020)	0.0005 (0.0013)	-0.0004 (0.0010)	-0.0004 (0.001)
Sprednji prsti (Digit forelimb)	12	0.0028 (0.0012)	0.0096 (0.0030)	0.0091 (0.0022)	0.0004 (0.0008)	0.0000 (0.0006)	-0.0003 (0.0005)
Sprednja biceljnica (Pastern forelimb)	12	0.00020 (0.00007)	0.0012 (0.0003)	0.0012 (0.0004)	0.00023 (0.00018)	0.00005 (0.00014)	-0.00020 (0.00015)
Sprednja kopitnica (Fore hoof)	12	0.0018 (0.0008)	0.0017 (0.0007)	0.0015 (0.0006)	-0.00040 (0.00016)	0.00001 (0.00013)	0.00025 (0.00011)
Stegnenica (Thigh)	12	0.25 (0.07)	0.25 (0.06)	0.34 (0.08)	-0.01 (0.06)	0.00 (0.05)	0.00 (0.05)
Golenica (Crus)	12	0.040 (0.014)	0.130 (0.024)	0.145 (0.025)	-0.014 (0.011)	-0.002 (0.009)	0.003 (0.008)
Zadnja piščalnica (Metatarsus)	12	0.0035 (0.0010)	0.048 (0.004)	0.050 (0.003)	-0.003 (0.004)	-0.0008 (0.0019)	0.0010 (0.0027)
Prsti zadnje noge (Digit hind limb)	12	0.0024 (0.0007)	0.0097 (0.0017)	0.0101 (0.0009)	-0.0002 (0.0011)	0.0000 (0.0004)	-0.0002 (0.0007)
Zadnja biceljnica (Pastern hind limb)	12	0.00047 (0.00008)	0.00196 (0.00029)	0.00194 (0.00027)	-0.00016 (0.00019)	-0.00008 (0.00015)	-0.00010 (0.00021)
Zadnja kopitnica (Hind hoof)	12	0.0017 (0.0009)	0.0012 (0.0007)	0.0013 (0.0005)	-0.00028 (0.00018)	-0.00002 (0.00013)	0.00029 (0.00027)

Tabela 3: Regresijski model, korelacijski koeficient (*R*), standardna napaka predvidevanja (*STE*) in relativna *STE* (Buchner idr., 1997).

Segment	H	Regression equation	R	STE	Rel. STE (%)
Trup (Trunk)	6	$m = 0.912M - 139$	0.978	10	2.8
		$Y = -0.861L + 1.181$	0.930	0.016	1.0
		$I_{xx} = 0.0676mL^2 - 30.24$	0.984	2	7.4
		$I_{yy} = 4521 - 637$	0.930	9	12.8
		$I_{zz} = 0.0774mL^2 - 0.399$	0.875	8	11.4
Rep (Tail)	6	$m = 10.646L - 3.824$	0.740	0.21	14.2
Glava (Head)	6	$X = 0.825L - 0.030$	0.787	0.012	4.0
		$I_{yy} = 0.226mL^2 + 0.093$	0.759	0.08	13.2
Rama (Shoulder)	12	$m = 30.68L + 6.46$	0.794	1.1	5.2
		$X = 0.446L - 0.019$	0.620	0.025	5.7
		$I_{yy} = 0.076mL^2 + 0.244$	0.630	0.11	18.3
		$I_{zz} = 2.838L - 0.519$	0.783	0.11	13.6
Pleča (Scapula)	12	$m = 41.83L + 0.047$	0.699	0.7	6.4
		$X = 0.714L - 0.121$	0.884	0.007	2.6
		$I_{zz} = 0.191L - 0.10783$	0.720	0.03	11.5
Nadlahtnica (Brachium)	12	$m = 0.248M - 4.751$	0.811	1.0	11.3
		$X = 0.462L + 0.012$	0.782	0.014	5.6
		$I_{yy} = 0.0869mL^2 + 0.0119$	0.921	0.009	14.1
		$I_{zz} = 0.103L + 0.0552$	0.690	0.03	23.1
Podlahtnica (Antebrachium)	12	$m = 17.76L - 1.017$	0.701	0.5	7.3
		$X = 0.423L - 0.032$	0.809	0.008	1.8
		$I_{xx} = 0.00936mL^2 + 0.009705$	0.696	0.003	3.5
		$I_{yy} = 0.05119mL^2 + 0.054379$	0.862	0.008	13.8
		$I_{zz} = 0.05128mL^2 + 0.063668$	0.835	0.009	7.3
Srednja piščalnica (Metacarpus)	12	$X = 0.499L - 0.018$	0.497	0.010	3.5
		$I_{yy} = 0.0900mL^2 + 0.00297$	0.615	0.0019	12.9
		$I_{zz} = 0.0913mL^2 + 0.00265$	0.671	0.0016	11.0
Srednji prsti (Digit forelimb)	12	$m = 0.00245M + 0.508$	0.522	0.20	10.7
		$I_y = 0.307mL^2$	0.531	0.0028	28.8
Srednja biceljnica (Pastern forelimb)	12	$m = 4.283L + 0.152$	0.682	0.04	5.7
		$X = 0.510L - 0.007$	0.722	0.004	3.0
		$I_{yy} = 0.139mL^2 - 0.00063$	0.881	0.0002	14.2
		$I_{zz} = 0.157mL^2 - 0.00088$	0.829	0.0002	20.0
Srednja kopitnica (Fore hoof)	12	$m = 15.95L - 0.510$	0.822	0.15	13.4
		$X = 0.383L - 0.010$	0.807	0.004	4.0
		$Y = -0.326L + 0.012$	0.601	0.006	6.0
		$I_{xx} = 0.169mL^2 - 0.00009$	0.888	0.0004	22.8
		$I_{yy} = 0.156mL^2 - 0.00005$	0.979	0.0002	8.8
Stegnenica (Thigh)	12	$I_{zz} = 0.143mL^2 - 0.00005$	0.952	0.0002	14.7
		$X = 0.685L - 0.033$	0.813	0.020	5.6
		$m = 18.53L + 0.242$	0.504	0.8	9.6
		$X = 0.379L$	0.774	0.008	1.8
Golenica (Crus)	12	$I_{yy} = 0.077mL^2 + 0.00879$	0.829	0.015	11.5
		$I_{zz} = 0.078mL^2 + 0.02260$	0.814	0.016	10.9

Matešič N.: Kinematika sklopljenega sistema jahač-konj pri prehodu čez širinsko oviro

Segment	H	Regression equation	R	STE	Rel. STE (%)
Zadnja piščalnica (Metatarsus)	12	$m = 5.753L + 0.812$	0.673	0.18	6.3
		$X = 0.593L - 0.095$	0.924	0.007	2.0
		$I_{yy} = 0.025mL^2 + 0.0395$	0.523	0.003	6.8
		$I_{zz} = 0.0246mL^2 + 0.00285$	0.569	0.003	5.7
Prsti zadnje noge (Digit hind limb)	12	$m = 0.00254M + 0.504$	0.725	0.12	6.3
		$I_{xx} = -0.0406L + 0.0079$	-0.595	0.0007	27.1
Zadnja kopitnica (Hind hoof)	12	$m = 15.00L - 0.538$	0.929	0.07	7.1
		$X = 0.456L - 0.0143$	0.926	0.002	1.4
		$I_{xx} = 0.2103mL^2 - 0.00053$	0.891	0.00044	25.8
		$I_{yy} = 0.042L - 0.00307$	0.629	0.00061	50.1
		$I_{zz} = 0.1149mL^2 + 0.00005$	0.861	0.00028	21.4

Veliko let pred Buchnerjem, že leta 1930, je Winter izdelal podoben model za človeka, ki ga prikazujeta slika 5 in tabela 4.

Slika 6: Prikaz referenčnih točk na človeku.

SEGMENTI	TOČKE
metatarsus	1
gleženj	2
koleno	3
kolk	4
rama	5
glava	6
komolec	7
zapestje	8



Tabela 4: Antropometrični podatki za človeka (Winter, 1990).

Segment (točke)	Definicija	Masa segmenta /Celotna masa telesa	Težišče telesa/Dolžina segmenta		Vztrajnostni radij/Dolžina segmenta			Gostota
			Proksimalno	Distalno	C of G	Proksimalno	Distalno	
Dlan (8)	Articulatio radiocarpea/articulatio interphalangea digiti III (Wrist axis/knuckle II middle finger)	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297	0.587	0.577 M	1.16
Podlaht (7-8)	Articulatio cubiti/processus styloideus ulnae (Elbow axis/ulnar styloid)	0.016 M	0.430	0.570 P	0.303	0.526	0.647 M	1.13
Nadlaht (5-7)	Articulatio humeri/articulation cubiti (Glenohumeral axis/elbow axis)	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322	0.542	0.645 M	1.07
Podlaht z dlanjo	Articulatio cubiti/processus styloideus ulnae (Elbow axis/ulnar styloid)	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468	0.827	0.565 P	1.14
Celotna roka	Articulatio humeri/processus styloideus ulnae (Glenohumeral joint/ulnar styloid)	0.050 M	0.530	0.470 P	0.368	0.645	0.596 P	1.11
Stopalo (2-1)	Malleolus lateralis/caput ossis metatarsalis I (Lateral malleolus/head metatarsal II)	0.0145 M	0.50	0.50 P	0.475	0.690	0.690 P	1.10
Golen (3-2)	Condylus femoris/malleolus medialis (Femoral condyles/medial malleolus)	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302	0.528	0.643 M	1.09
Stegno (4-3)	Trochanter major femoris/condylus femoris (Greater trochanter/femoral condyles)	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323	0.540	0.653 M	1.05
Stopalo in golen	Condylus femoris /malleolus medialis (Femoral condyles/ medial malleolus)	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416	0.735	0.572 P	1.09

		Težišče telesa/Dolžina segmenta			Vztrajnostni radij/Dolžina segmenta			
Segment (točke)	Definicija	Masa segmenta /Celotna masa telesa	Proksimalno	Segment (točke)	Definicija	Masa segmenta/Celotna masa telesa	Proksimalno	Segment (točke)
Celotna noga	Trochanter major femoris/malleolus medialis (Greater trochanter/medial)	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326	0.560	0.650 P	1.06
Glava in vrat (5-6)	C7-Th1 et costa II/meatus acusticus externus (C7-T1 and 1st rib/ear canal)	0.081 M	1.000	— PC	0.495	1.116	— PC	1.11
Predel rame	Articulatio sternoclavicularis/gleno humeral axis (Sternoclavicular joint/glenohumeral axis)	—	0.712	0.288	—	—	—	1.04
Prsni koš	C7-Th1/Th12-L1 et diaphragma*	0.216 PC	0.82	0.18	—	—	—	0.92
Trebuh	T12-L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	—	—	—	—
Medenica	L4-L5/trochanter major femoris* (L4-L5/greater trochanter*)	0.142 LC	0.105	0.895	—	—	—	—
Prsni koš in trebuh	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	—	—	—	—
Trebuh in medenica	T12-L1/trochanter major femoris * (T12-L1/greater trochanter)	0.281 PC	0.27	0.73	—	—	—	1.01
Trup (4-5)	Trochanter major femoris/articulatio humeri* (Greater trochanter/glenohumeral joint)	0.497 M	0.50	0.50	—	—	—	1.03
Trup, glava in vrat	Trochanter major femoris/articulatio humeri * (Greater trochanter/glenohumeral joint)	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503	0.830	0.607 M	—
HAT	Trochanter major femoris/articulatio humeri * (Greater trochanter/glenohumeral joint)	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496	0.798	0.621 PC	—

		Težišče telesa/Dolžina segmenta				Vztrajnostni radij/Dolžina segmenta		
Segment (točke)	Definicija	Masa segmenta /Celotna masa telesa	Proksimalno	Segment (točke)	Definicija	Masa segmenta /Celotna masa telesa	Proksimalno	Segment (točke)
HAT	Trochanter major femoris/costa (Greater trochanter/mid rib)	0.678	1.142	—	0.903	1.456	—	—

*Ti segmenti so predstavljeni kot relativna dolžina med trochanter major femoris/articulatio humeri (Winter, 1990).

2.2.2. O raziskavah s področja preskakovanja ovir, ki obravnavajo sistem konja

Med olimpijskimi igrami leta 1988 je bila narejena kinematika na 29 konjih pri skoku širinske ovire (okserja), analizirana pa je bila tudi povezava vseh napak (Duel in Park, 1991, v Barrey, 1999). Nekaj napak je bilo povezanih z majhno hitrostjo v brezoporni fazi ter z bližjim položajem zadnjih nog pri odzivu in sprednjih nog pri doskoku.

Druga študija na elitnih skakalnih konjih pri skoku višinske ovire je pokazala, da odziv z zadnjimi nogami proizvede večino mehanske energije, ki je potrebna za uspešen skok (Bogert idr., 1994, v Barrey, 1999). Akcija sprednjih nog pa bi morala biti omejena na to, da postavi položaj konjevega telesa v pravilno smer, preden se odrinejo zadnje noge.

Vertikalna hitrost pri odzivu je bila natančneje opazovana pri konjih, ki so uspešno preskočili širok vodni jarek (4,5 metra) (Clayton idr., 1995, v Barrey, 1999). Kot hitrosti glede na horizontalo ravnino je bil 15°, pri neuspešnem skoku pa je znašal 12°. Tudi vertikalna komponenta hitrosti je bila pri uspešnih skokih za približno 0,5 m/s večja kot pri neuspešnih skokih. Ta začetna hitrost je bila generirana z impulzom zadnjih nog in determinirana z balističnimi karakteristikami leta telesa (Barrey, 1999).

Te kinematične ugotovitve se skladajo s še eno študijo, ki je pokazala, da imajo slabi skakalni konji nižji vrh pospeševanja zadnjih nog pri odzivu (Barrey in Galloux, 1997, v Barrey, 1999). Slabi skakalni konji prevečkrat rušijo oviro s sprednjimi nogami, za kar je odgovoren sunek sile, pospešek zadnjih nog pa je prešibak za uspešen skok. Ta sila je bistven faktor, ki vpliva na uspeh skoka, ker določa balističen let težišča telesa in karakteristike telesne rotacije čez oviro v času brezoporne faze. Vztrajnostni moment in njegov vpliv na rotacijo telesa je bil proučevan v skupini skakalnih konj, vendar konsistentne povezave z nivojem nastopa niso našli (Galloux in Barrey, 1997, v Barrey, 1999). Več napak je bilo ugotovljenih pri konjih, ki so galopirali s frekvenco korakov nižjo ali enako 1,76 cikla na sekundo in so jo pri odzivu še zmanjšali.

Pri skakanju telo konja dvakrat spremeni smer kota in zato sta za uspešen skok potrebna pospeševanje in zaustavljanje. Fuss in Fuss (1998) sta proučevala kotni pospešek pri 1,6 metra visokemu in 1,2 metra širokemu okserju. Ugotovila sta, da je odločilen faktor pospeševanje v času dviganja telesa. Posebej pri visokih ovirah in velikih hitrostih se to izkaže kot krajšanje časa parkurja in lahko privede (če konj ne poruši nobene ovire) do zmage. Tako zaključujeta, da je merjenje kotnega pospeška uporaben pripomoček pri testu ocenjevanja sposobnosti skakalnih konj.

2.2.3. O raziskavah s področja preskakovanja ovir sklopljenega sistema jahač-konj

V dresuri so se raziskave o sistemu jahač-konj pojavile nekoliko prej. Tako so npr. Kapaun, Peham, Licka in Scheidl že leta 1998 raziskovali vpliv jahača na kas konja pri jahanju. Prva raziskava, ki je obravnavala sistem jahač-konj pri preskakovanju ovir, pa je bila, kot smo zasledili, opravljena leta 2002. To temo sta začela proučevati Powersova in Harrison na Univerzi v Limericku. Proučevala sta vpliv jahača z 2D kinematiko pri skakalnih konjih. Ta raziskava je prva, ki je uporabila tudi antropometrijo po Buchnerju in njegovih sodelavcih. To antropometrijo smo uporabili tudi v tej nalogi. Pred tem so uporabljali maso segmentov in računali težišče telesa na način, ki ga je predstavil Kubo s svojimi sodelavci (1992, v Powers in Harrison, 2004), in v tako opravljenih raziskavah prihaja do razlik.

Pri proučevanju sunka navora in kotne hitrosti skakalnega konja v času brezoporne faze pri en meter visoki oviri (Powers in Harrison, 2002) so ugotovili, da jahač nima pomembnega vpliva na prenos sunka navora v času leta. Tako so zaključili, da pride do glavnega vpliva jahača na kontrolo rotacije konja pri skoku že pred odzivom. Masa jahača in njena porazdelitev pa imata minimalni vpliv na rotacijo konja in je zato največji vpliva jahača v ukazih, ki jih daje konju, in v komunikaciji med jahačem in konjem. To, trdijo, naj bi bilo v opomin trenerjem, ki večino časa na treningih posvetijo položaju telesa jahača v skoku. Pomanjkljivost te študije pa je, da je bila narejena le na nizkih ovirah; zanimivo bi bilo videti, kakšen je vpliv jahača na visokih ovirah (1,40–1,60 metra).

Leta 2006 so Lewczuk, Slonewski in Reklewski naredili raziskavo o ponovljivosti parametrov pri preskakovanju ovir. Primerjali so proste skoke in skoke z jahačem. Ugotovili so, da je večja ponovljivost skakalnih parametrov pri konjih z jahačem in pri višjih ovirah. Tako zaključujejo, da se sposobnost konjev bolje ocenjuje na višjih ovirah.

2.3. Namen naloge

S to nalogo posegamo na področje biomehanike konjeništv. S pilotsko študijo, ki predstavlja pionirsko študijo v Sloveniji, želimo preveriti model sklopljenega sistema jahač-konj, izračunati težišči jahača in konja in težišče sistema v različnih fazah prehoda čez oviro ter opazovati, v kakšnih prostorskih odnosih so težišča. Predstavljena metoda lahko služi za kvalitativno ocenjevanje premočrtnih gibanj konja in sklopljenega sistema jahač-konj, kar omogoča, da optimaliziramo in posplošimo tehniko jahanja, pomaga pa lahko tudi pri ocenjevanju za selekcioniranje konjske populacije.

3. Cilji

Cilj diplomske naloge je predstaviti uporabnost 2D kinematike v konjeništvu. V ta namen predstavljamo 2D biomehanski model sklopljenega sistema jahač-konj ter postopke za izračun in analizo nekaterih kinematičnih parametrov tega sistema pri skoku čez širinsko oviro.

Poudarek naloge bo na računanju težišč konja, težišč jahača in njunega skupnega težišča v vseh fazah skoka ter na medsebojni legi težišč in položaju težišča sistema glede na oviro. Poleg tega pa se bomo posvetili tudi opazovanju razlik v legi težišča jahača pri jahačih različnih kakovostnih razredov.

4. Hipoteze

V skladu s cilji smo oblikovali naslednje hipoteze:

H1 – Z 2D kinematiko se lahko računa težišče konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj.

H2 – Težišče konja in težišče jahača imata skupno težiščnico.

H3 – Najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez oviro je točno na sredini širinske ovire.

H4 – Antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir.

5. Metode dela

5.1. Vzorec merjencev

V vzorec so bili vključeni 14-letna nemška skakalna toplokrvna kobila ter dva jahača. Na posnetku 3.1 in 10.1 je jahal profesionalni jahač, ki tekmuje na tekmovanjih svetovnega nivoja, na državni ravni pa je v letu 2006 osvojil naslov državnega prvaka v članski konkurenci. Na posnetku 4.2 pa je jahala amaterska jahačica. Oba sta bila stara 23 let. Jahača različne kakovosti smo izbrali zato, da lahko opazujemo, ali prihaja med njima do razlik.

5.2. Vzorec spremenljivk

Merjene spremenljivke so bile: vsi sklepi konja in jahača, masa obeh jahačev ter masa konja.

Konj je bil označen s 27 markerji (marker na repu – številka pet – smo izpustili), jahača pa sta bila označena vsak z osmimi markerji. Markerji so bili beli papirnati krogi s premerom pet centimetrov, na katerih je bil na hrbtni strani obojestranski lepilni trak. Tu lahko omenimo, da je prihajalo do zapletov, ko se je konj spotil in so se nekateri markerji odlepili. Zato bi bilo v prihodnje bolje uporabiti dva koščka obojestranskega lepilnega traka in vmes zalepiti nekaj dlake, da se markerji s prepotenega konja ne bi odlepili.

Skupno smo izmerili 22 segmentov konja (v izračunih smo upoštevali 25 segmentov) in osem segmentov jahača (v izračunih smo upoštevali 14 segmentov). Masa kobile je bila ocenjena na 700 kilogramov. Masa jahača 1 (amaterska jahačica) je znašala 52, masa jahača 2 (profesionalni jahač) pa 78 kilogramov. Višina jahača 1 je 1,63 metra, jahača 2 pa 1,89 metra. Višina okserja (širinske ovire) v posnetku 3.1 in 4.2 je

bila 1,00 metra, na posnetku 10.1 pa 1,30 metra. Širina okserja je bila v vseh treh posnetkih enaka, to je 0,80 metra.

Izračunane spremenljivke pa so bile: mase in dolžine posameznih segmentov konja in mase segmentov jahača, trajektorije težišča konja in težišča jahača, trajektorija skupnega težišča sklopljenega sistema jahač-konj, koti med težiščem konja in težiščem jahača, hitrosti potovanja težišča sklopljenega sistema jahač-konj ter oddaljenost težišča sistema od ovire med skokom.

Analiza je bila narejena na sistemu jahač-konj.

5.3. Organizacija zbiranja podatkov

Tako konju kot obema jahačema smo nalepili markerje na skrajne konce segmentov. Meritev smo posneli z mini DV-kamkorderjem JVC GR-DV4000E, ki je bil postavljen pravokotno (90°) na prvi stebriček ovire. Meritve smo posneli v enem dnevu. Začeli smo z ogrevanjem in s štirimi poskusnimi skoki čez 0,80 metra visoko višinsko oviro. Nato smo začeli snemati. Najprej smo posneli skoke čez 1,00 metra in nato 1,30 metra visoko višinsko oviro, nato pa še skoke čez 1,00 metra in 1,30 metra visoko širinsko oviro. Amaterska jahačica je preskakovala le nižje ovire, visoke 1,00 metra, profesionalni jahač pa obe višini. Poleg tega smo posneli še pospeševanje z mesta v galop in zaustavljanje iz galopa v stoj. Vsak skok smo ponovili štirikrat. Posnetek je bil zajet v PAL-standardu s 25 Hz. Kamera je bila postavljena na višini 1,30 metra, od ovire pa je bila oddaljena 44,50 metra. Prostor smo odmerili med dvema stebričkoma. Dolžina tega prostora je bila 8,00 metra.

S programom WinDV smo prenesli posnetke s kamere na PC. Odločili smo se, da bomo v tej nalogi opazovali sistem jahač-konj le pri prehodu čez širinsko oviro, saj se je bilo zaradi obsega podatkov treba osredotočiti na ožje področje. Izmed vseh posnetkov smo nato izbrali po en skok vsakega jahača. Izbrali smo skoka, ki sta ju tako jahača kot konj tehnično najpravilneje izvedla. Tako smo izpustili posnetke, kjer je konj oviro podrl, se zaustavil ...

Slika 7: Kalibriranje v programu AviMes.



5.4. Metode obdelave podatkov

S programoma VirtualDub in AviSynth smo posnetke obdelali in tako z metodo 'fields to frames' 25 Hz posnetke pretvorili v 50 Hz. Pri vsakem od posnetkov smo uporabili 71 slikic (pri posnetku 10.1 je bilo 75 slikic, v obdelavo pa smo jih zajeli 71 – prvo, 73., 74. in 75. slikico smo izpustili) z različnimi položaji konja, vsaka traja 0,02 sekunde, tako je skupna dolžina vsakega posnetka 1,40 sekunde.

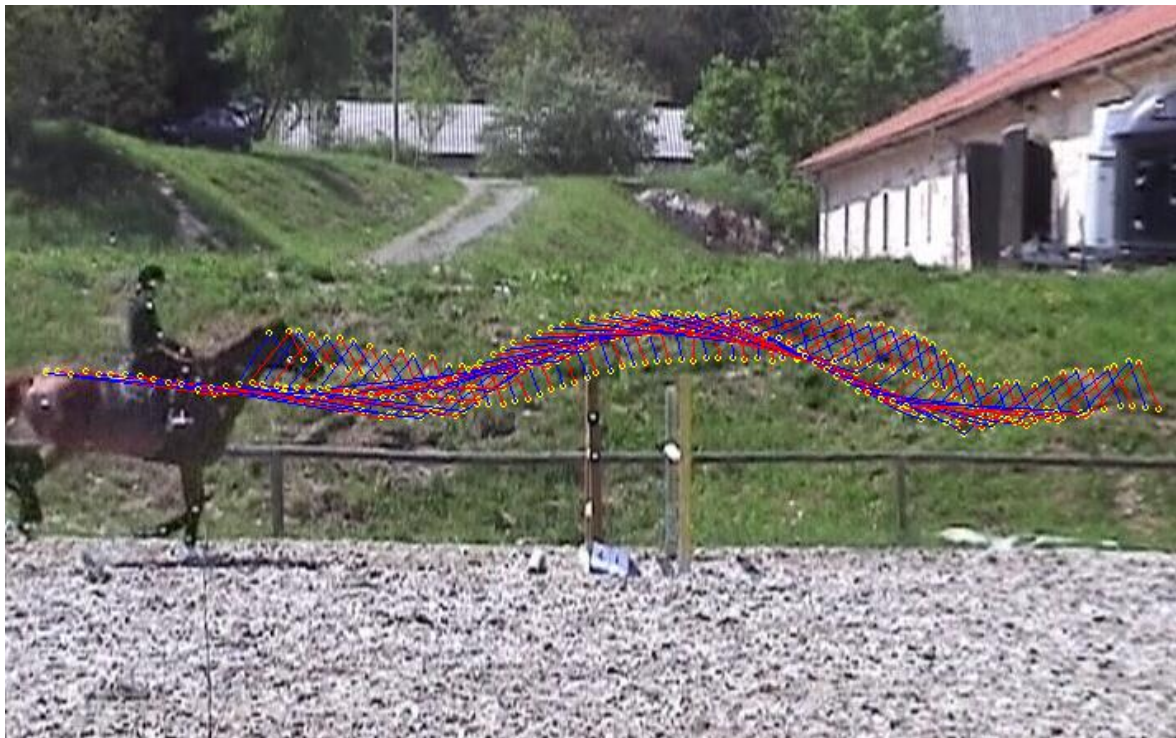
S programom AviMesAD 2.3, ki omogoča avtomatsko digitalizacijo, smo naredili 2D kinematično analizo. Tu se je pri avtomatičnem zaznavanju markerjev zapletlo, saj se je konj spotil in je nekatere markerje izgubil, tako je bilo treba večji del točk ročno vnesti. Pri jahaču so bili markerji vsi dobro vidni, vendar pa markerja na rami in kolku nista bila na pravem mestu (ramena so rahlo potisnjena naprej, noge pa v kolku pokrčene), zato smo popravke točk vnesli ročno in s tem napako odpravili.

Dobljene skalibrirane 2D podatke smo prenesli v program Excel ter jih računsko obdelali.

5.5. Kinogrami

Pri številu markerjev se je zapletlo. Program AviMes je zaznaval skupno največ 18 točk in le eno verigo. Ker pa je pri sistemu jahač-konju 35 markerjev in sedem verig, smo vsako verigo, vsako posamezno nogo konja, trup konja in verigo jahača, naredili posebej.

Slika 8: Kinogram prikazuje verigo trupa konja (posnetek 4.2.).



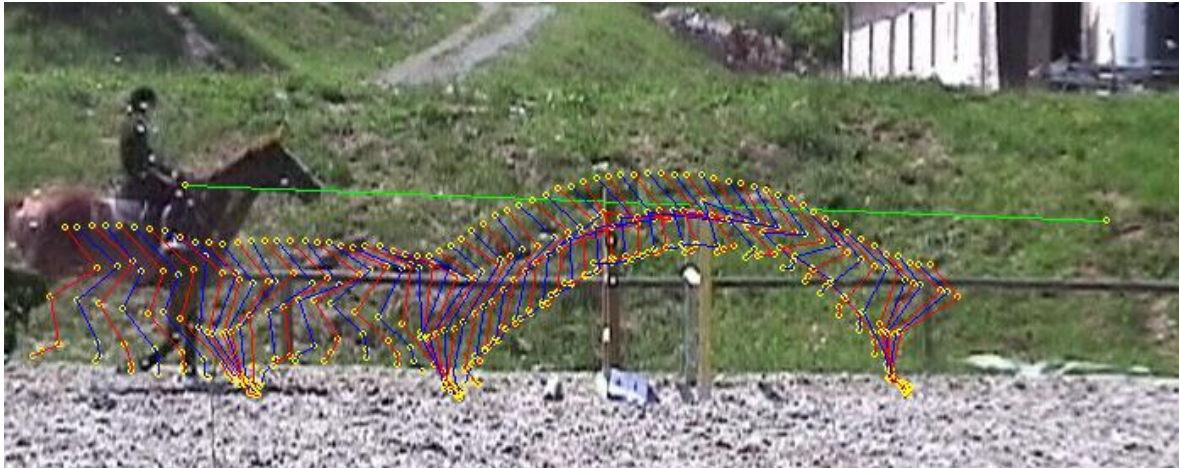
Slika 9: Kinogram prikazuje verigo sprednje desne noge konja (posnetek 4.2.).



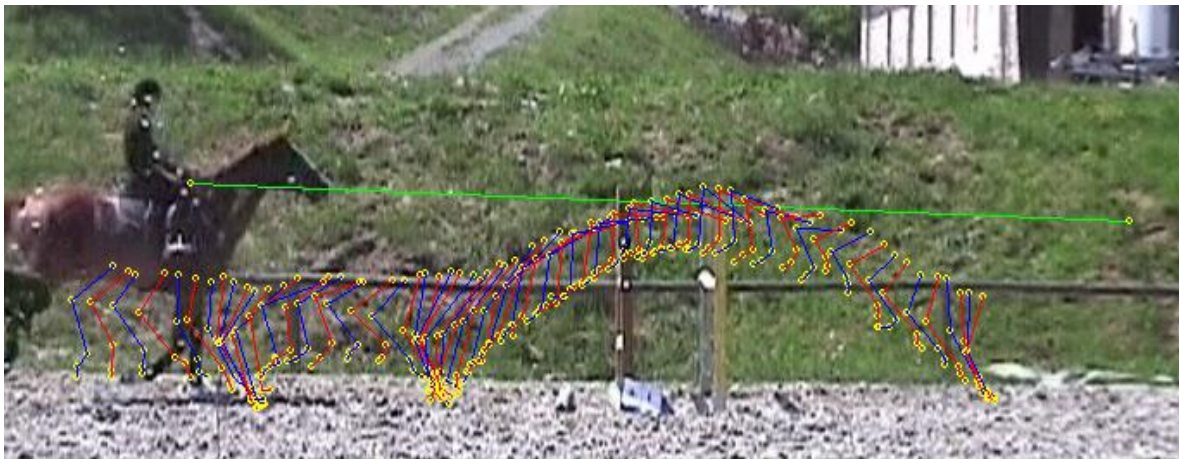
Slika 10: Kinogram prikazuje verigo sprednje leve noge konja (posnetek 4.2.).



Slika 11: Kinogram prikazuje verigo zadnje desne noge konja (posnetek 4.2.).



Slika 12: Kinogram prikazuje verigo zadnje leve noge konja (posnetek 4.2.).



Slika 13: Kinogram prikazuje verigo jahača (posnetek 4.2.).



Kasneje smo program izboljšali in tako smo lahko izrisali tudi celoten sklopljen sistem jahač-konj.

Slika 14: Kinogram sklopljenega sistema jahač-konj (posnetek 4.2.).



5.6. Napake meritve

Pri digitalizaciji prihaja do določenih napak zaradi določanja točk modela z video posnetkov. Tako smo na podlagi geometrije izračunali, da je bila napaka, do katere je prišlo zaradi postavitve kamere, 0,1-odstotna. Pri velikosti točke pa je bila napaka +2,0 cm, -2,0 cm.

Drugi vzrok napak je bil delno tudi ponekod morda nenatančno pozicioniranje markerjev na telesne segmente konja (težko je bilo določiti kolk in koleno) ter premikanje markerjev med gibanjem (marker številka ena je bil pritrjen na uzdo). Pri jahaču smo to napako ročno uravnavali, saj markerja na rami in kolku nista bila na pravem mestu, ker so bila ramena med jahanjem rahlo potisnjena naprej, noge v kolku pa so bile pokrčene.

Pri izračunih mase segmentov smo za glavo, vrat, stegnenico in za sprednji piščalnici, za katere v Buchnerjevi tabeli 3 niso bile podane formule za izračun mase, pri nadlahtnici pa je formula napačna (s formulo izračunana masa je bila prevelika), izračunali delež mase segmentov glede na podane referenčne vrednosti iz Buchnerjeve tabele 1 in na podlagi tega deleža glede na maso našega konja izračunali maso segmentov. Tu je bila napaka skoraj tridstotna, saj je znašala izračunana končna masa 735 kilogramov, dejanska skupna masa konja pa je bila 700 kilogramov.

5.7. Uporabljene enačbe in skice

5.7.1. Računanje težišča konja

1. Dolžina segmentov

Dolžino posameznega segmenta se izračuna tako, da izračunamo razliko med končno točko segmenta in začetno točko segmenta v x- in y- smeri. Nato razliki kvadriramo in ju seštejemo, vsoto pa korenimo.

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

x_1, y_1 ... začetna (proksimalna) točka segmenta

x_2, y_2 ... končna (distalna) točka segmenta

Točke segmentov so točke iz dobljenih 2D skalibriranih podatkov.

2. Masa segmentov

Mase segmentov konja se izračuna z uporabo celotne mase konja ali pa z uporabo dolžine posameznega segmenta. V Buchnerjevi tabeli 3 je določeno pri vsakem segmentu posebej, katero enačbo je treba uporabiti (enačbo 2 ali enačbo 3).

$$m_k = a_1 M_k + b_1 \quad (2)$$

$$m_k = a_2 L + b_2 \quad (3)$$

m_k ... masa posameznega segmenta konja

a, b ... koeficienti, ki smo jih pridobili iz tabele 3 (Buchner idr., 1997)

M_k ... masa konja (700 kg)

L ... izračunana dolžina segmenta

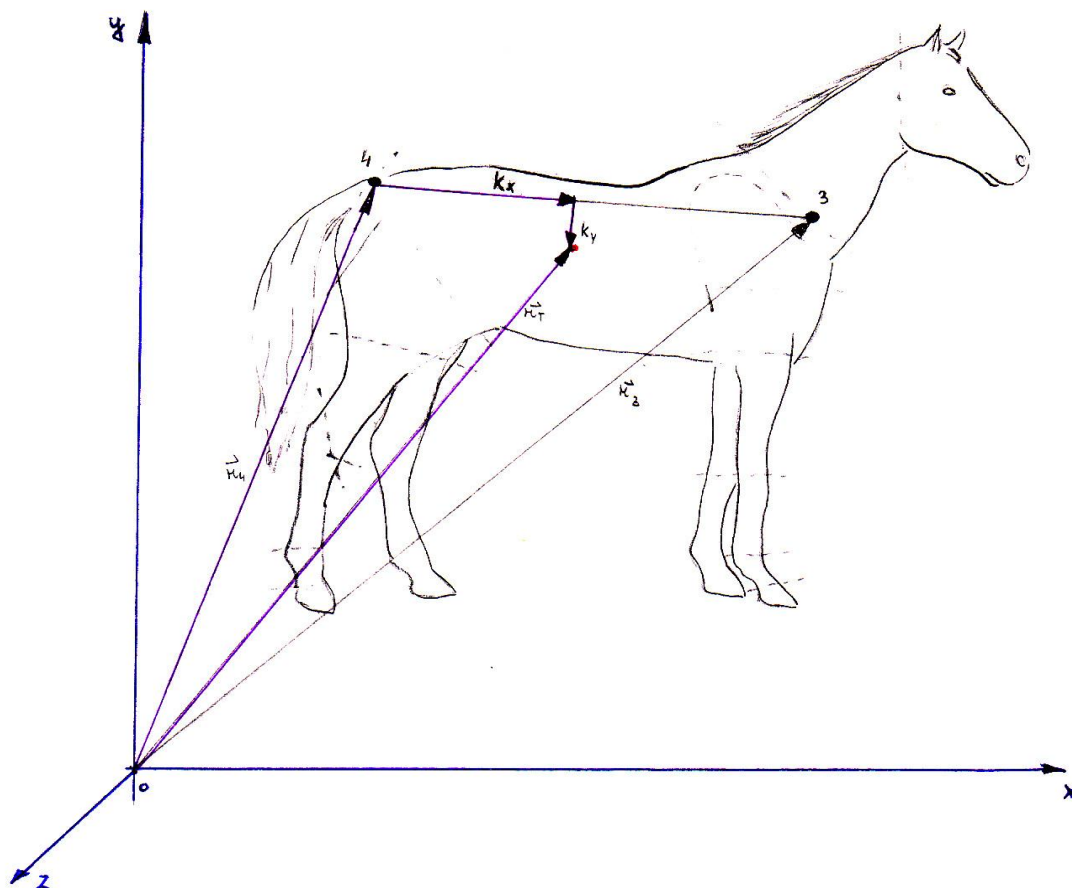
Problem se je pojavil pri glavi (2-1), vratu (3-2), sprednjih piščalnicah (9-10, 22-21) in stegnenici (13-14), ker v tabeli 3 niso podani koeficienti oziroma formule za izračun mase teh segmentov, pri nadlahtnici (7-8) pa je formula v članku Buchnerja (1997) napačna, saj je izračunana masa prevelika. V teh primerih smo uporabili tabelo 1 (Buchner idr., 1997), izračunali delež mase vsakega segmenta glede na podane referenčne vrednosti in na podlagi teh mas smo izračunali celotno maso našega konja. Izračunana končna masa je bila 735 kilogramov, dejanska skupna masa konja pa je 700 kilogramov.

$$M_k = \sum m_{ski} \quad (4)$$

Pri izračunu skupne mase smo pleča (6-7), nadlahtnico (7-8) in stegnenico (13-14) pomnožili s koeficientom dva, ker je bilo treba upoštevati za izračun skupne mase tudi levo stran konja, ki na posnetku ni vidna. Tako je skupna izračunana masa našega konja znašala 735,28 kilograma.

3. Težišča telesa posameznih segmentov konja

Slika 15: Skica prikazuje konja v koordinatnem sistemu, kot smo ga obravnavali. Na skici je prikazano, kje se nahaja težišče trupa.



$$\vec{T}_{TS} = T_i + \left(\frac{\vec{T}_{ij}}{|\vec{T}_{ij}|} * L_{ij} * k_x \right) + \left(\frac{\vec{T}_{ij}}{|\vec{T}_{ij}|} \times \vec{Z} \right) * k_y * L_{ij} \quad (5)$$

$k_x, k_y \dots$ koeficienti v procentih iz tabele 1 (stolpec sedem in osem) (Buchner idr., 1997), ki prikazujejo, kje se na x- oziroma y-osi v lokalnem koordinatnem sistemu nahaja težišče. Koeficienti so relativni (tako kot je označeno v omenjeni tabeli).

$$X_{Ts} = x_i + k_x(x_j - x_i) + k_y(-y_j + y_i) \quad (6)$$

$$y_{Ts} = y_i + k_x(y_j - y_i) + k_y(x_j - x_i) \quad (7)$$

x_i, y_i ... začetna (proksimalna) točka segmenta

x_j, y_j ... končna (distalna) točka segmenta

$$x_i \geq x_j$$

primer za trup:

$$X_{Ts43} = x_4 + k_x(x_3 - x_4) + k_y(-y_3 + y_4) \quad (8)$$

$$y_{Ts43} = y_4 + k_x(y_3 - y_4) + k_y(x_3 - x_4) \quad (9)$$

$$x_4 \geq x_3$$

Slika 16: Na sliki je prikazano izračunano težišče trupa.



Slika 17: Na fotografijah sta z rumenima krogcema prikazana izračunana položaja težišča segmenta piščalnice in vrata.



Težišče sprednje desne piščalnice



Težišče vrata

4. Težišča telesa konja

Skupno težišče telesa konja smo izračunali tako, da smo sešteli produkte mas segmentov konja in koordinat posameznih segmentov, vsoto produktov pa smo delili z vsoto mas segmentov. Tako smo naredili posebej za smer x in posebej za smer y.

$$X_T = \frac{\sum x_{TSi} * m_i}{\sum m_i} \quad (10)$$

$$Y_T = \frac{\sum y_{TSi} * m_i}{\sum m_i} \quad (11)$$

Pri izračunu skupnega težišča smo koordinate težišč in mase naštetih segmentov (pleča (6-7), nadlahtnica (7-8) in stegnenica (13-14)) pomnožili s koeficientom dva, ker je bilo treba za izračun skupnega težišča telesa upoštevati tudi levo stran konja, ki na posnetku ni vidna.

5.7.2. Računanje težišča telesa jahača

5. Masa segmentov in skupna izračunana masa

Mase posameznih segmentov jahača smo izračunali kot produkt danega koeficienta (tabela 4) in skupne telesne mase jahača.

$$m_j = k * M_j \quad (12)$$

k ... koeficienti za maso, pridobljeni iz Winterjeve (1990) tabele 4 (tretji stolpec)
M_j ... celotna masa jahača

$$M_j = \sum m_{sji} \quad (13)$$

Pri izračunu skupne mase smo stopalo, golenico, stegenico, nadlahtnico in podlahtnico pomnožili s koeficientom dva, ker je bilo treba za izračun skupne mase upoštevati tudi levo stran jahača, ki na posnetku ni vidna. Tako je skupna masa jahača vsota vseh segmentov jahača.

6. Težišče posameznih telesnih segmentov jahača

Za izračun težišč segmentov konja smo enačbo 14 (Winter, 1990) poenostavili in tako dobili x in y posameznih segmentov z enačbami 15 in 16. Tako je za izračun x-koordinate težišča segmenta jahača treba izračunati vsoto produktov koeficienta distalne oddaljenosti in proksimalno točko v x-smeri ter produkt distalne oddaljenosti in distalne točke v x-smeri. Za izračun y-koordinate težišča segmenta jahača pa je treba izračunati vsoto produktov koeficienta distalne oddaljenosti in proksimalno točko v y-smeri ter produkt distalne oddaljenosti in distalne točke v y-smeri.

$$x_{Tsj} = x_{s1} + k(x_{s2} - x_{s1}) \quad (14)$$

$$x_{Tsj} = q_i x_{s1} + p_i x_{s2} \quad (15)$$

$$y_{Tsj} = q_i y_{s1} + p_i y_{s2} \quad (16)$$

x_{s1}, y_{s1} ... proksimalne točke segmenta jahača

x_{s2}, y_{s2} ... distalne točke segmenta jahača

p_i ... koeficienti proksimalne oddaljenosti, pridobljeni iz tabele 4 (Winter, 1990)

q_i ... koeficienti distalne oddaljenosti, pridobljeni iz tabele 4 (Winter, 1990)

x_{Tsj} ... x-koordinata težišča telesa segmentov jahača

y_{Tsj} ... y-koordinata težišča telesa segmentov jahača

7. Skupno težišče telesa jahača

Za izračun skupnega težišča telesa jahača smo sešteli produkte koordinat posameznih segmentov jahača z masami segmentov jahača, vsoto produktov pa smo delili z vsoto mas segmentov jahača oz. s skupno telesno maso jahača. Tako smo naredili posebej za koordinate x in posebej za koordinate y, kar je prikazano v spodnjih enačbah:

$$X_0 = \frac{\sum x_{tsi} * m_{Ji}}{\sum m_{Ji}} \quad (17)$$

$$Y_0 = \frac{\sum y_{tsi} * m_{Ji}}{\sum m_{Ji}} \quad (18)$$

x_{tsi} ... x-koordinata težišča segmenta jahača

y_{tsi} ... y-koordinata težišča segmenta jahača

x_0 ... x-koordinata težišča telesa jahača

y_0 ... y-koordinata težišča telesa jahača

Pri izračunu težišča telesa jahača smo koordinate težišč in mase naštetih segmentov (stopalo, golenico, stegnenico, nadlahtnico in podlahtnico) pomnožili s koeficientom dva, ker je bilo treba za izračun skupne mase upoštevati tudi levo stran jahača, ki na posnetku ni bila vidna.

5.7.3. Računanje težišča sistema jahač-konj

8. Težišče telesa sistema jahač-konj

Za izračun skupnega težišča telesa sklopljenega sistema jahač-konj smo izračunali vsoto težišča konja in težišča jahača, posebej za koordinato x in posebej za koordinato y:

$$X = \frac{\sum x_{TSi} * m_{ki}}{\sum m_{ki}} + \frac{\sum x_{TSji} * m_{ji}}{\sum m_{ji}} = X_T + X_0 \quad (19)$$

$$Y = \frac{\sum y_{TSi} * m_{ki}}{\sum m_{ki}} + \frac{\sum y_{TSji} * m_{ji}}{\sum m_{ji}} = Y_T + Y_0 \quad (20)$$

X_T, Y_T ... koordinate težišč konja

X_0, Y_0 ... koordinate težišč jahača

5.7.4. Drugi izračuni

9. Hitrost potovanja skupnega težišča sklopljenega sistema jahač-konj

Za izračun hitrosti potovanja skupnega težišča v x-smeri smo odvajali sistema x po času:

$$v_{xi} = \frac{dx_i}{dt_i} = \frac{-x_{i-1} + x_{i+1}}{2 * \Delta t} \quad (21)$$

Za izračun hitrosti potovanja skupnega težišča v y-smeri smo odvajali sistema y po času:

$$v_{yi} = \frac{dy_i}{dt_i} = \frac{-y_{i-1} + y_{i+1}}{2 * \Delta t} \quad (22)$$

kjer je $\Delta t = 0,02$ s

10. Računanje napake zaradi velikosti točke

Napako, ki nastane zaradi velikosti točke, smo izračunali tako, da smo posnetek v metrih delili s številom pik v smeri x, kjer je bilo število pik 720, zajeti posnetek v smeri x pa je znašal 12 metrov.

posnetek v metrih/št. pik v smeri x (23)

11. Glajenje podatkov

Surove podatke smo pogladili z enačbo, prikazano spodaj:

$$x_n' = \frac{x_n + a(x_{n-1} + x_{n+1}) + b(x_{n-2} + x_{n+2})}{1 + 2a + 2b} \quad (24)$$

5.8. Uporabljeni koeficienti

Koeficienti, ki smo jih uporabili pri računanju težišča konja, so prikazani v tabeli 1 in tabeli 3 (Buchner idr., 1997), koeficienti, uporabljeni pri računanju težišča jahača, pa so prikazani v tabeli 4 (Winter, 1990).

Pri glajenju podatkov pa je:

$$a = 0,70$$

$$b = 0,10$$

Izjema je hitrost potovanja težišča sklopljenega sistema jahač-konj, kjer je bilo treba podatke bolj pogladiti in smo zato uporabili večje koeficiente.

$$a_1 = 0,80$$

$$b_1 = 0,20$$

6. Rezultati z razpravo

6.1. H1 – 2D kinematika omogoča izračun težišča konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj

2D kinematika je primerna za opazovanje gibanja konja, saj se bistvena gibanja dogajajo v horizontalni in vertikalni smeri. 3D kinematika pa bi bila smiselna pri analiziranju nekaterih napak, kot je npr. umikanje zadnjih nog konja v stran namesto pod sebe v zadnji fazi leta, kar se opazi tudi na naših posnetkih, vendar pa ni mogoče izračunati, kolikšen odmik je bil narejen (slika 17 – leva fotografija).

Na podlagi enačb za konja (po Buchnerju) in za človeka (po Winterju) je v poglavju 5.7 opisan postopek za izračun težišča konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj. Pri konju smo izmerili 22 segmentov, pri jahaču pa osem. Pri izračunu težišča telesa konja smo uporabili 25 segmentov, pri jahaču pa 14. V obeh primerih smo sprejeli, da se segmenti, ki na meritvah niso vidni, gibljejo vzporedno s segmenti na posneti strani. V spodnjih slikah pa lahko vidimo izrisana posamezna težišča konja in jahača ter sklopljenega sistema jahač-konj v programu AviMes (slika 18 in 24).

Na posnetku 4.2 jaha amaterska jahačica čez 1 meter visoko in 0,80 metra široko širinsko oviro, na posnetku 3.1 jaha profesionalni jahač na enaki višini, na posnetku 10.1 pa je skakal čez 1,30 metra visoko širinsko oviro.

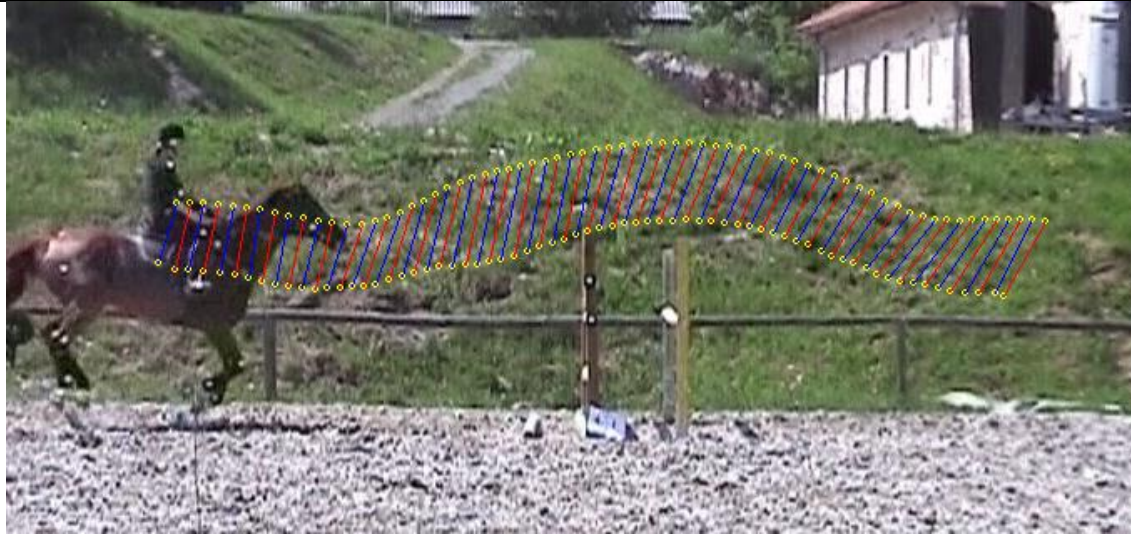
Slika 18 nam prikazuje potovanje težišča telesa konja in jahača med skokom širinske ovire, razdaljo med obema težiščema in natančno umestitev v prostor na posnetku, kar v dosedanjih raziskavah še ni bilo prikazano.

Na sliki 19 pa so prikazani položaji posameznih težišč v določenem času. Težišče trupa konja je glede na težišče konja postavljeno nekoliko bolj nazaj, težišče sklopljenega sistema pa za malenkost višje od težišče trupa konja in skupnega težišča konja. S tem, ko lahko nazaj v program vstavljamo izračunane parametre in jih vstavimo v sliko, lahko preverjamo, ali so bili izračuni pravilni. In to je zelo

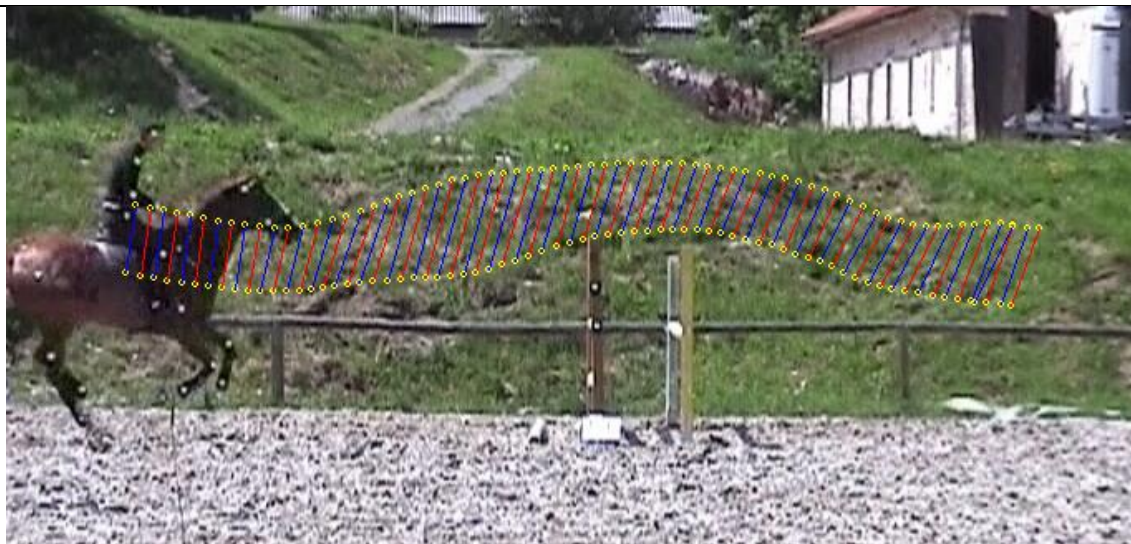
dragocen pripomoček za odkrivanje napak. Če točke opazujemo na sliki 22, v grafih sicer vidimo odnos višja-nižja točka, ne pa tudi kje se ta točka nahaja na segmentu in ali je bila torej pravilno izračunana.

Na sliki 20 je prikazana primerjava pozicije težišča sklopljenega sistema pri dveh različnih jahačih in na dveh različnih višinah. Tu lahko vidimo, da je težišče sklopljenega sistema nižje pri manjši jahačici kot pri višjem jahaču. Pri skoku čez višjo oviro je položaj konja bolj navpičen, položaj jahača nižji, skupno težišče pa višje in nagnjeno nekoliko bolj naprej.

Slika 18: Na fotografijah je prikazano potovanje težišča jahača in težišča konja.



4.2

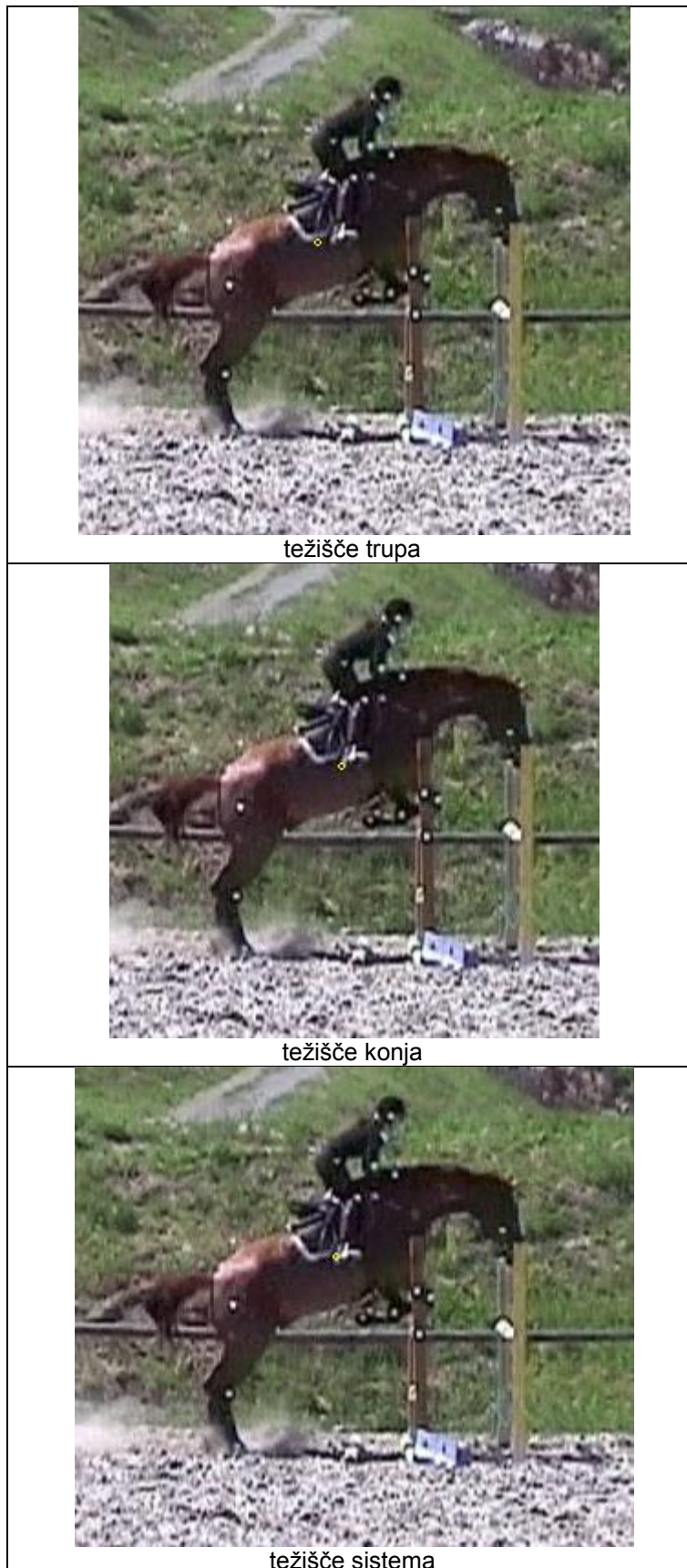


3.1

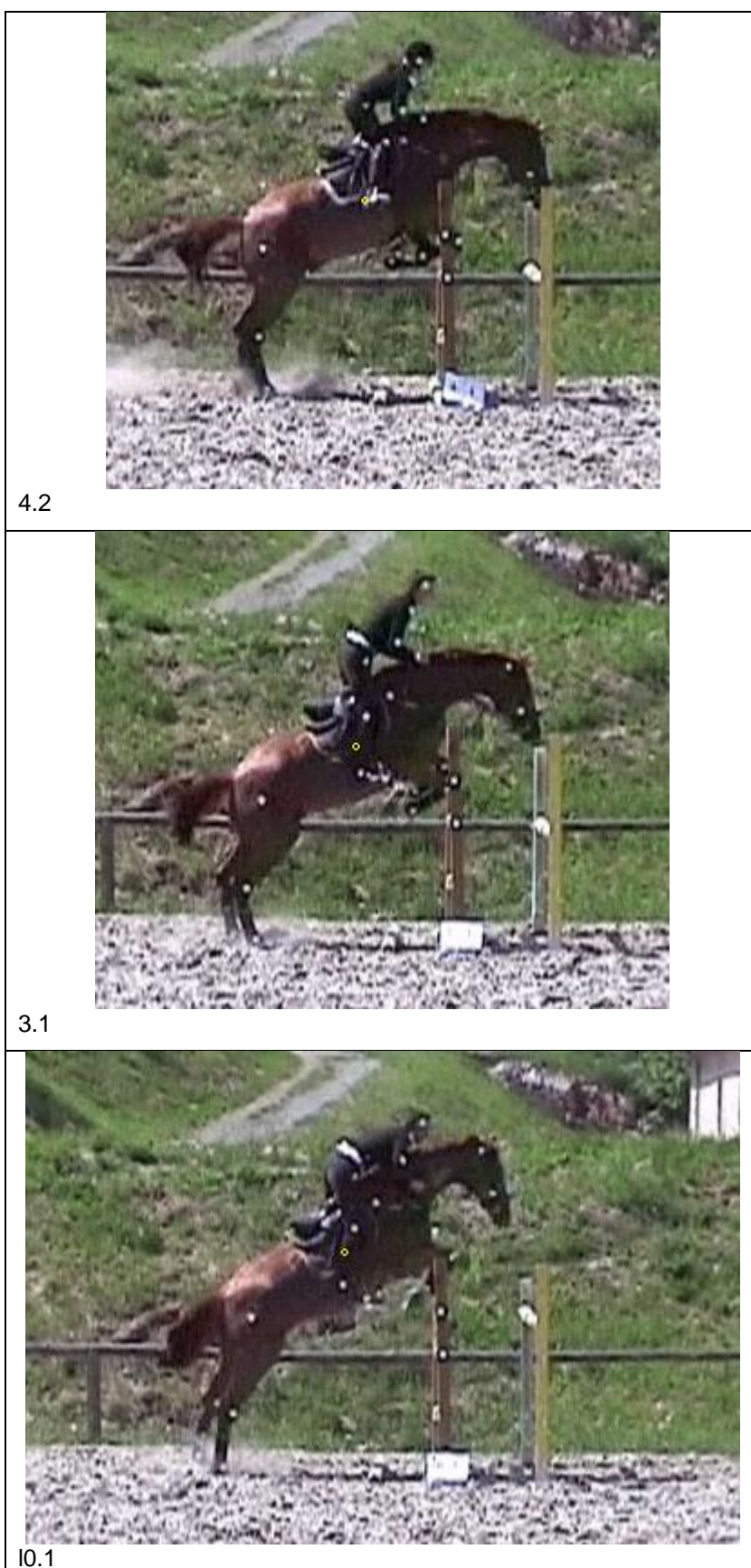


10.1

Slika 19: Na fotografijah posnetka 4.2 lahko primerjamo položaj težišča segmenta trupa konja, skupno težišče konja in težišče sklopljenega sistema jahač-konj.



Slika 20: Na fotografijah je prikazan položaj težišča sistema z različnimi jahači.



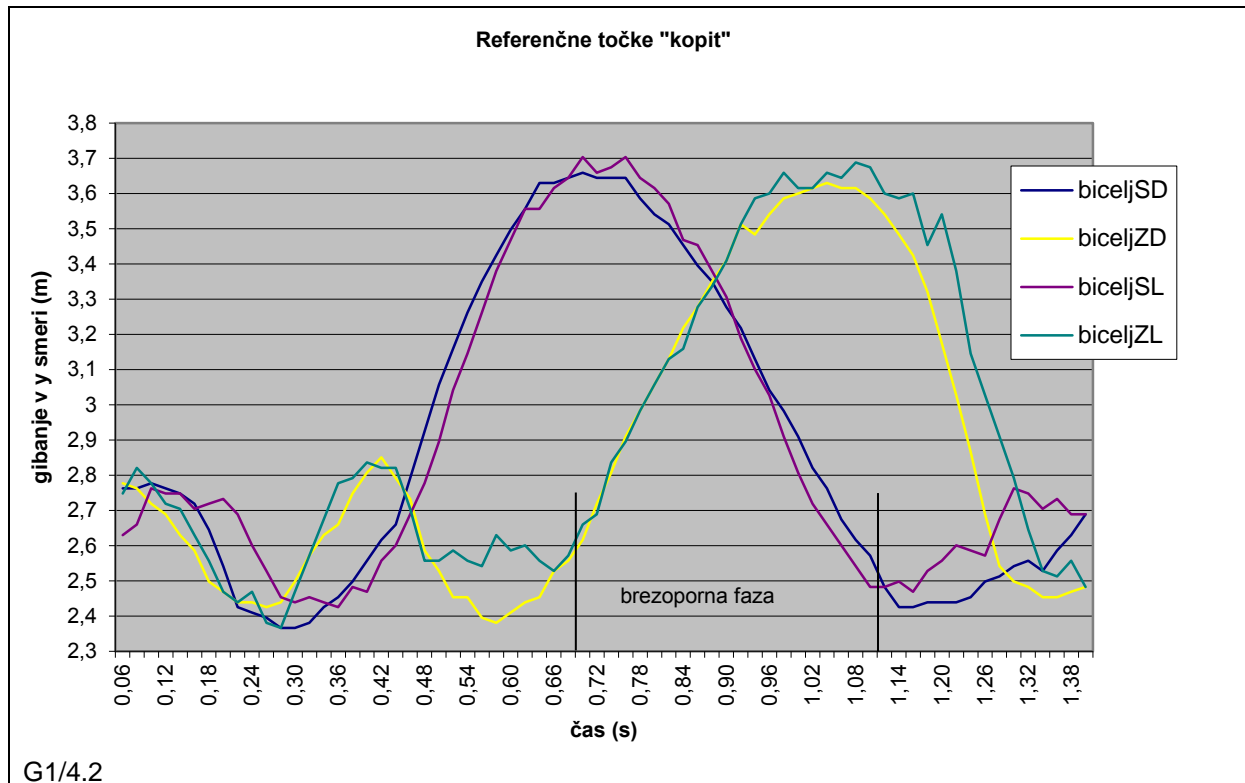
Slika 21: Fotografiji prikazujeta fazo odriva in fazo doskoka pri posnetku 10.1.

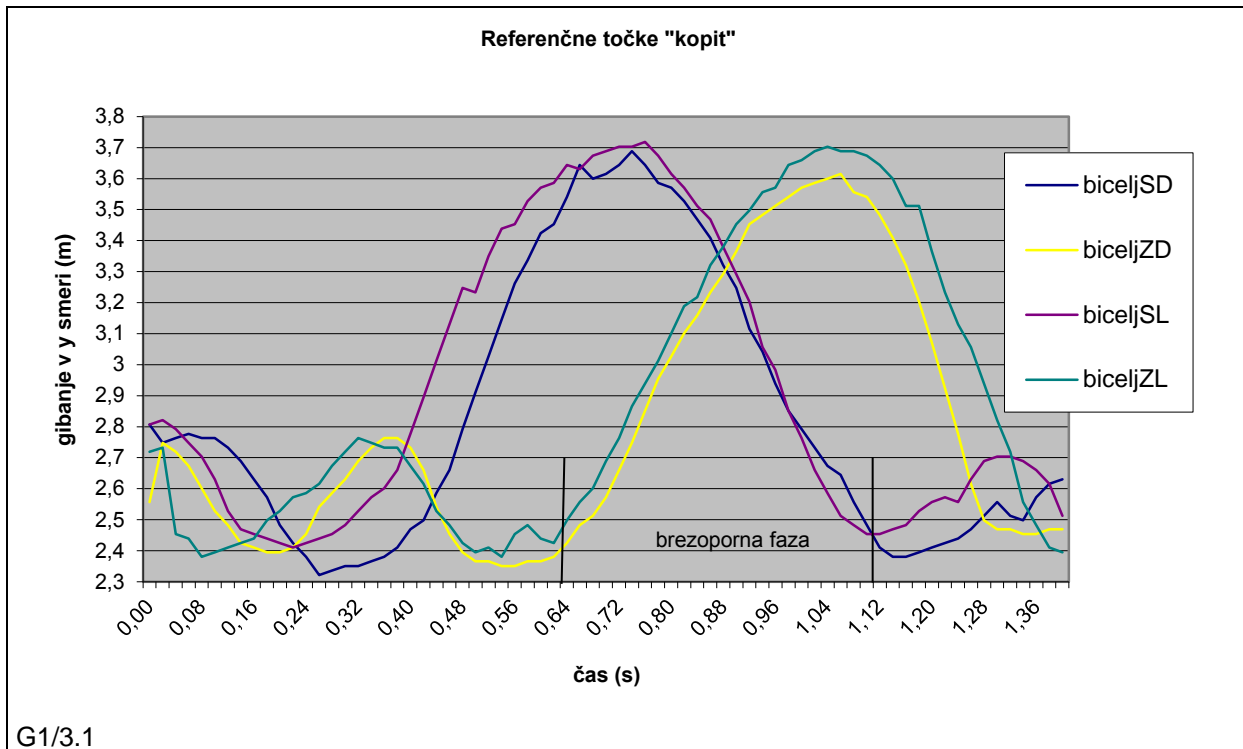


Na sliki 21 je prikazana brezoporna faza (posnetek 10.1), kot smo jo lahko odčitali iz posnetkov. To je faza tik po odrivu in traja do doskoka. Podobno se lahko to fazo odčita tudi iz grafov, kot je prikazano na sliki 22. Vendar pa se je pri odčitavanju z grafov pojavila težava – ker ravno v fazi odriva kopita niso vidna (ugreznejo se v pesek), jih je bilo treba ročno vnašati. S posnetka je to fazo lažje odčitati. Na grafu 1/10.1 vidimo, da je brezoporna faza daljša, kot na preostalih dveh posnetkih, kar je logično, saj je tu ovira višja in je zato tudi faza leta daljša. Poleg tega pa lahko na vseh treh grafih lepo vidimo gibanje nog v času prehoda čez oviro, tako kot ga opisuje tudi teorija. Najprej se odrinejo prve noge, nato zadnje, pri doskoku pa

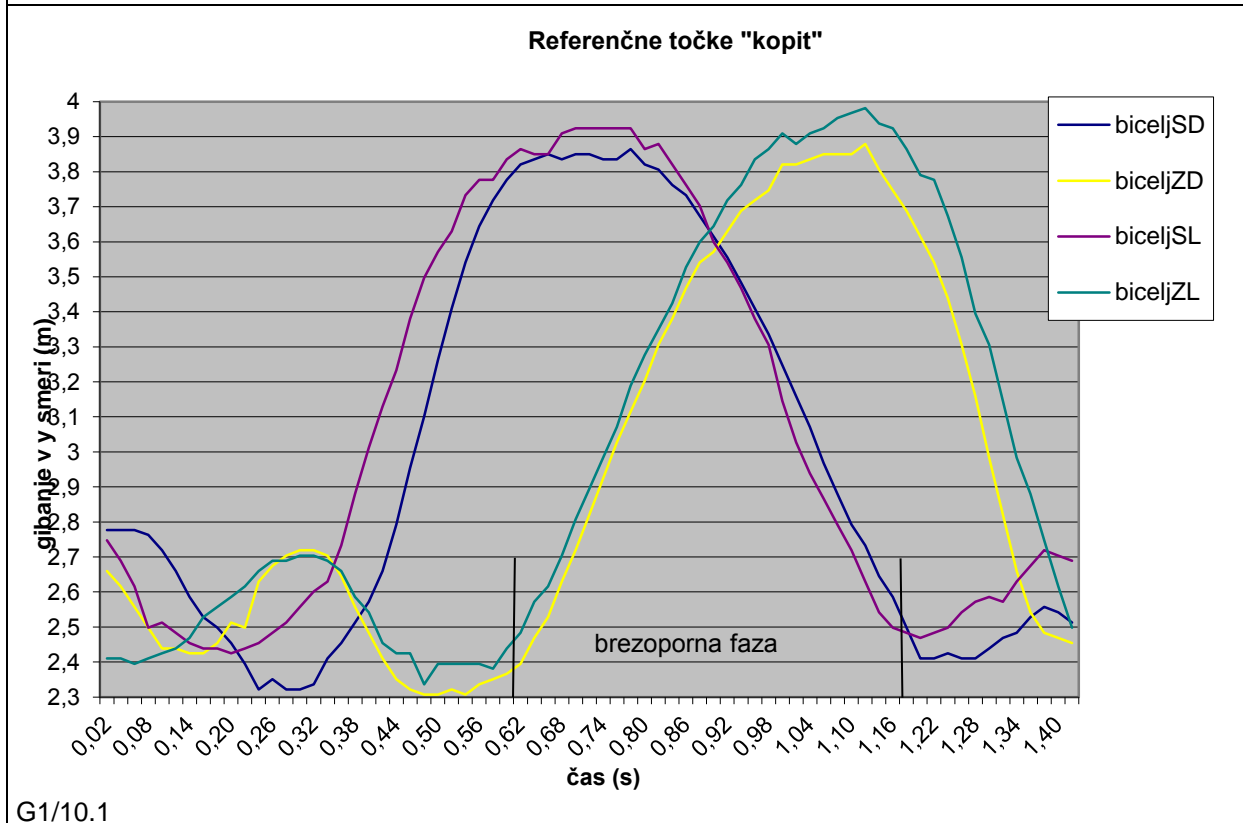
doskoči najprej sprednja leva, nato sprednja desna in zatem še obe zadnji nogi skupaj.

Slika 22: Graf 1 prikazuje potovanje točk bicljev vseh štirih nog: sprednje desne (SD), zadnje desne (ZD), sprednje leve (SL) in zadnje leve (ZL). Razvidna je tudi brezoporna faza (kopitnice nismo prikazali, ker se na posnetku vidijo slabo in bi bila napaka večja).



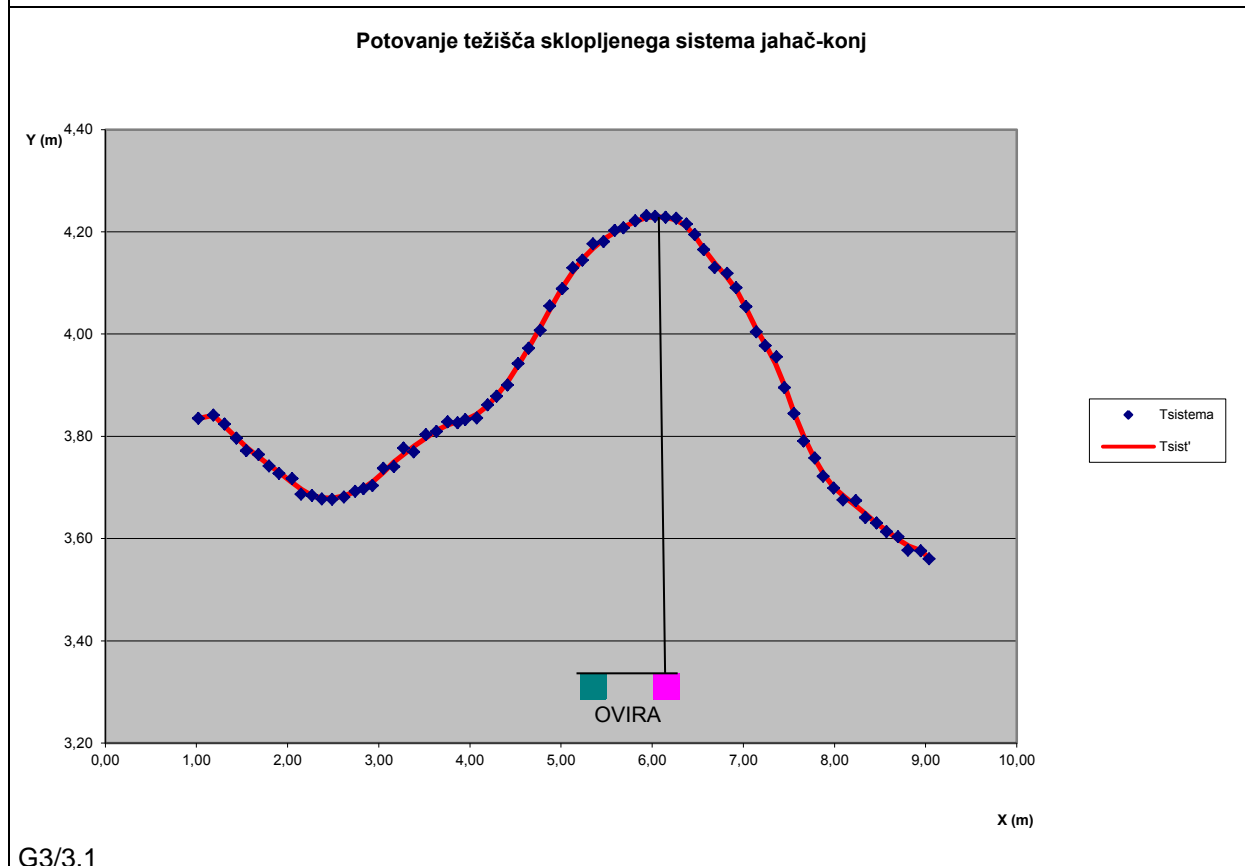
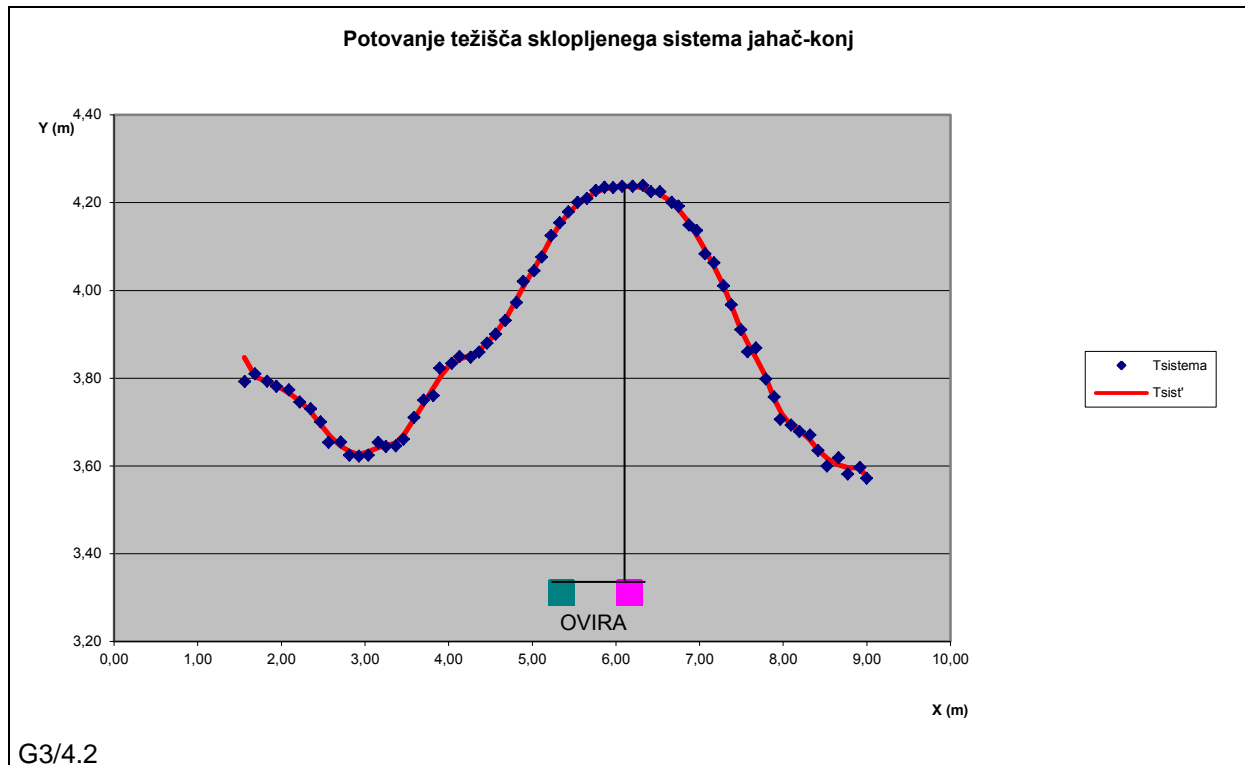


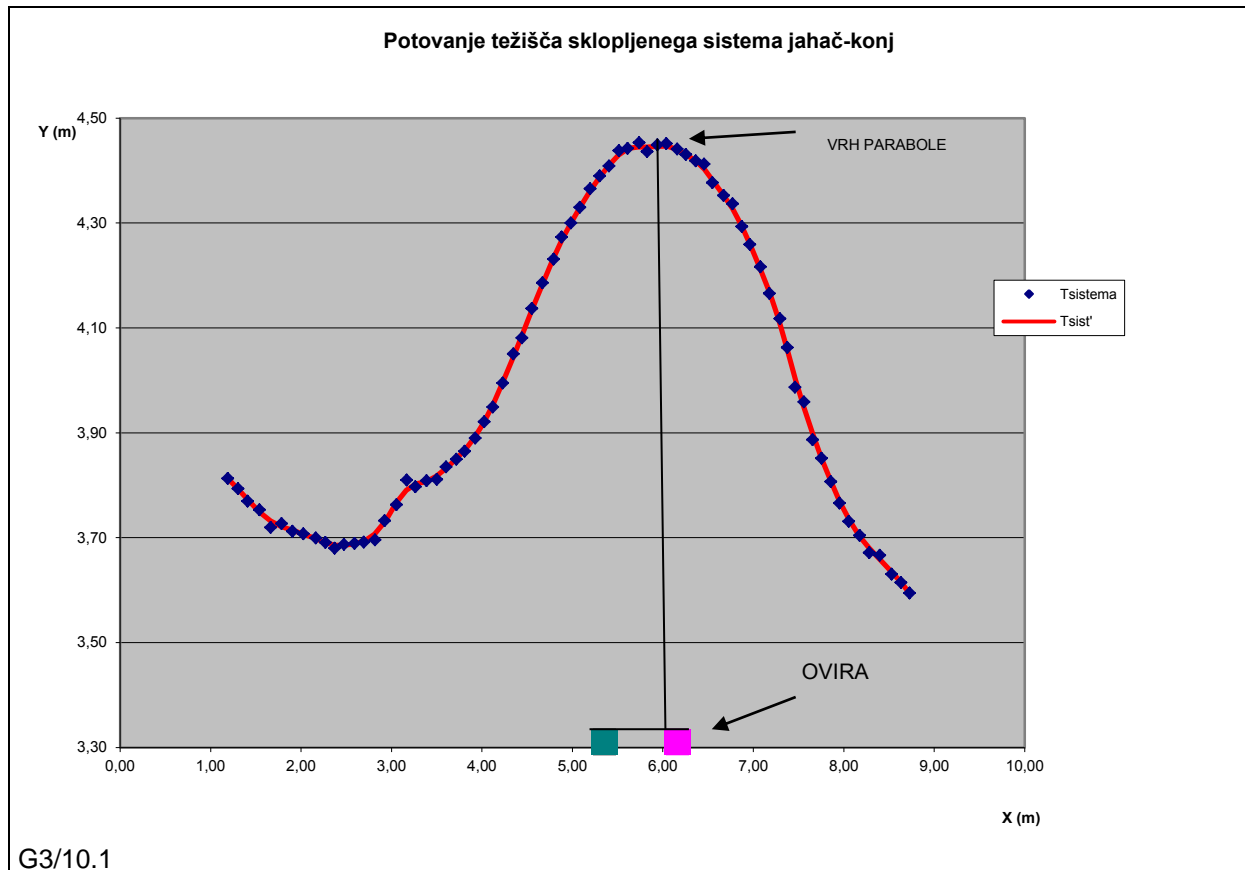
G1/3.1



G1/10.1

Slika 23: Graf 3 prikazuje potovanje težišča sistema in oviro v krajevni odvisnosti (os x) ter polinomske črte 2. reda.





Točke na grafu prikazujejo surove podatke, krivulja pa poglajene podatke $T_{sist'}$. Najvišja točka parabole na vseh treh grafih ni točno nad sredino ovire, temveč je pomaknjena v desno.

Slika 24: Na fotografijah je prikazano potovanje težišča sistema.



4.2



3.1



10.1

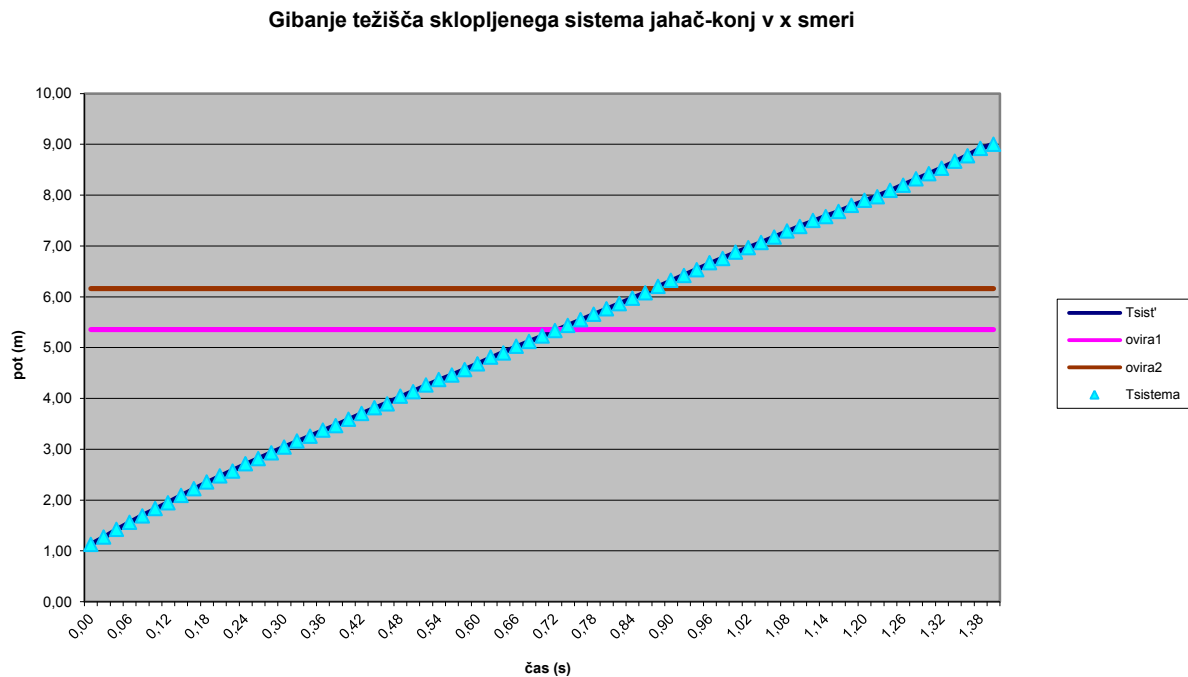
Slika 23 prikazuje potovanje težišča sklopljenega sistema jahač-konj v krajevni odvisnosti. Na vseh treh grafih je prikazan tudi položaj širinske ovire (zelen kvadraterk prikazuje začetek, roza kvadraterk pa konec ovire). Enako nam kaže tudi slika 24. Na obeh slikah lahko vidimo, da pride na začetku, ko se začne krivulja težišča dvigovati, do nekakšne motnje. Ta del je na sliki 24 označen na vsakem posnetku posebej z rdečo puščico. Ko smo si to fazo ogledali na posnetku, smo ugotovili, da je to faza odriva, v kateri konj z zadnjimi nogami stopi na mesto sprednjih nog, s sprednjimi pa se odrine v zrak. To je nazorno prikazano na sliki 25.

Slika 25: Na fotografijah je prikazano potovanje težišča sistema.



V tej fazi se težišče začne nekoliko strmeje dvigovati. Najprej se konj s sprednjimi nogami odrine navzgor, z zadnjimi nogami pa naprej in navzgor, kar mu zaradi ustreznega navora sile podlage povzroči pozitivni kotni pospešek α (nasprotna smer urnega kazalca) (Fuss in Fuss, 1998). Ob koncu opisanega odriva ima konj pozitivno kotno hitrost w okrog lastnega težišča telesa, z zadnjimi nogami pa se odrine precej navzgor, zato da vzpostavi primeren navor sile podlage za negativni kotni pospešek.

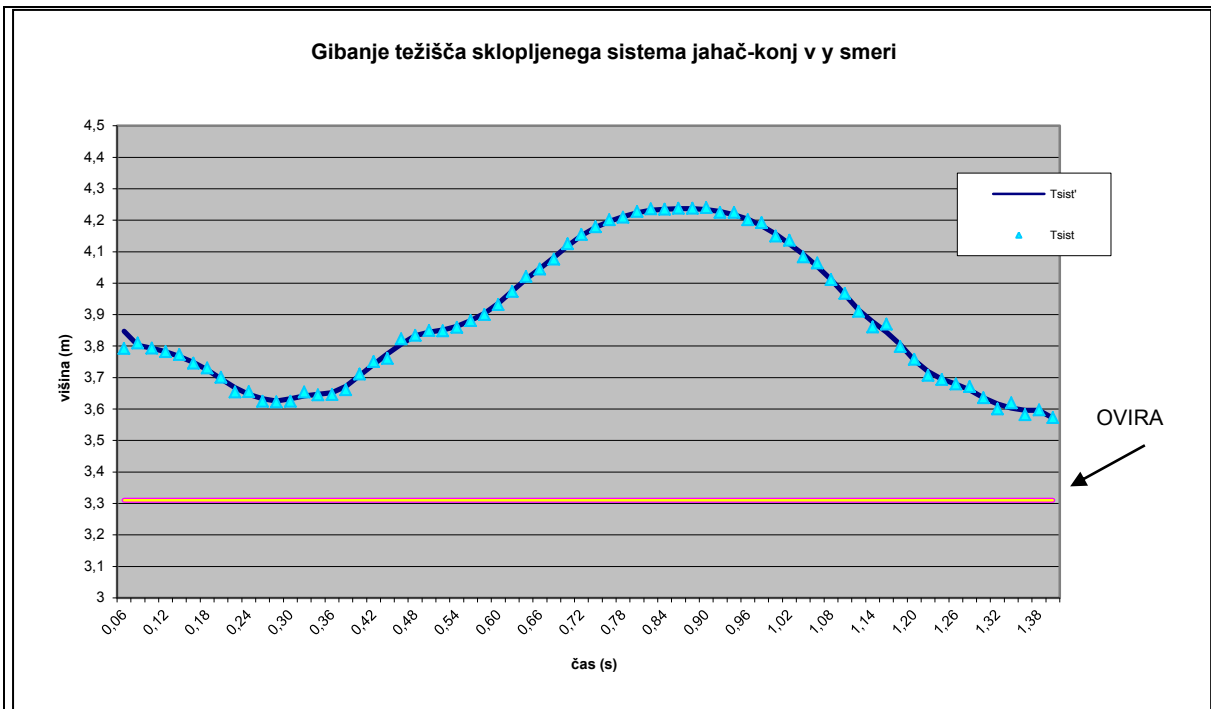
Slika 26: Graf 5 (posnetek 4.2) prikazuje potovanje težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri x glede na čas.



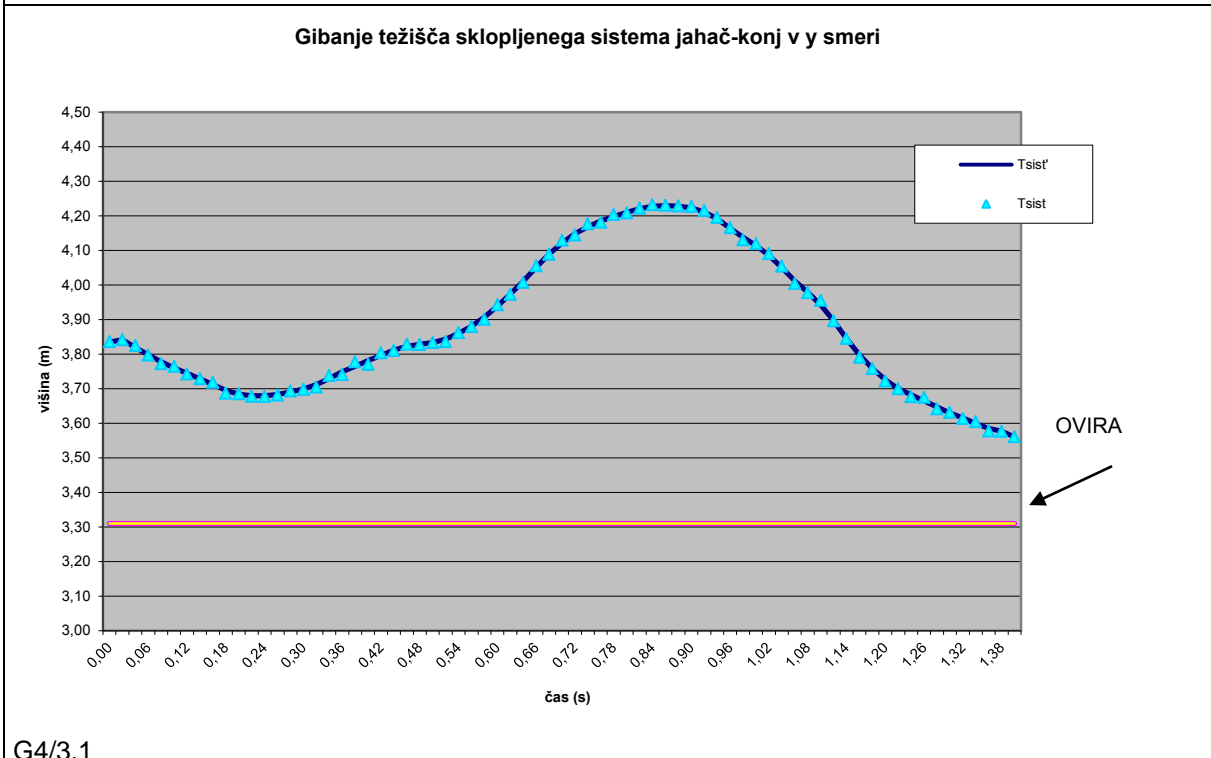
Na sliki 26 je prikazano potovanje težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri x glede na čas, na sliki 27 pa potovanje težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri y glede na čas. Pri gibanju težišča v smeri x je gibanje usmerjeno ves čas naprej. Hitrost je v povprečju konstantna, čeprav se v bistvu ves čas nekoliko spreminja. Pri gibanju v smeri y pa se giblje sistem pospešujoče in pojemajoče. Pojemajoče se giblje v fazi približevanja oviri oziroma pri pripravi na odziv, v zadnji fazi odziva in pri doskoku.

Iz grafa na sliki 26 lahko razberemo tudi, koliko nad oviro je potovalo težišče v brezoporni fazi.

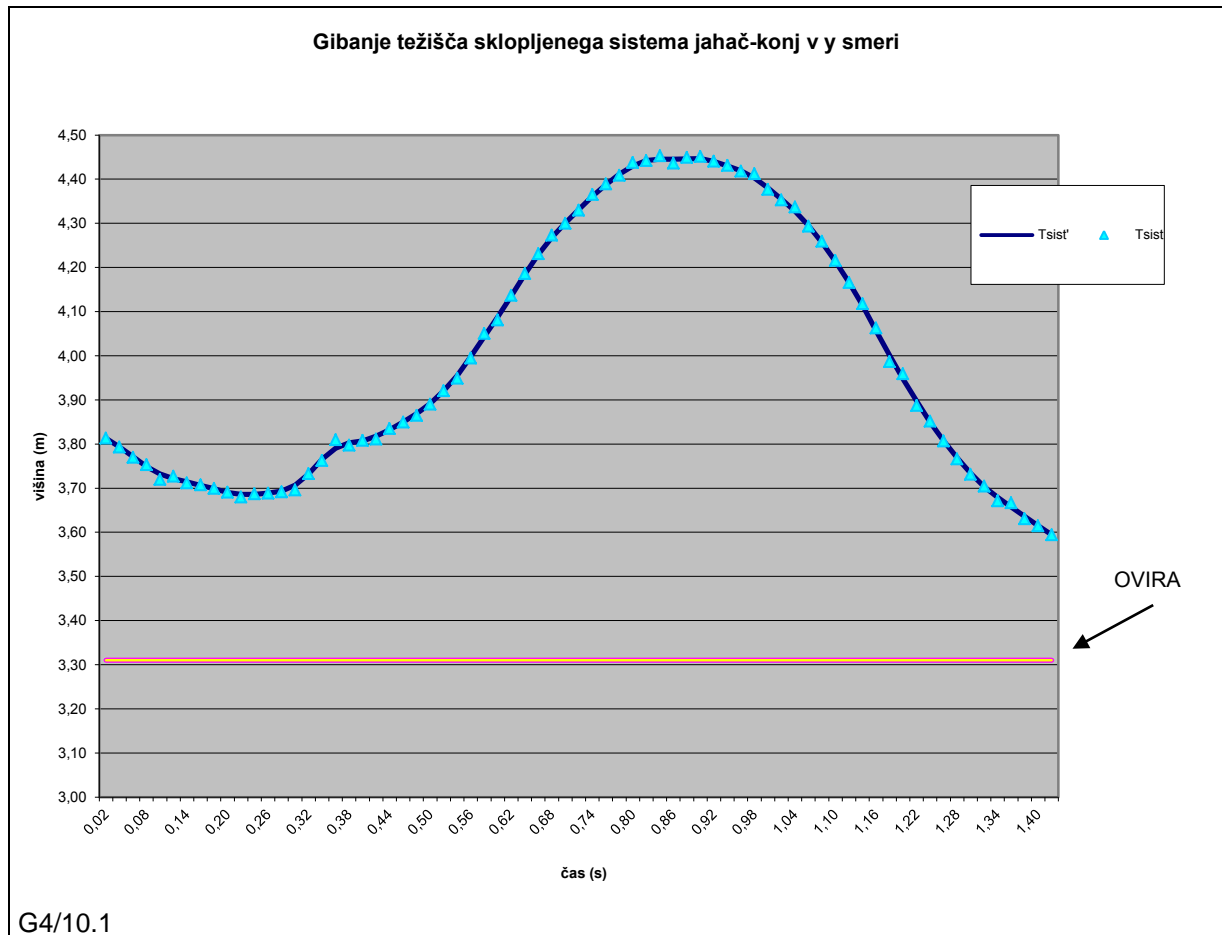
Slika 27: Graf 4 prikazuje potovanje težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri y v odvisnosti od časa.



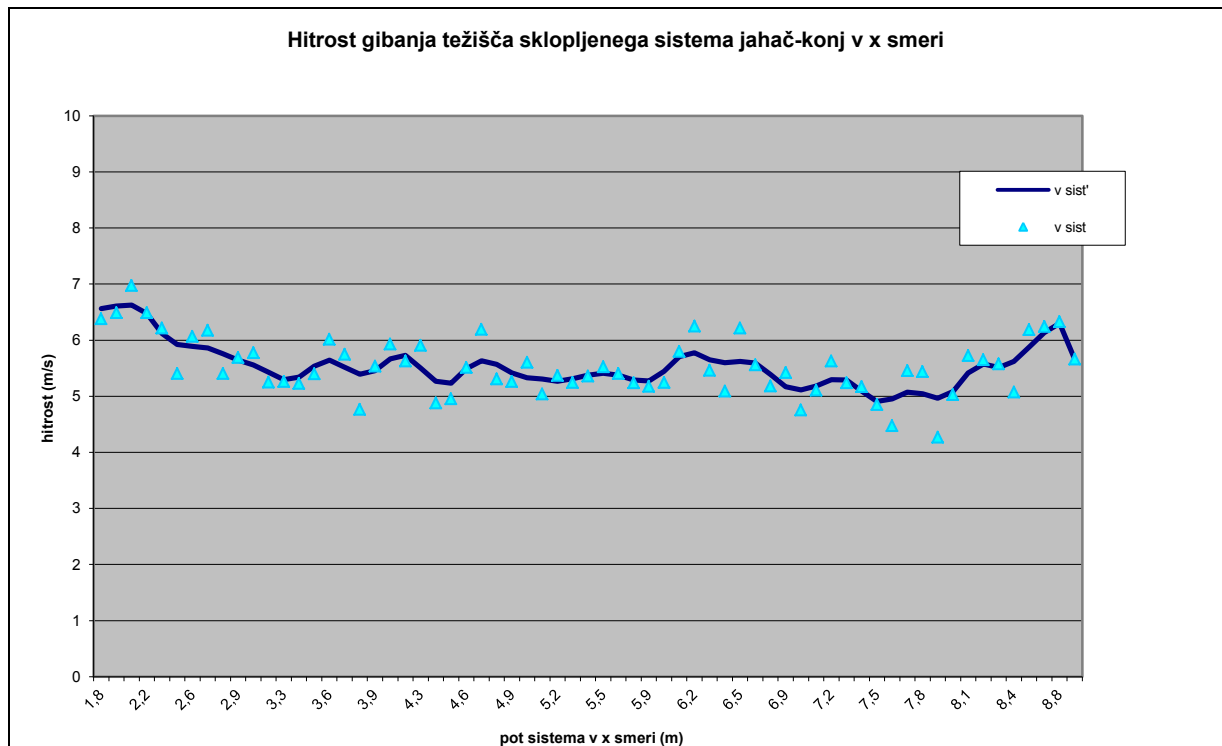
G4/4.2



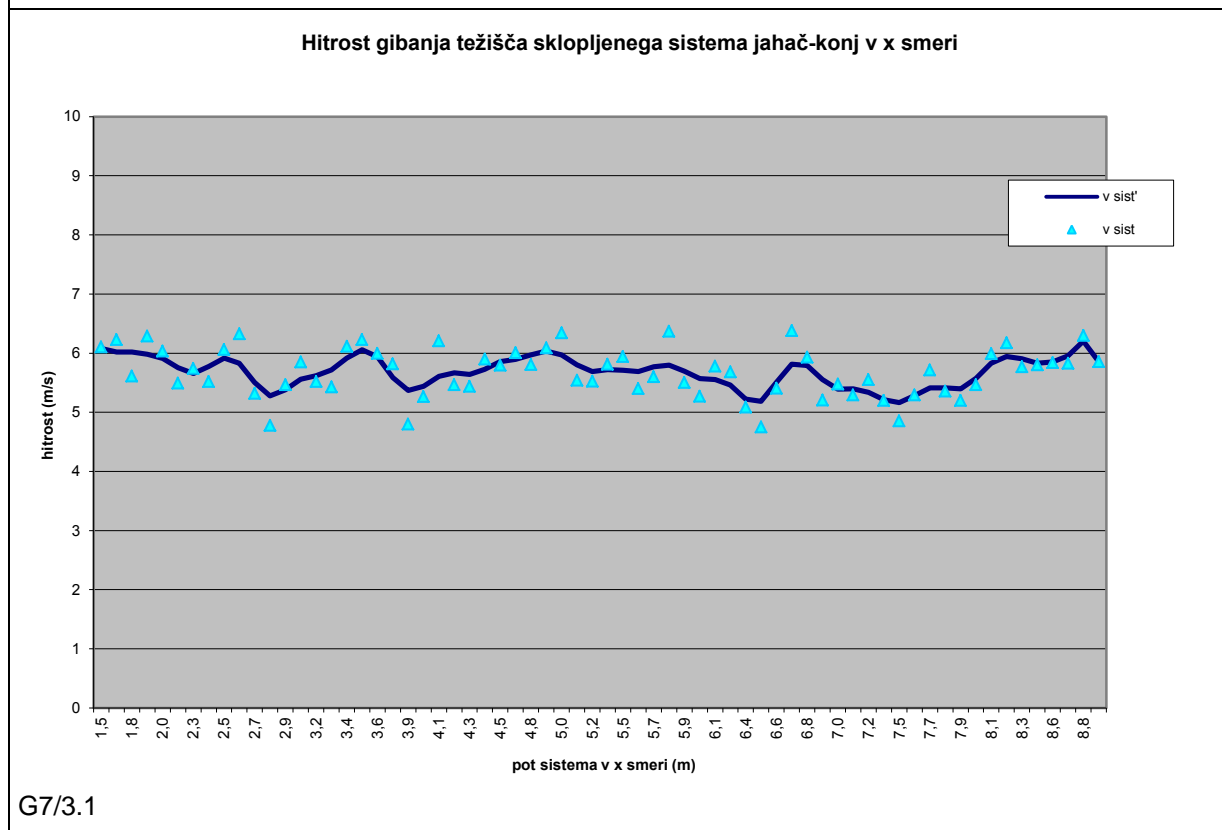
G4/3.1



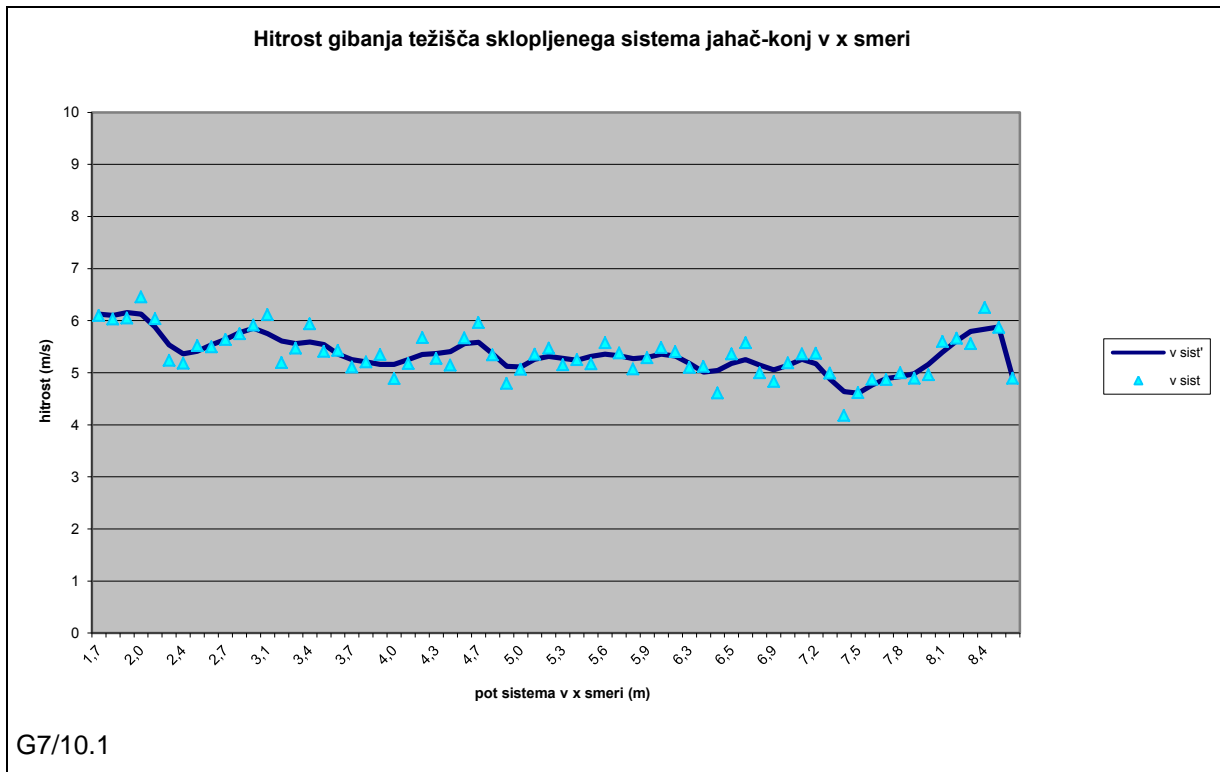
Slika 28: Graf 7 prikazuje horizontalno hitrost (v_x) težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri x glede na x-težišča sklopljenega sistema jahač-konj = hitrost sklopljenega sistema jahač-konj.



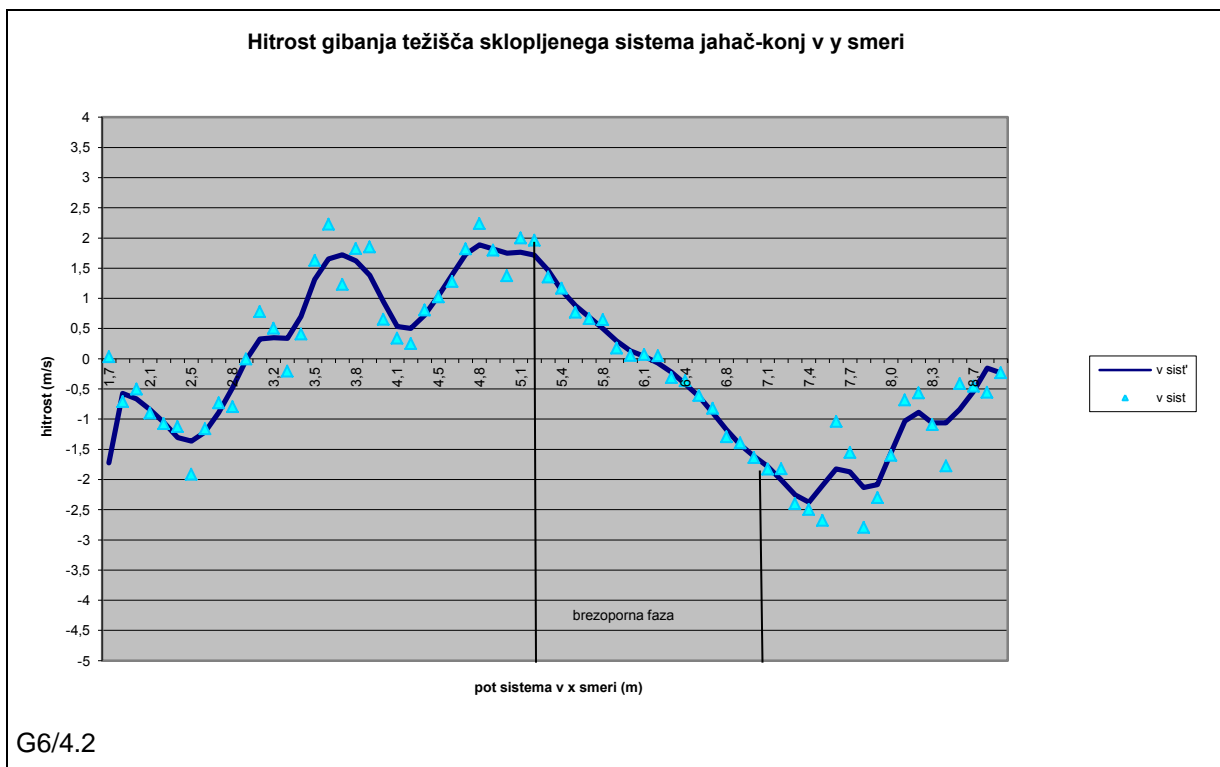
G7/4.2

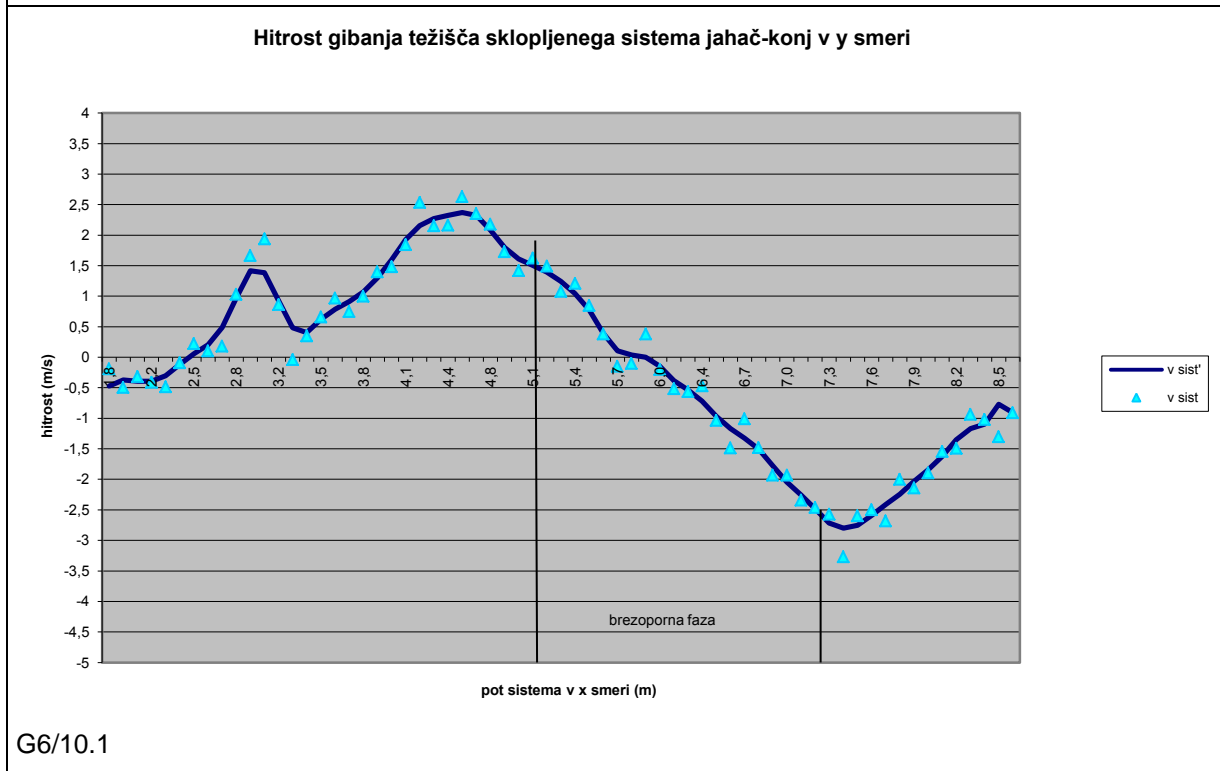
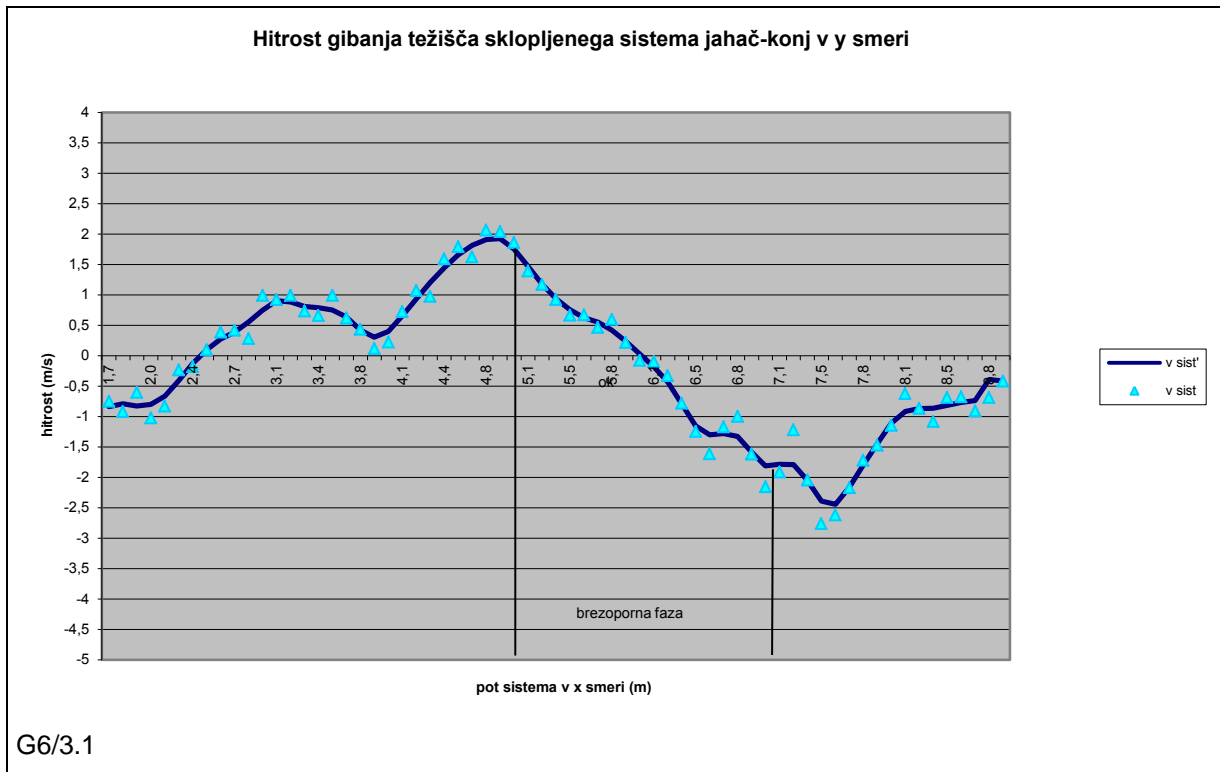


G7/3.1



Slika 29: Graf 6 prikazuje vertikalno hitrost (v_y) težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri y glede na pot x-težišča sklopljenega sistema jahač-konj.





Sliki 28 in 29 prikazujeta hitrost potovanja težišča sklopljenega sistema jahač-konj v smeri x in smeri y. Kot smo že ugotovili, se hitrost v smeri x razmeroma malo spreminja, bolj pa se spreminja v y-smeri. Na sliki 29 se na grafih nazorno vidi brezoporno fazo, kjer je pospešek negativen in je približno enak $9,8 \text{ m/s}^2$.

Glede na vse prikazane slike in opisane postopke ter enačbe, lahko prvo hipotezo, ki trdi, da se lahko z 2D kinematiko računa težišče konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj, sprejmemo.

6.2. H2 – Težišče konja in težišče jahača imata skupno težiščnico

V konjeniški stroki pogosto slišimo, da je težišče telesa nad težiščem konja, oziroma če to spremenimo v strokovni jezik, naj bi bilo težišče jahača na isti težiščnici kot težišče konja. V osnovnem angleškem učbeniku z naslovom 'The manual of horsemanship' (1989), ki je uradni učbenik za učitelje jahanja v Angliji, v Španiji pa je eden od osnovnih učbenikov na Konjeniški akademiji klasične španske jahalne šole v Jerezu, je zapisano, da bo konj skočil le, če bo težišče jahača nad konjevim težiščem telesa. V knjigi Donnerja in Spechta z naslovom Osnovno šolanje jahača in konja (1995) pa piše: »Delovanje teže je še posebej učinkovito, če leži težišče jahača čim bliže in navpično nad težiščem konja.«

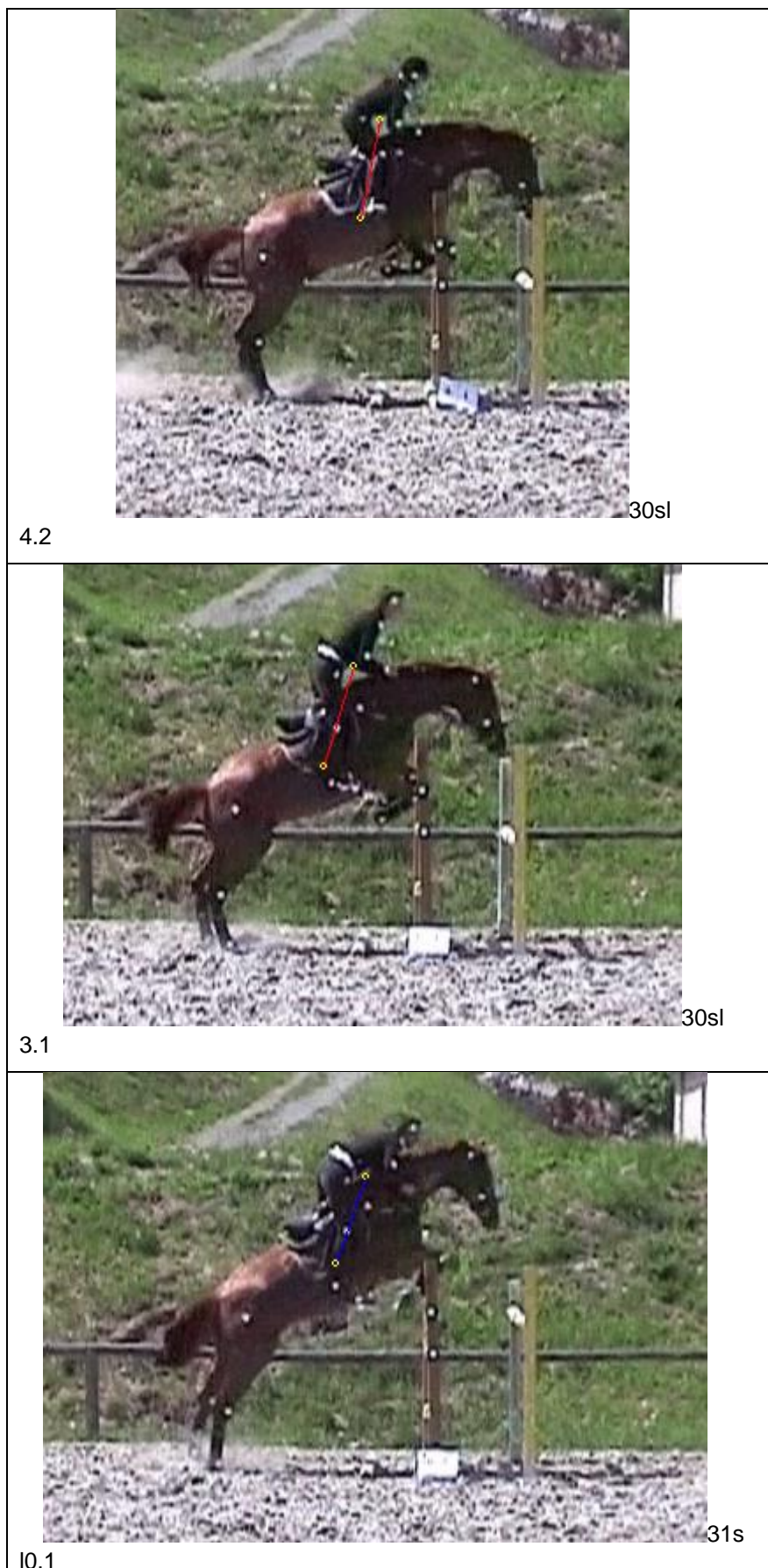
Da pozicija telesa jahača ni tako pomembna, sta ugotovila Powers in Harrison (2002), ki trdita, da ima masa jahača in njena porazdelitev minimalen vpliv na rotacijo konja in da na rotacijo konja najbolj vplivajo ukazi, ki jih daje jahač konju, ter komunikacija med jahačem in konjem. Tako zaključujeta, da naj bi bila ta ugotovitev v opomin trenerjem, ki večino časa na treningih posvetijo položaju telesa jahača v skoku. Vprašanje pa je, kako je pri višjih ovirah.

Težišče konja in težišče jahača nimata skupne težiščnice, težišče jahača je ves čas pred težiščem konja, kar vidimo na sliki 30. Težišče jahača je ves čas postavljeno nekoliko pred težiščem konja. Kolikšen je kot med obema težiščema, pa nam prikazujeta slika 31 in slika 32.

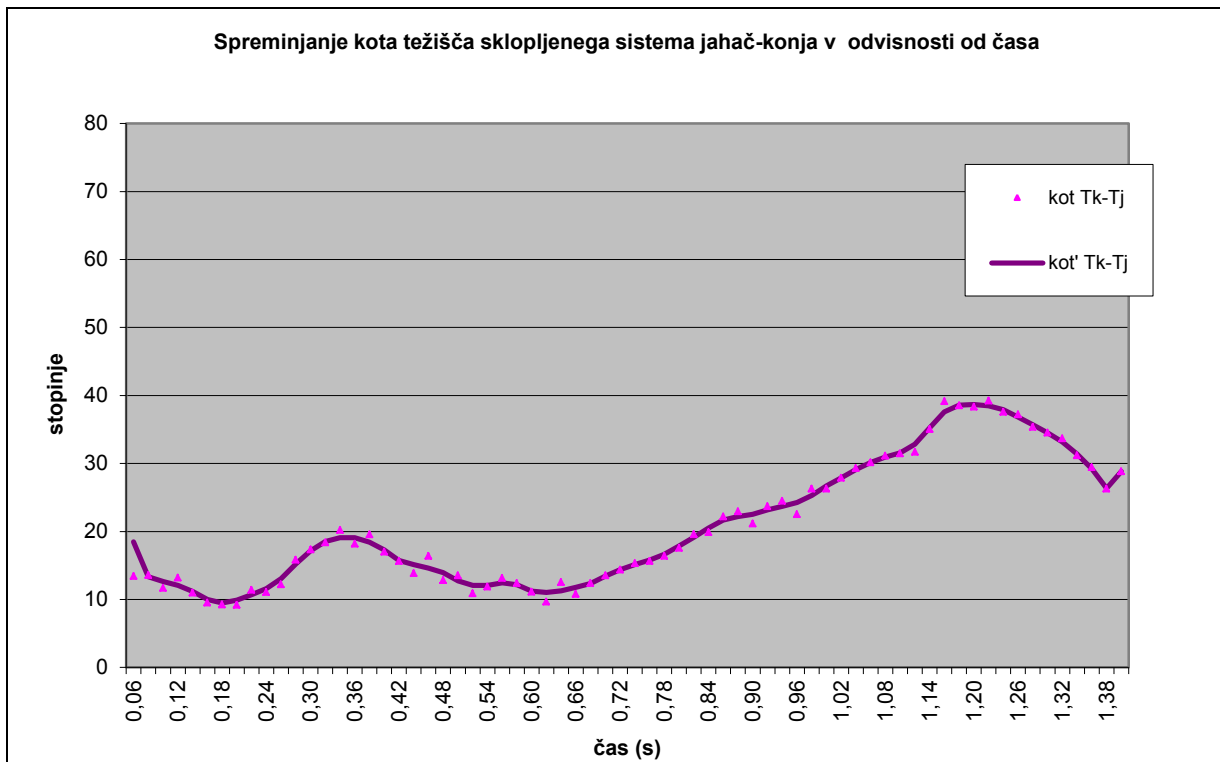
Če primerjamo grafe na sliki 32, lahko vidimo, da prihaja pri amaterski jahačici (posnetek 4.2) do večjih, pri profesionalnem jahaču pa do manjših kotov. Vidimo tudi, da se kot pri višji oviri (posnetek 10.1) skoraj ves čas skoka ne spreminja. Pri amaterski jahačici pa lahko opazimo, da se začne kot po doskoku povečevati, kar

pomeni, da ostane predolgo s telesom preveč naprej in se tako kasneje pripravi na naslednjih skok, to pa lahko pri večjem številu ovir predstavlja težavo.

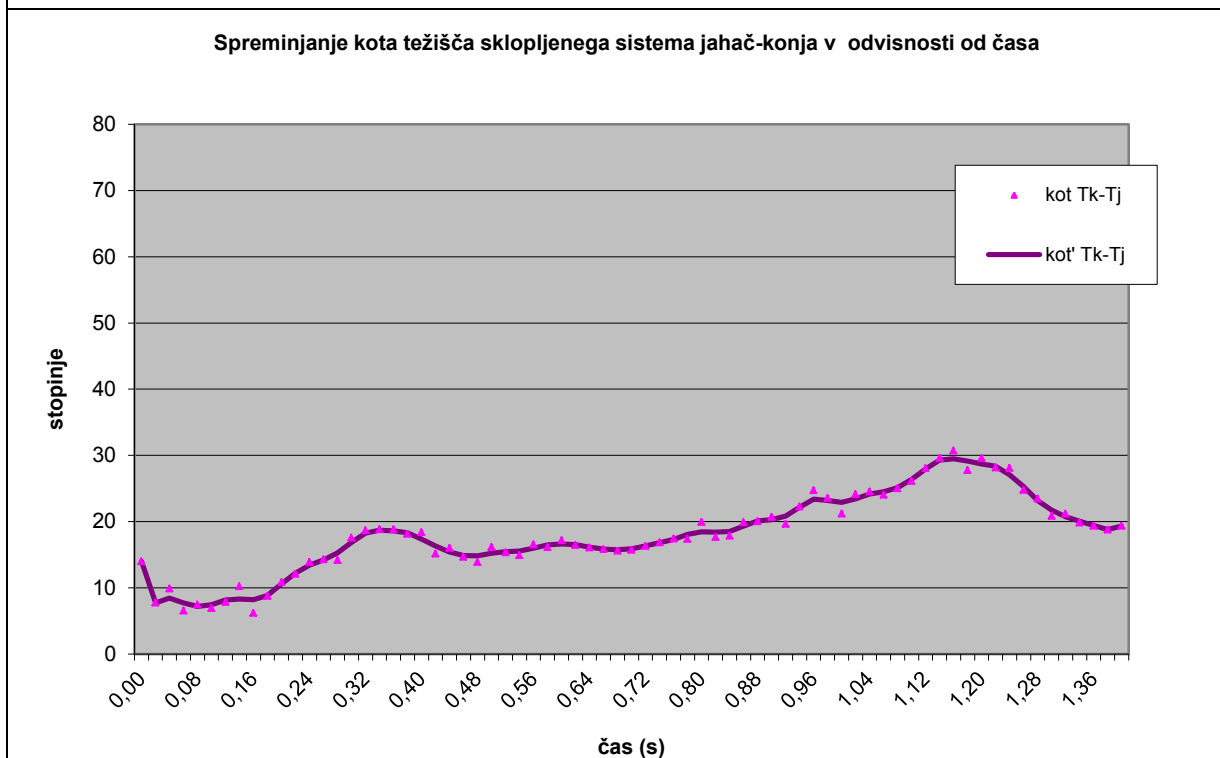
Slika 30: Na fotografijah je prikazan položaj težišča jahača v odvisnosti od težišča konja.



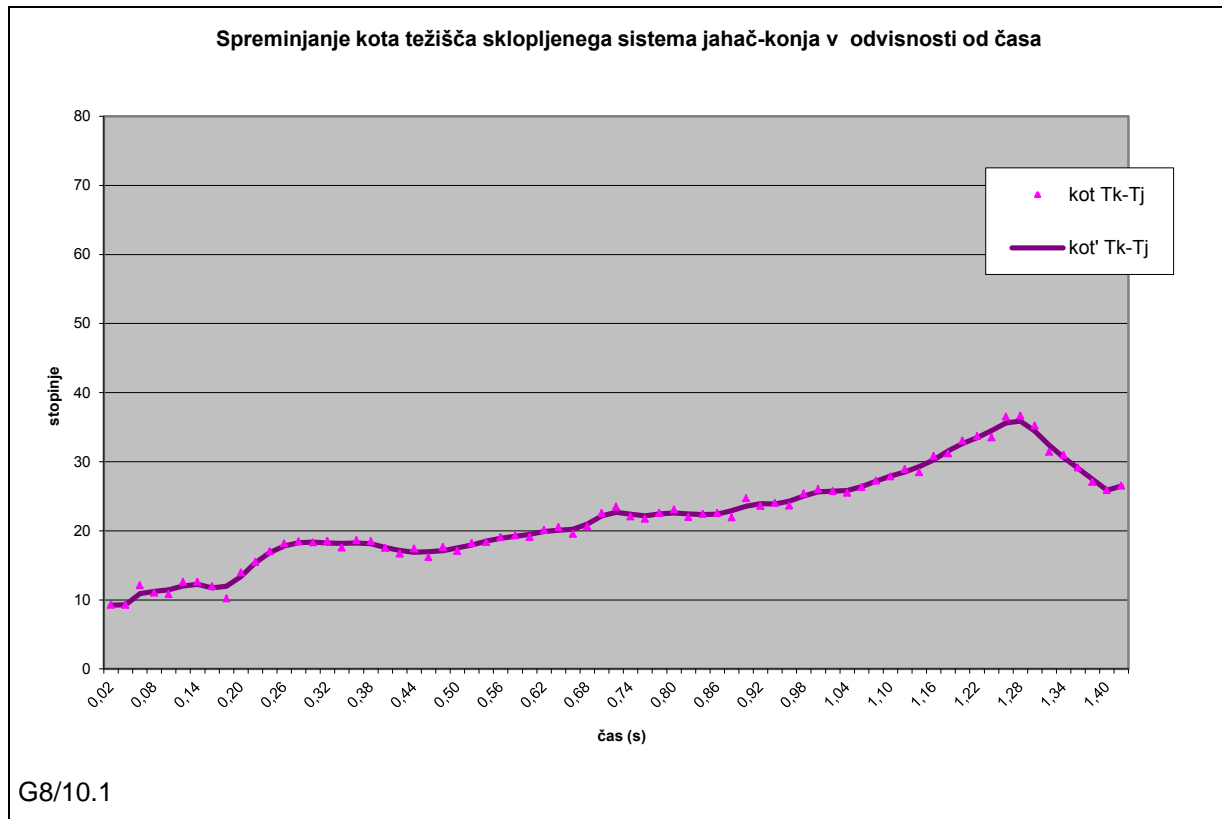
Slika 31: Graf 8 prikazuje spreminjanje kota Tkonja-Tjahača glede na čas.



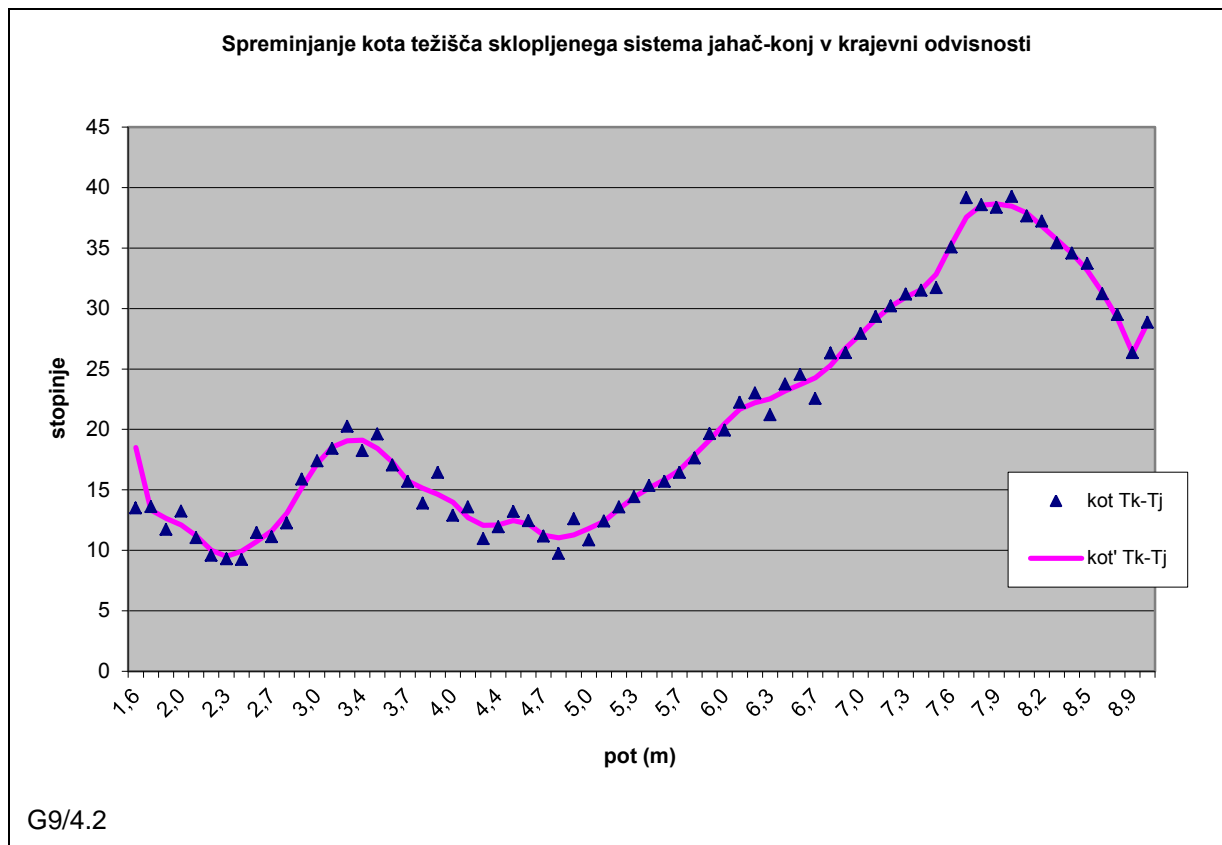
G8/4.2

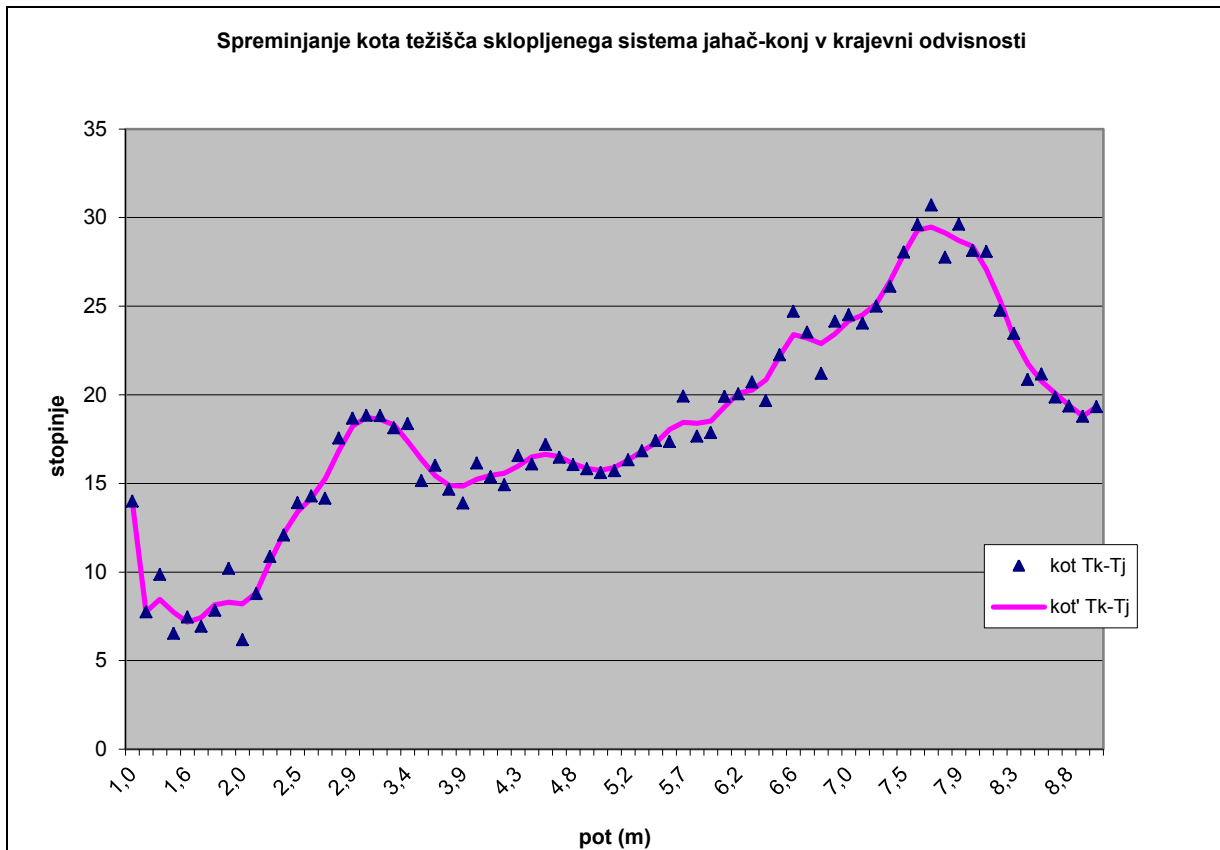


G8/3.1

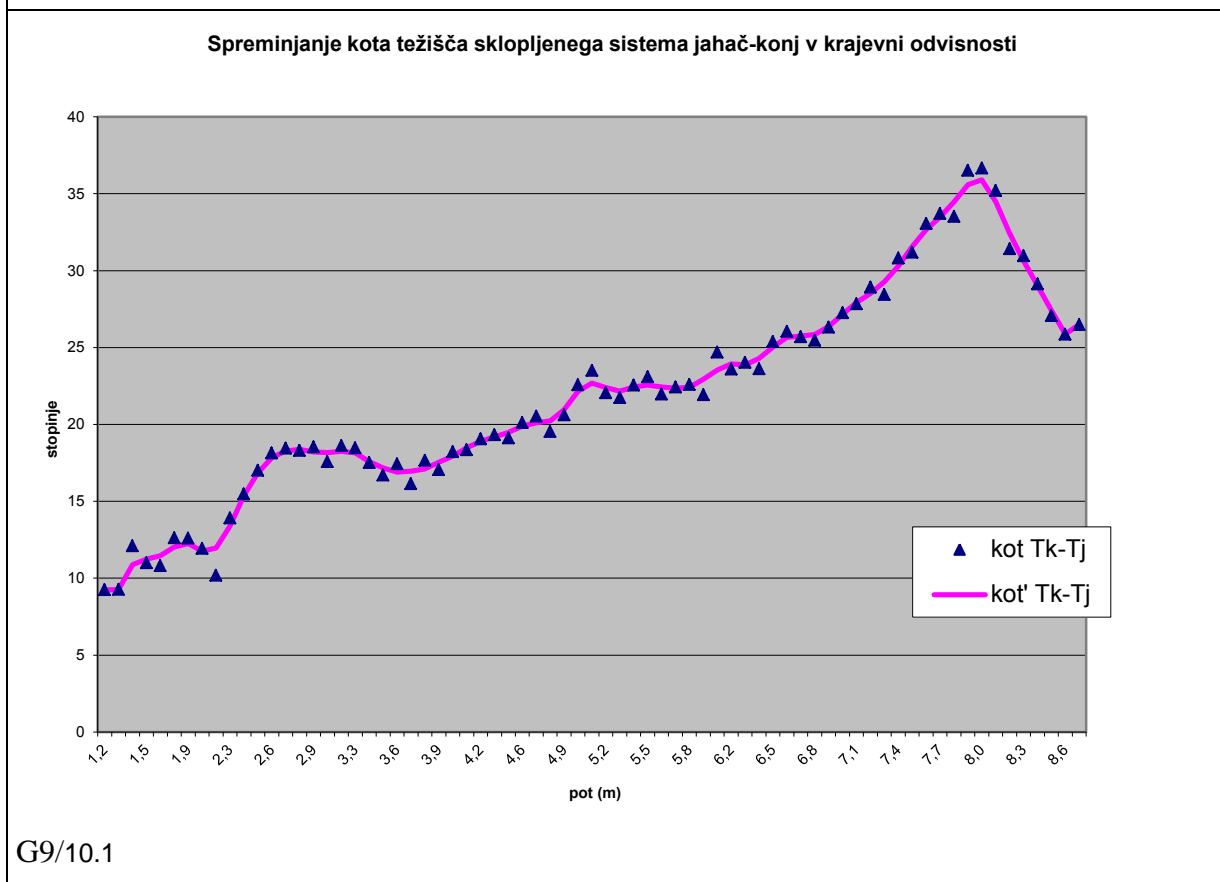


Slika 32: Graf 9 prikazuje spreminjanje kota Tkonja-Tjahača glede na horizontalo (x-težišče sklopljenega sistema jahač-konj).



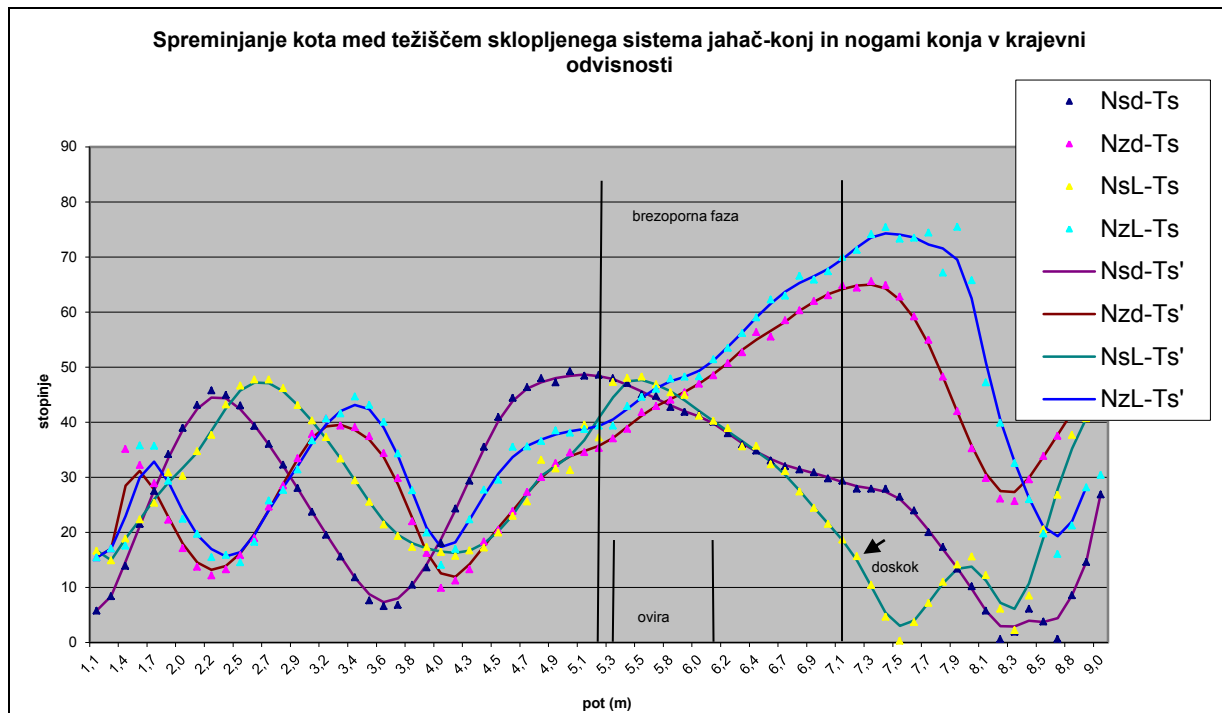


G9/3.1

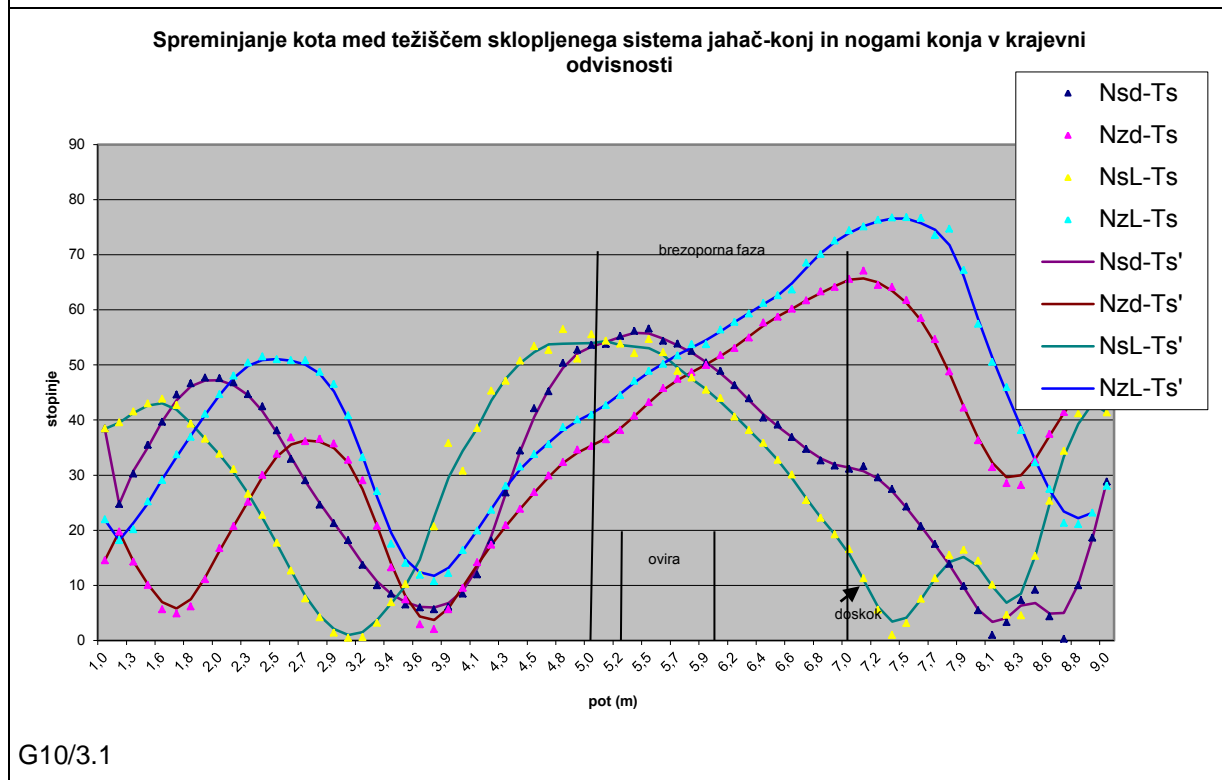


G9/10.1

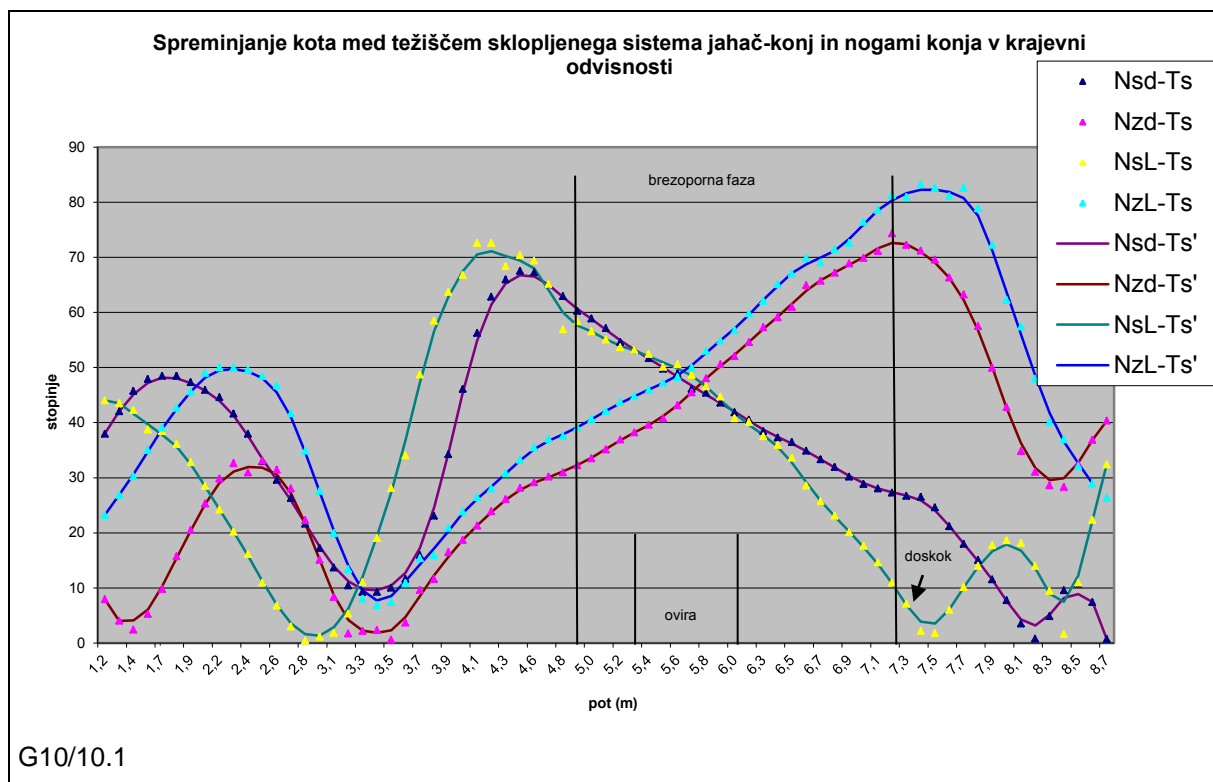
Slika 33: Graf 10 prikazuje spreminjanje kota zadnjih nog glede na težišče in kota sprednjih nog v krajevni odvisnosti (x Tsist).



G10/4.2



G10/3.1



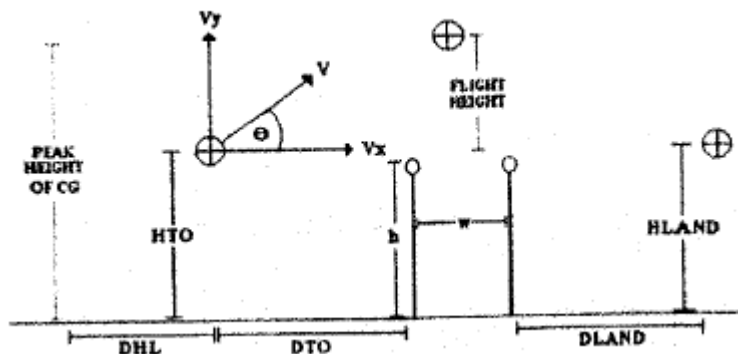
Drugo hipotezo, ki pravi, da imata težišče konja in težišče jahača skupno težiščnico, zavračamo.

6.3. H3 – Najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez oviro je točno na sredini širinske ovire

Stroka, ki obravnava preskakovanje ovir, trdi, da konj idealno skače, če se nahaja vrh parabole v fazi leta točno na sredini širinske ovire oziroma točno nad strmo oviro (K. H. Vollmer, osebna komunikacija, 25. 11. 2006). To lastnost ocenjujejo pri selekciji mladih plemenskih žrebcev za plemenjake ter na tekmovanjih v prostem skakanju za mlade konje (K. H. Vollmer, osebna komunikacija, 25. 11. 2006).

Prav tako opisuje idealno gibanje težišča telesa konja tudi Powersova (1999) v svojem članku Model biomehanske analize skakalnih konj. Tako gibanje je prikazano tudi na sliki 34.

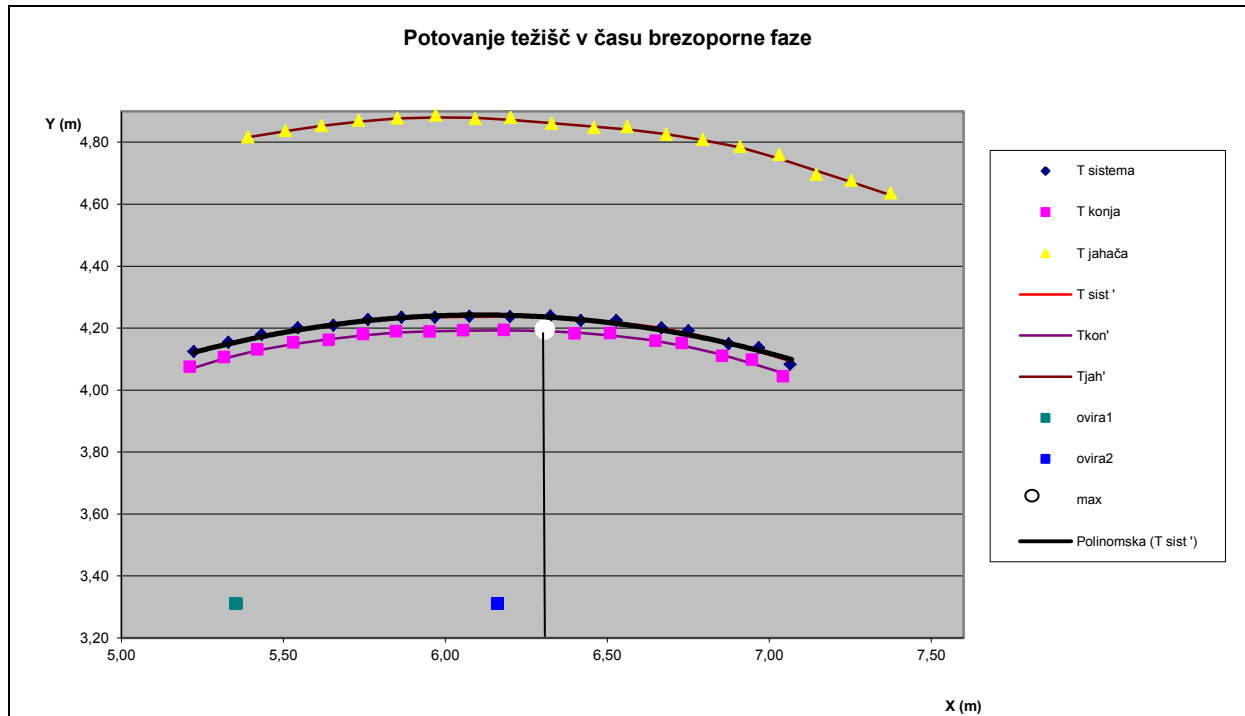
Slika 34: Slika prikazuje širinsko oviro in potovanje težišča telesa v teoriji (Powers in Harrison, 2002).



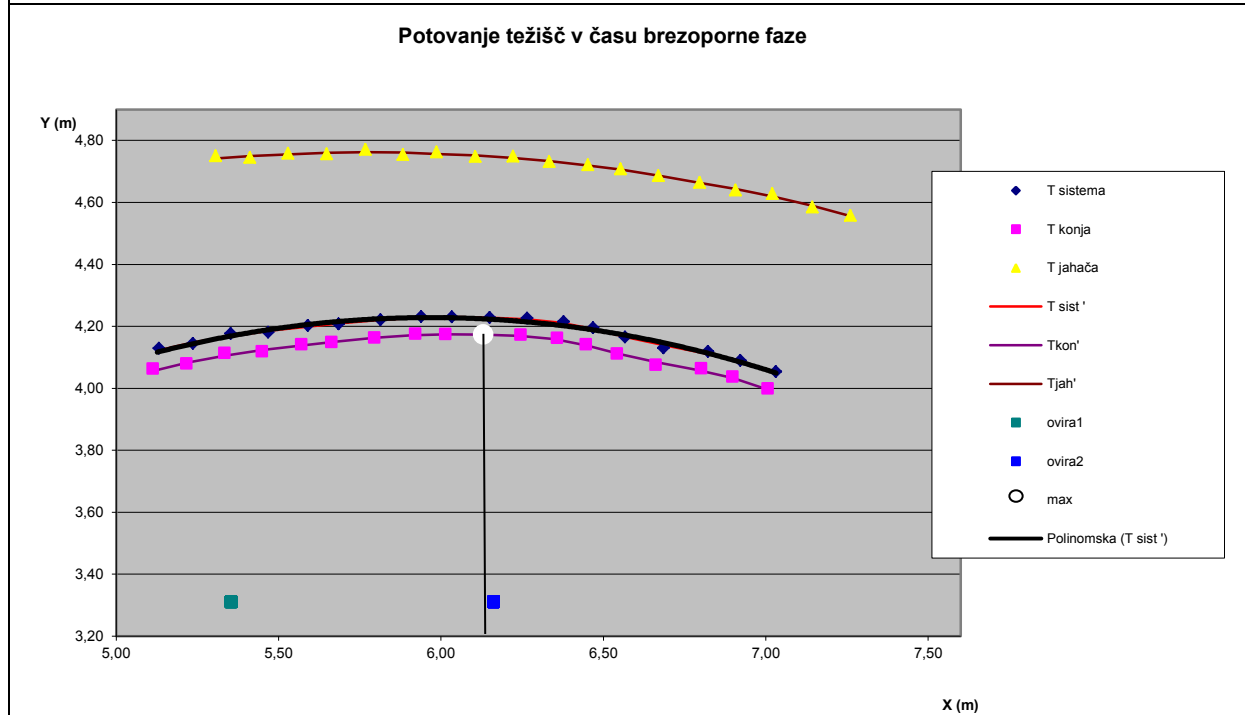
Hipoteze številka tri, ki pravi, da je najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez širinsko oviro na sredini širinske ovire, ne moremo v splošnem ne sprejeti ne zavriniti. V našem primeru hipotezo sicer zavračamo, vendar ne smemo pozabiti, da gre tu za majhen vzorec, ki zajema le eno kobilo in tri posnetke. Poleg tega je kobila iz srednjekakovostnega razreda, kar pomeni, da je veliko parametrov pod vprašajem. Iz grafov na sliki 35 lahko opazimo razliko med profesionalnim jahačem (graf 3.1 in 10.1) in amatersko jahačico (graf 4.2). Pri profesionalnem jahaču je pri 1,30 metra visoki oviri vrh parabole pomaknjen v levo od konca ovire, na oviri, visoki 1,00 metra, je na levi strani tik ob koncu ovire, pri amaterski jahačici pa je pri enako visoki oviri (en meter) vrh parabole leta težišča konja celo za oviro. V nobenem primeru ni vrh parabole leta težišča konja nad sredino širinske ovire.

Pojavlja se vprašanje, kako lahko sodniki pri ocenjevanju, ko ocenjujejo konje v živo v jahalnici, vidijo, ali je vrh parabole leta konja dejansko nad sredino ovire. Zato menimo, da bi bilo v prihodnosti kot pomoč pri selekcioniranju konj smiselno uporabljati tudi take metode in postopke, ki jih predstavljamo v tej nalogi.

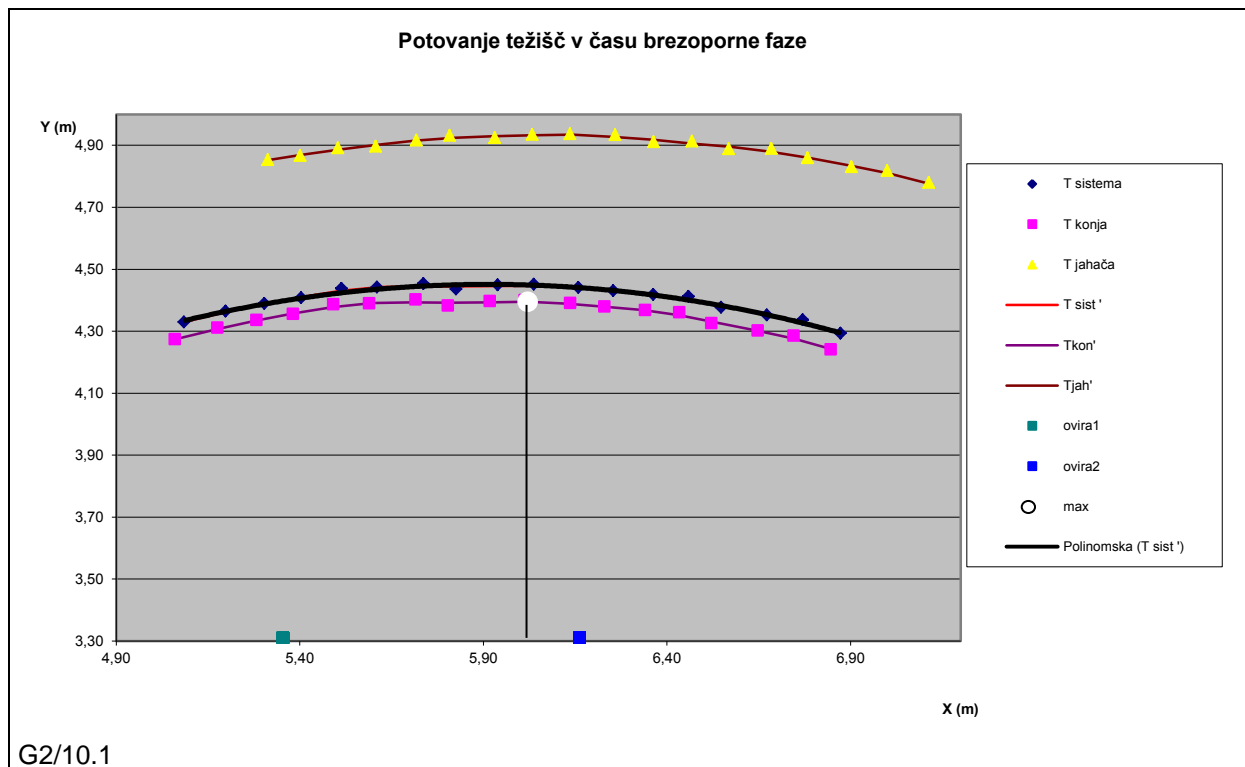
Slika 35: Graf 2 prikazuje potovanje težišča konja, jahača in sklopljenega sistema jahač-konj, trendno (polinomska aproksimacija 2. reda) črto sklopljenega sistema jahač-konj v času brezoporne faze ter širinsko-višinsko oviro.



G2/4.2



G2/3.1

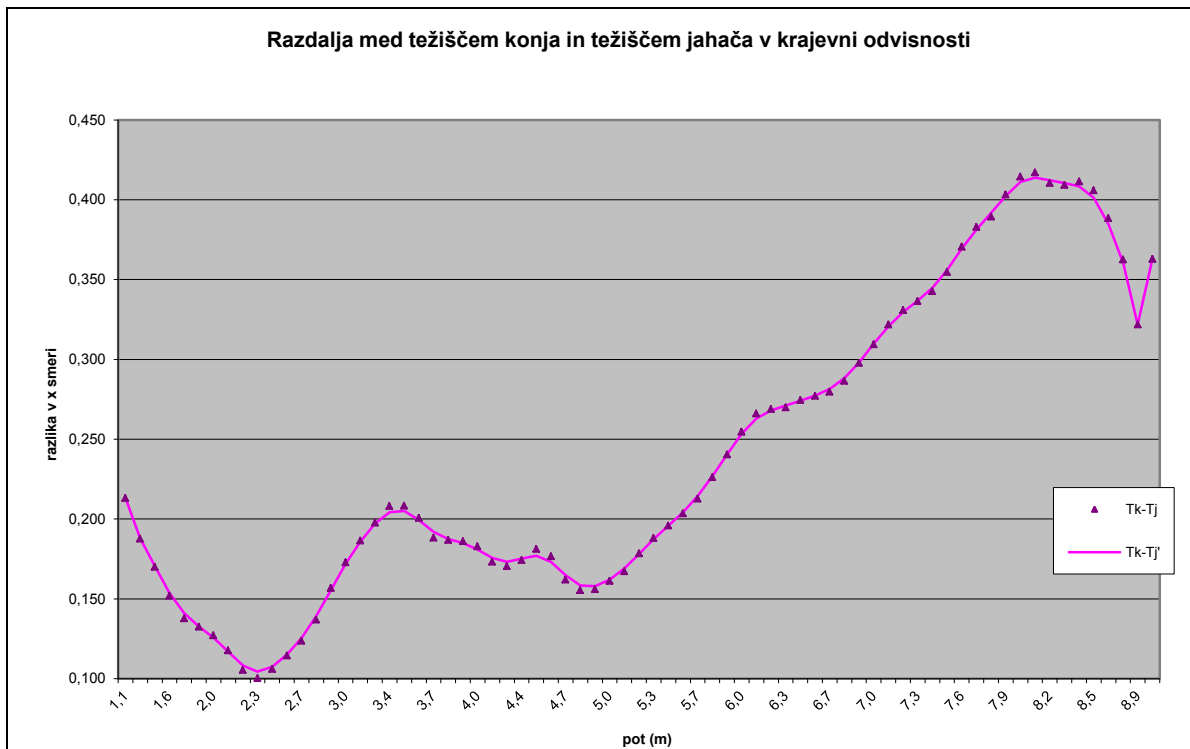


Na podlagi naših meritev zavračamo hipotezo številka tri, ki pravi, da je najvišja točka težišča sklopljenega sistema jahač-konj pri skoku čez širinsko oviro na sredini širinske ovire.

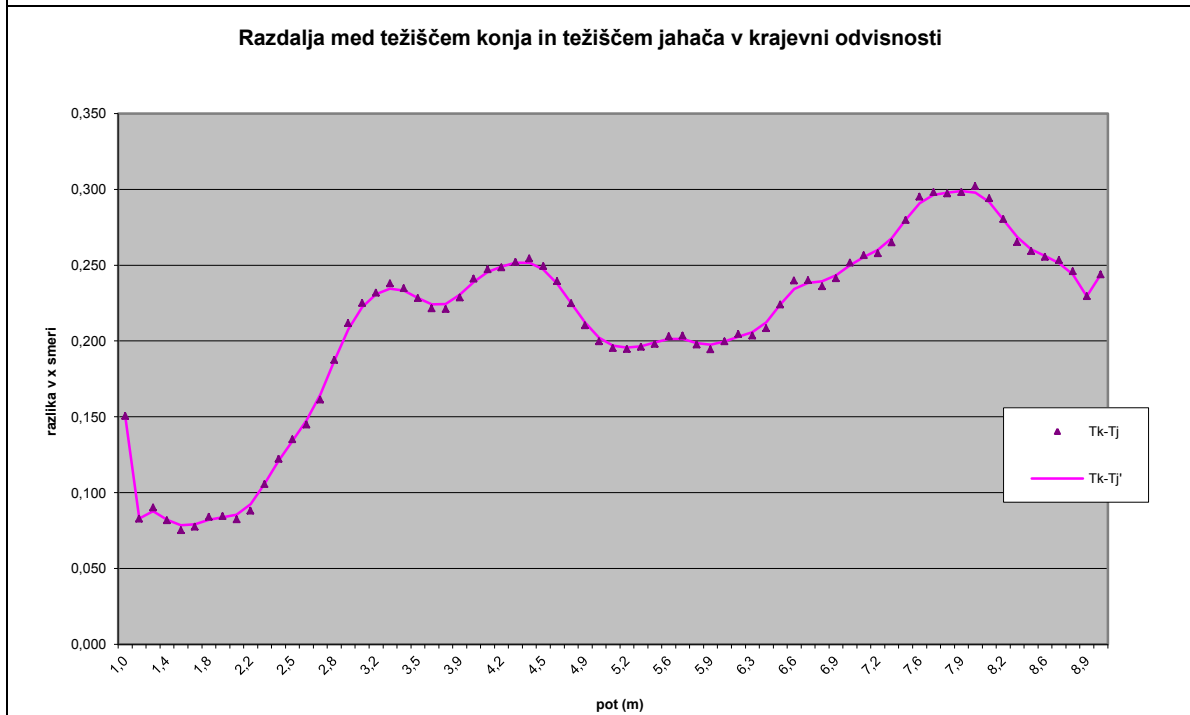
6.4. H4 – Antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir

Na sliki 36 je prikazana razlika med težiščem konja in težiščem jahača v krajevni odvisnosti. Ali antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir, na podlagi naših meritev ne moremo ugotoviti. Hipotezo bi težko potrdili, ker imamo premajhen vzorec jahačev (le dva jahača).

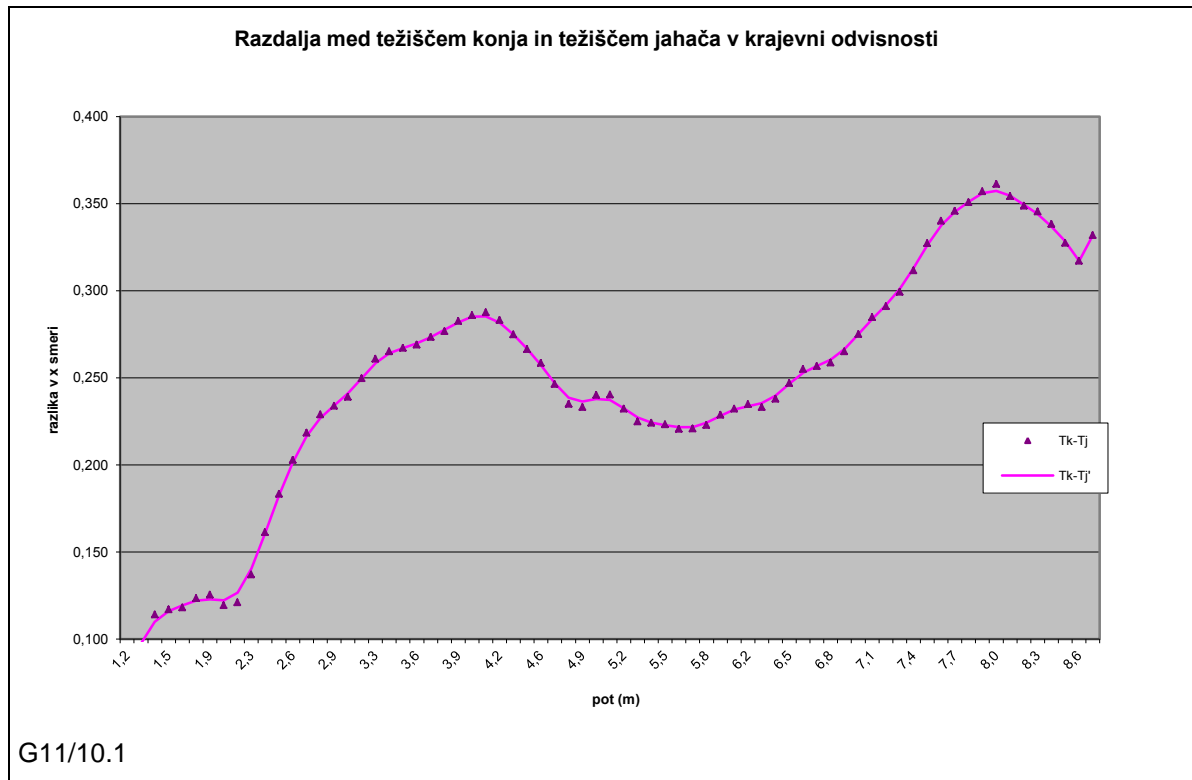
Slika 36: Graf 11 prikazuje diferenco $T_{konja}-T_{jahača}$ v krajevni odvisnosti x (x T_{sist} ').



G11/4.2



G11/3.1



Četrto hipotezo, ki pravi, da antropometrija jahača vpliva na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir, zavračamo.

7. Sklep

Če povzamemo postavljene hipoteze, lahko trdimo, da je 2D kinematika primerna za analizo gibanja tako konja kot jahača in seveda tudi sklopljenega sistema jahač-konj. Analiza brez označenih referenčnih točk, ki ni avtomatska, je zelo zamudna, nasprotno pa je analiza z markiranimi referenčnimi točkami lahko sorazmerno hitro opravljena. V praksi bi bil zelo dobrodošel primeren program, ki bi lahko opravljal take analize polavtomatsko, saj se ocenjevanje uporablja tako v selekciji za rejo in v selekciji za prodajo kot tudi v športu.

Trditev, da imata jahač in konj skupno težiščnico in da težišče konja močno vpliva na uspešnost skoka, zavračamo. Že v predhodnih raziskavah so ugotovili, da jahač s svojo težo nima bistvenega vpliva na konjev skok, velik vpliv pa imajo njegovi ukazi.

Ali je kvaliteten skok tisti, pri katerem je vrh parabole leta točno nad sredino širinske ovire, na našem vzorcu nismo mogli potrditi. Na posnetkih so bili vsi skoki uspešni (ovira se ni porušila), vendar pa je bila parabola leta drugačna, kot pravi teorija. Za ugotovitve o najvišji točki parabole, bi morali imeti večji vzorec, meritve pa bi bilo smiselno delati med tekmovanjem v ocenjevanju tehnike skoka pri mladih konjih. V tem primeru bi bilo zanimivo videti, ali sta sodnikova ocena, da je vrh parabole leta na sredini ovire, in naša meritev skladni.

Prav tako zaradi majhnega vzorca nismo ugotovili, kako vpliva antropometrija jahača na pozicioniranje težišča telesa jahača na konju pri preskakovanju ovir. Za to bi potrebovali velik vzorec jahačev z raznolikimi antropometrijskimi merami.

Če zaključim, lahko rečemo, da je veliko vprašanj še odprtih, potrebne pa so longitudinalne študije na velikih vzorcih.

8. Literatura

- Anatomija konj.* (13. 04. 2006). Ljubljana: Veterinarska fakulteta. Pridobljeno 20. 05. 2006 s svetovnega spleta: <http://www.vf.uni-lj.si/veterina/index.htm>.
- Barrey, E. (1999). Methods, Applications and Limitations of Gait Analysis in Horses. *The Veterinary Journal*, 157, 7–22.
- Buchner, H. H. F., Savelberg, H. H. C. M., Schamhard, H. C. in Barneveld, A. (1997). Inertial properties of Dutch Warmblood horses. *J. Biomechanics*, 30(6), 653–658.
- Donner, H. D. and Specht, D. (1995). *Osnovno šolanje jahača in konja*. Ljubljana: Konjeniška zveza Slovenije, Slovenska konjeniška akademija.
- Enoka, R. M. (1998). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Champaigne: Human Kinetics.
- Fuss, F. K. in Fuss, A. H. (1998). Angular acceleration in horse jumping *J. Biomechanics*, 31(1), 180–180.
- Hodgson, D. R., Rose, R. J. (1994). *The athletic horse*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Kapaun, M., Peham, Ch., Licka, Th., Scheidel, M. (1998). *The influence of the rider on the trotting motion of a ridden horse*. V: Proceedings I IS-BS'98 (str. 132–135). Dunaj: Veterinary University Vienna.
- Kobe, V. (1995). *Anatomija, skripta za študente medicine 1. del*. Ljubljana: Ljubljana, Medicinska fakulteta.
- Powers, P. (1999). Models for Biomechanical Analysis of Jumping Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 19(12), 799–806.
- Powers, P. N. R. in Harrison, A. J. (2002). Effect of the rider on the linear kinematics of jumping horses. *Sports Biomechanics*, 1(2), 135–146.
- Powers, P. N. R. in Harrison, A. J. (2004). Influence of a rider on the rotation of the horse-rider system durin jumping. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 1(1), 33–40.
- Pravilnik FEI za tekmovanja v dresurnem jahanju* (22 izdaja). (2006). Ljubljana: Konjeniška Zveza Slovenije.
- Pravilnik FEI za tekmovanja v preskakovanju ovir* (22 izdaja). (2006). Ljubljana: Konjeniška Zveza Slovenije.

- Sobotta, J. (2001). *Atlas of human anatomy (13th edition)*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, cop.
- Supej, M., Kugovnik, O. in Begojev, B. (2003). Osnovni biomehanski pristopi v jahanju. *Šport*, 51(1), 9–12.
- Steel, J. D. (1872). *Fourteen Weeks in Human Physiology*. Pridobljeno 18. 12. 2006, iz http://images.google.si/imgres?imgurl=http://www.uh.edu/engines/skelet.jpg&imgrefurl=http://www.uh.edu/engines/epi1341.htm&h=467&w=251&sz=26&hl=sl&start=45&tbnid=ZJuJAK2KYf_C7M:&tbnh=128&tbnw=69&prev=/images%3Fq%3Dskelet%26start%3D40%26ndsp%3D20%26svnum%3D10%26hl%3Dsl%26lr%3D%26client%3Dfirefox-a%26channel%3Ds%26rls%3Dorg.mozilla:sl:official%26sa%3DN.
- The Manual of Horsemanship* (9th edition). (1989). London: The British Horse society and Pony Club.
- The skeletal system of the horse*. (1997–2000). Penzance equine solutions. Pridobljeno 16. 04. 2006, iz <http://www.kersur.net/~santa/skeletalsystem.htm>.
- Werner, H. (1997). *Konji: pasme, nega, šolanje, šport*. Ljubljana, DZS.
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Zatsiorsky, V. M. (1998). *Kinematics of Human Motion*. Champaign: Human Kinetics.

9. Priloge

9.1. Mase segmentov jahačev in mase segmentov konja

Tabela 5: Tabela prikazuje izračunane mase segmentov amaterske jahačice (posnetek 4.2), izražene v kilogramih.

Segmenti	masa (kg)	Koef.	skupna (kg)
stopalo 2-1	0,754	2	1,508
golenica 3-2	2,418	2	4,836
stegnenica 4-3	5,2	2	10,4
trup 4-5	25,844	1	25,844
glava 5-6	4,212	1	4,212
nadlaht. 5-7	1,456	2	2,912
podlahtn. 7-8	0,832	2	1,664
dlan 8	0,312	2	0,624
SKUPNO	41,03	14	52, 0

Tabela 6: Tabela prikazuje izračunane mase segmentov profesionalnega jahača (posnetek 3.1, 10.1), izražene v kilogramih.

Segmenti	masa (kg)	Koef.	skupna (kg)
stopalo 2-1	1,131	2	2,262
golenica 3-2	3,627	2	7,254
stegnenica 4-3	7,8	2	15,6
trup 4-5	38,766	1	38,766
glava 5-6	6,318	1	6,318
nadlaht. 5-7	2,184	2	4,368
podlahtn. 7-8	1,248	2	2,296
dlan 8	0,468	2	0,936
SKUPNO	61,54	14	78, 0

Tabela 7: Tabela prikazuje izračunane mase segmentov konja, izražene v kilogramih.

segmenti/točke	IZRAČUNANA	% referenčne	M segmentov glede na % referenčne	UPORABLJENA	KOEFICIENT
glava 2-1	/	4,39%	30,73	30,73	
trup 4-3	499,4	66,89%	468,21	499,4	
vrat 3-2	/	5%	35,65	35,65	
pleča 6-7	18,71487	2,18%	15,3	18,715	2
nadlahtnica 7-8	168,849	1,63%	11,44	11,44	2
podlahtnicaD 8-9	5,475034	1,27	8,91	5,475	
podlahtnicaL 23-22	5,45801	1,27	8,91	5,458	
s. piščalniD 9-10	/	0,30%	2,11	2,11	
s. piščalniL 22-21	/	0,30%	2,11	2,11	
s. biceljnicaD 10-11	0,602506	0,14%	0,73	0,602	
s. biceljnicaL 21-20	0,605539	0,14%	0,73	0,606	
s. kopitnicaD 11-12	0,679015	0,34%	1,8	0,679	
stegnenica 13-14	/	3,53%	18,6	24,74	2
golenica D 14-15	10,15909	1,58%	8,3	10,159	
golenica L 28-27	9,039777	1,58%	8,3	9,04	
z. piščalnicaD 15-16	3,972566	0,54%	2,84	3,973	
z. piščalnicaL 27-26	3,207675	0,54%	2,84	3,208	
zd. Bicelj D 16-17	2,282	0,17%	0,89	2,282	
zd. bicelj L 26-25	2,282	0,17%	0,89	2,282	
z. kopitnicaD 17-18	0,567799	0,19%	0,99	0,568	
z. kopitnicaL 25-24	0,60116	0,19%	0,99	0,601	
s. kopitnicaL 20-19	0,687898	0,34%	1,08	0,688	
SKUPNO	920,1478	100%	699,01	724,805	

9.2. Dolžine segmentov konja

Tabela 8: Tabela prikazuje izračunane dolžine segmentov konja, izražene v metrih.

segmenti/točke	Izračunana povprečna dolžina segmentov (m)
glava 2-1	0,302
trup 4-3	1,61
vrat 3-2	0,62
pleča 6-7	0,45
nadlahtnica 7-8	0,25
podlahtnicaD 8-9	0,434
podlahtnicaL 23-22	0,434
s. piščalniD 9-10	0,278
s. piščalniL 22-21	0,278
s.biceljnicaD 10-11	0,134
s. biceljnicaL 21-20	0,134
s. kopitnicaD 11-12	0,099
stegenica 13-14	0,36
golenica D 14-15	0,434
golenica L 28-27	0,434
z. piščalnicaD 15-16	0,353
z. piščalnicaL 27-26	0,353
zd. bicelj D 16-17	0,141
zd. bicelj L 26-25	0,141
z. kopitnicaD 17-18	0,101
z. kopitnicaL 25-24	0,101
s. kopitnicaL 20-19	0,099

9.3. Druge tabele

Tabela 9: Tabela prikazuje čase brezoporne faze.

Posnetek	Dolžina posn.	Brezoporna faza
4.2	1,42 s	0,70–1,04 s (spr. L noga)
3.1	1,42 s	0,70–1,04 s
10.1	1,50 s	0,68–1,12 s

Tabela 10: Tabela prikazuje oddaljenost kopitnice od ovire.

ODDALJENOST TEŽIŠČA OD OVIRE			
Čas (s)	posnetek		
	4.2	3.1	10.1
0,00	4,38	4,37	4,20
0,02	4,22	4,20	4,08
0,04	3,99	4,08	3,98
0,06	3,83	3,95	3,84
0,08	3,71	3,84	3,72
0,10	3,56	3,70	3,60
0,12	3,45	3,59	3,48
0,14	3,30	3,48	3,36
0,16	3,17	3,33	3,22
0,18	3,04	3,23	3,12
0,20	2,91	3,11	3,01
0,22	2,81	3,01	2,91
0,24	2,67	2,90	2,80
0,26	2,56	2,77	2,70
0,28	2,45	2,65	2,58
0,30	2,34	2,56	2,48
0,32	2,23	2,47	2,35
0,34	2,14	2,35	2,25
0,36	2,02	2,24	2,16
0,38	1,93	2,14	2,03
0,40	1,82	2,03	1,93
0,42	1,71	1,91	1,83
0,44	1,60	1,79	1,72
0,46	1,55	1,68	1,64
0,48	1,41	1,57	1,54
0,50	1,33	1,50	1,46
0,52	1,20	1,37	1,38
0,54	1,12	1,27	1,30
0,56	1,05	1,19	1,23
0,58	0,96	1,09	1,17
0,60	0,89	1,01	1,12
0,62	0,82	0,94	1,08
0,64	0,81	0,87	1,04
0,66	0,76	0,84	1,03
0,68	0,76	0,80	1,01
0,70	0,78	0,79	1,01
0,72	0,80	0,78	1,02
0,74	0,82	0,80	1,03
0,76	0,86	0,81	1,05
0,78	0,90	0,86	1,09
0,80	0,95	0,89	1,10
0,82	1,01	0,96	1,15
0,84	1,06	1,03	1,16
0,86	1,13	1,09	1,22
0,88	1,21	1,16	1,27
0,90	1,30	1,24	1,33
0,92	1,36	1,32	1,38
0,94	1,45	1,37	1,45

Matešič N.: Kinematika sklopljenega sistema jahač-konj pri prehodu čez širinsko oviro

0,96	1,55	1,43	1,51
0,98	1,61	1,51	1,55
1,00	1,70	1,63	1,63
1,02	1,78	1,71	1,70
1,04	1,84	1,79	1,76
1,06	1,93	1,87	1,82
1,08	2,02	1,96	1,90
1,10	2,10	2,07	1,97
1,12	2,19	2,14	2,06
1,14	2,25	2,23	2,11
1,16	2,36	2,32	2,17
1,18	2,46	2,44	2,25
1,20	2,55	2,52	2,33
1,22	2,61	2,63	2,42
1,24	2,74	2,73	2,51
1,26	2,83	2,87	2,59
1,28	2,96	2,97	2,69
1,30	3,05	3,10	2,81
1,32	3,15	3,20	2,91
1,34	3,30	3,33	3,03
1,36	3,40	3,43	3,16
1,38	3,55	3,58	3,26
1,40	3,63	3,67	3,35

Z rdečo barvo so označene številke v brezoporni fazi.

9.4. Članek

Kinematic measurements: disproof of the existing literature on a relationship in a system rider-horse

Authors: Nastja Matešič^{1*}, prof. Ph.D. Otmar Kugovnik² and assis.prof. Ph.D. Matej Supej²

* Corresponding author

¹ Sp. Škofije 143, SI-6281, Škofije, Slovenija

Tel.:+386 40 794393

E-mail: nastja.matesic@gmail.com

² Faculty of Sport, University of Ljubljana,
Gortanova 22, SI-1000, Ljubljana, Slovenia

Kinematic measurements: disproof of the existing literature on a relationship in a system rider-horse

ABSTRACT

In 1997 Buchner, Savelberg, Schamard and Barneverd designed a model of a horse, which included the entire set of three-dimensional inertia characteristics of German warmblood horses, namely mass segments, inertia tensors and densities of all body segments. The anthropometrics described by Buchner et al. was used in the present study as a basis for the calculation of the body centre of gravity of a horse. It is a common rule in horse riding that the body centre of gravity of a rider should be directly above the body centre of gravity of a horse; this rule should be applied in both dressage and show jumping. Two-dimensional kinematics was used in the present study to calculate the body centres of gravity of both horse and rider in order to compare the relationship between the two of them in all the phases of a jump across the spread. The results of the study are contradictory to the rules of practice. Namely, the body centre of gravity of a rider, when looked in the horizontal direction, is not directly above but rather slightly in front of the body centre of gravity of a horse. The angle between the body centres of gravity of a rider and a horse varies during the jump; however, the body centre of gravity of a rider is in front of the body centre of gravity of a horse even in the landing phase after the jump

KEY WORDS: horse riding, two-dimensional kinematics, body centre of gravity of a horse, body centre of gravity of a rider, show jumping

INTRODUCTION

A veterinary named Bourgelat brought in the 17th and 18th century the first scientific approach into horse riding (1754, in Barrey, 1999). Marey (1873, 1894, in Barrey, 1999) has in 19th century carried out first experimental measurements, studying the time of each individual step with the use of chronographic method. He was followed by Muybridge, who used a series of cameras to analyse locomotion of a horse (1887, in Barrey, 1999). In the same period, a horse-riding master Bauchner and general Morris (Lenoble du Teil, 1893, in Barrey, 1999) carried out measurements on mass proportions of front and hind legs of a horse. The use of horse's strength has decreased at the beginning of the 20th century due to the development of engines; nevertheless, the interest in horse riding competitions in the last forty years spurred a stimulation of scientific research and biomechanics of horses.

In 1894 Marey improved Muybridge's method, where the trajectories of articulations and body segments in movement were measured with the help of photographs, which were taken in regular time intervals. This has marked a beginning of a modern approach to research; nowadays markers are used, which are first being stuck on the body of a horse and then filmed (Barrey, 1999).

In 1997 Buchner, Savelberg, Schamard and Barneverd designed a model of a horse, which included the entire set of three-dimensional inertia characteristics of German warmblood horses. This model included mass segments, inertia tensions and densities of all body segments; data of these measurements were used to perform regression calculations for predicting the inertia characteristics on live horses. Since then, the research in the field of horse riding grew in the world.

It is unsaid rule in horse riding that the body centre of gravity of a rider should be directly above the body centre of gravity of a horse. This is stated in various horse riding manuals and this rule is valid both in dressage (Donner & Specht, 1995) and show jumping (The manual of horsemanship, 1989). As this has never been previously proven, the present study aimed to test this rule.

METHODOLOGY

Sample of measured subjects

Sample consisted of a German warmblood jumping mare and two riders of different quality. The mare was fourteen years old competing in 1.30 metre high fence jumping. Video recording 1 shows an amateur female rider, whereas video recordings 2 and 3 show a professional male rider, who competes at the international level and who was a senior national champion of Slovenia in 2006. Both riders were 23 years old; they have been chosen due to their different quality, as it allowed easier observation of differences between the two of them. A mare weighed approximately 700 kilograms, rider 1 (amateur female) weighed 52 kilograms and the rider 2 (professional male rider) weighed 78 kilograms. The height of rider 1 was 1.63 metres; rider 2 was 1.89 metres tall; the weight of the saddle was disregarded.

Data collection

The horse was marked with twenty-seven points (the marking point number 5 on tail was left out); these points were selected as described in Buchner et al. (1997). Horse was being observed in two-dimensional space. Riders were marked with eight points each (metatarsus, ankle, knee, hip, shoulder, head, elbow and wrist) as described in Winter (1990). Marking points were represented with white paper circles with a five-centimetre diameter and a two-sided sticking tape. As sometimes some of the marking points came off as a result of horse sweating, occasionally some of the reference points had to be selected manually.

In total twenty-two segments of the horse have been computed; the calculations in present study later considered twenty-five segments. As the study was carried out in two-dimensional kinematics with the horse being filmed from the right hand side, the shoulder, forearm and the thigh on the left hand side were not visible. Therefore, these three segments were estimated from the results of the right hand side with the assumption that both sides moved symmetrically.

Eight segments were computed in horse riders and fourteen segments were included in the calculations. The procedure was identical to that of a horse; again it was assumed that left side moved symmetrically to the right side. The height of the oxer (a spread) in the video recordings 1 and 2 was 1 metre and in the video recording 3 1.3 metres. The width of the oxer was in all three video recordings identical – 0.8 metre.

Mini DV camcorder JVC GR-DV4000E was used to record the measurements; the equipment was set on the first vertical pole of the jump at 90° angle to the movement. The recording was taken in PAL system at a speed of 25 frames per second. Camcorder was set at a height of 1.3 metres and at a distance of 44.5 metres from the jump with a purpose of reducing the depth and lenses errors. Space between the two vertical poles was also measured, the length of this space being 8 metres. WinDV programme was used to transfer captured recordings from the camera to the PC.

Data analysis

Recordings were manipulated with the programmes VirtualDub and AviSynth; the »field to frames« method was used to transform 25Hz recordings into 50Hz captures. Seventy-one frames with different positions of a horse were used in each recording, at an interval of 0.02 seconds between the frames each recording was 1.40 second long.

AviMesAd 2.3 programme, which allows automatic digitalisation of the recordings, was used to carry out two-dimensional analysis (see Figure 1). As some of the markers came off due to the sweating of a horse, some of the points could not be tracked automatically and had to be entered manually. Measurement was calibrated

with the use of two calibration sticks of 1.8 metre length with the distance between sticks being 8.5 metres.

Collected two-dimensional data were entered into Excel programme, where they were processed. The lengths of individual body segments of a horse were first calculated in order to find the body centre of gravity (BCG) of a horse. Then the equations by Buchner et al. (1997) were used to calculate the mass of body segments of a horse. Coefficients were given for the majority of the segments; the masses of remaining segments were calculated with the use of relative ratio between the mass values acquired from the average mass, as presented in Buchner et al. (1997).

When calculating the value of the forearm, it has been found that the equation for its mass is incorrect. Communication with Mr Buchner resulted in him presenting an adjusted coefficient for the forearm with the value of 0.0248 instead of 0.248 as published in his article (F. Buchner, personal communication, March 7 2007). Acquired values for the mass of segments were used to calculate the centre of gravity for each of the segments and then for the BCG of a horse. Body centre of gravity was also calculated for the horse rider. Both points, describing the BCG's of a horse and a rider, were connected in a vector and an angle between the vector and a vertical axis was calculated. An angle in the forward direction (to the right) was marked with positive value. Additionally, a horizontal displacement of the BCG of a rider from the BCG of a horse was calculated.

Calculated points were again transferred into the AviMes 2.3 programmes so that the result could be observed graphically.

In the present study, BCG's of both horse and rider and the relationship between them was calculated in all phases of a jump (phase of approaching the jump, take-off phase, flight phase, landing phase and phase of distancing from the jump).

RESULTS

Body centres of gravity of the horse and the rider do not share the same vertical line, as the BCG of the rider is in front of the BCG of the horse in all the phases of a jump. This can be clearly seen in the figures 2-6, which show the rider-horse system in all the phases of a jump. Figures show that the BCG of the rider is throughout the jump slightly in front of the BCG of the horse. The changing of an angle between the two BCG's for 1 metre high jump is shown in figure 7 and for 1.3 metre high jump in figure 8. In the graphs rough values are illustrated with points and the smoothed data with the line. Table 1 shows maximum, minimum and average values of the angle between the body centres of gravity of the rider and the horse for each recording separately.

When comparing figures 7 and 8, it can be seen that for the amateur female rider (see recording 1) the angle is larger in the second part of the flight phase, in the landing phase and the distancing phase. Angles are smaller for the professional male rider (see recording 2) with the exception of the time just prior to take off. As the

angle of the amateur female rider decreases later after the landing, this results in too long leaning of the body forward and later preparation for the next jump, which could cause problems in the series of jumps. Furthermore, it can be observed that the angle between the body centres of gravity increases more evenly at a higher jump (see Figure 8). The angle starts to increase prior to take off, in the flight phase it increases relatively evenly and then increases drastically after the landing. Compared to other recordings, the angle subsequently decreases slower, which is probably a result of higher initial values.

Figure 9 shows a horizontal displacement of the BCG of the rider from the BCG of the horse. This displacement is shown in metres and has positive values throughout the jump. Table 1 shows the exact values in metres of horizontal displacement of the BCG of a rider from the BCG of a horse. An average, maximum and minimum displacement values for each recording separately are being shown, expressed in metres.

Positive displacement in horizontal direction confirmed that the BCG of the rider is constantly in front of the BCG of a horse, as the average value for an amateur female rider is 0.24 metre and for the professional male rider 0.21 metre at a 1 metre high jump. At 1.3 metre high jump the average horizontal displacement of the professional male rider is 0.25 metre. The maximum displacement value of 0.44 metres was recorded for the amateur female rider and the smallest value of 0.06 metres was recorded for the professional male rider, both values were recorded at a jump height of 1 metre. The minimum value at a 1.3 metre high jump was 0.1 metre and is higher than at a lower jump. Values of the angles show similar tendency. The biggest angle is 39.26° and the smallest 6.18°. Previous studies have concluded that the weight of a rider does not affect the jump of a horse to large extent; rather the commands of the rider have larger impact (Powers & Harrison, 2002).

DISCUSSION AND CONCLUSION

In the sport of horse riding it is a common knowledge that the BCG of the rider should be directly above the BCG of the horse or that a same vertical line should pass through the BCG's of the rider and the horse. A textbook with a title "The manual of horsemanship" (1989), which is an official learning material on horse riding in England and a basic textbook in the Equestrian academy of Spanish classic riding school in Jerez, states that the horse will jump only when the BCG of the rider will be directly above the BCG of the horse. The book by Donner and Specht, titled Basic schooling of a rider and a horse (1995), quotes: "A horse will only jump at his best when the rider's weight is over the horses's centre of gravity".

Powers and Harrison (2002) have found that the position of the rider's body is not that important. They stated that the mass of a rider and its distribution have minimal impact on the rotation of the horse, thus the biggest effect lying in the commands to the horse and in their communication. They concluded that this finding should be a warning to coaches, who spend the majority of training time on the position of the riders in jumps. They also stated that the BCG of the rider should be on the same

vertical line as the BCG of a horse, however, the present study refuted this statement.

Although the present study included only one horse and two riders, it disproves the thesis that a rider and horse have a same vertical passing line through their BCG's. Namely, the results show that an angle of the connecting vector between the BCG's of a rider and a horse and the vertical axis has always been positive. It is smaller when jumping lower jumps and larger for higher jumps. After the landing, this angle decreases faster in better riders and slower in less experienced riders.

Relatively small sample presents a future challenge for further measurements of dressage horses and riders, which expectedly should confirm present findings.

REFERENCES

- Barrey E. Methods, Applications and Limitations of Gait Analysis in Horses. *The Veterinary Journal* 1999;157:7-22.
- Buchner HHF, Savelberg, HHCM, Schamhard, HC Barneved A. Inertial properties of Dutch Warmblood horses. *J. Biomechanics* 1997, 30(6):653-658.
- Donner HD, Specht D. Osnovno šolanje jahača in konja [Grundausbildung für reiter und pferd]. Konjenciška zveza Slovenije, Slovenska konjenciška akademija, 1995.
- Powers PNR, Harrison AJ. Effect of the rider on the linear kinematics of jumping horses. *Sports Biomechanics* 2002,1(2):135-146.
- Powers PNR, Harrison AJ. Influence of a rider on the rotation of the horse-rider system during jumping. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 2004,1(1):33-40.
- The Manual of Horsemanship (9th edition). London: The British Horse society and Pony Club, 1989.
- Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

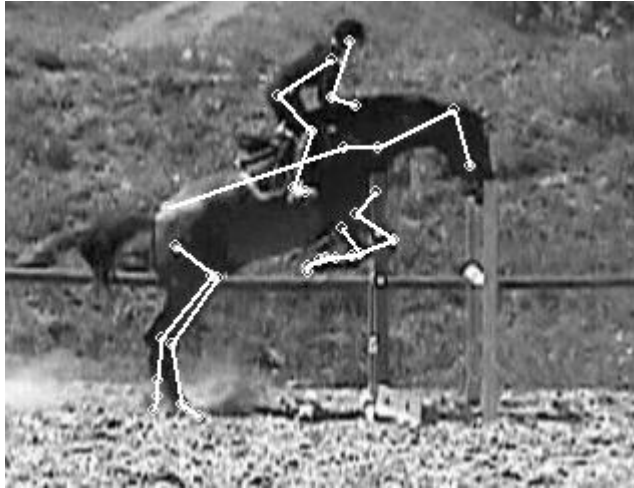
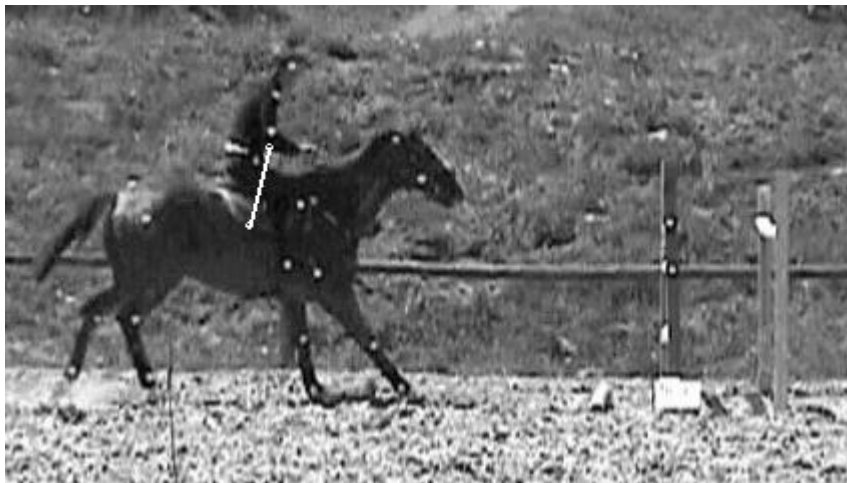


Figure 1: Picture of a joined system rider-horse (recording 1) (Matešič).



The Approach

Figure 2: Picture shows the position of the body centre of gravity of a rider in relation to the body centre of gravity of a horse in the approaching phase (Recording 3) (Matešič).



The Take-Off

Figure 3: Picture shows the position of the body centre of gravity of a rider in relation to the body centre of gravity of a horse in the take-off phase (Recording 3) (Matešič).



The flight

Figure 4: Picture shows the position of the body centre of gravity of a rider in relation to the body centre of gravity of a horse in the flight phase (Recording 3) (Matešič).



The landing

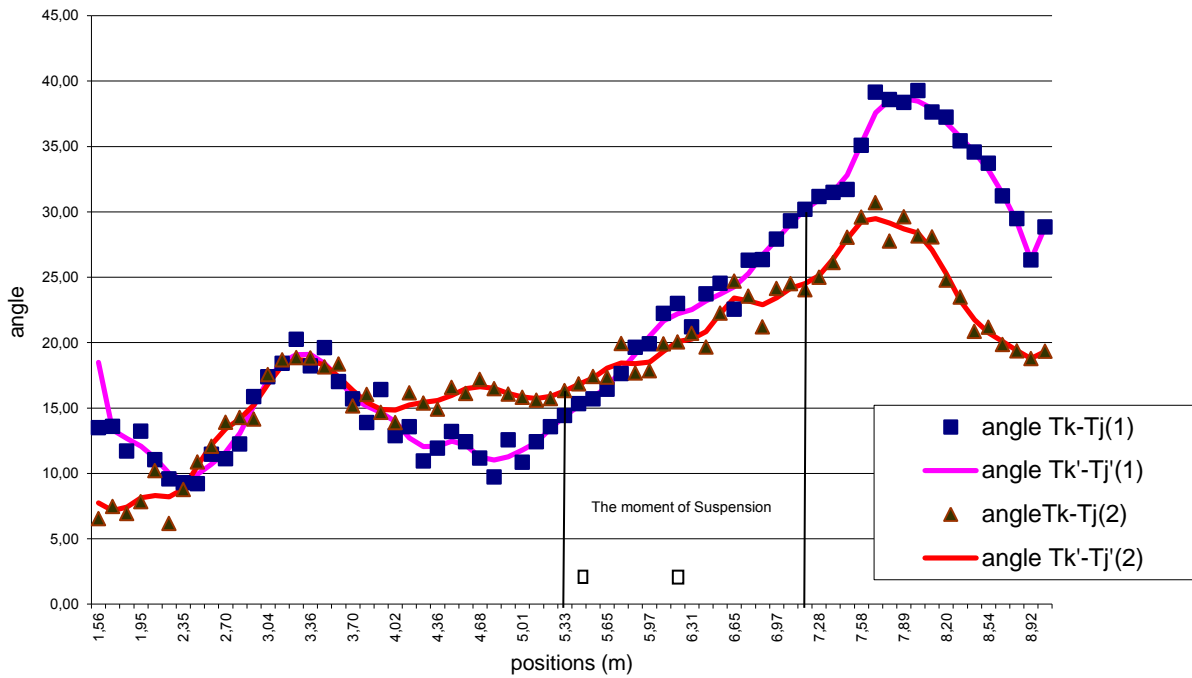
Figure 5: Picture shows the position of the body centre of gravity of a rider in relation to the body centre of gravity of a horse in the landing phase (Recording 3) (Matešič).



Distancing from the jump (departure)

Figure 6: Picture shows the position of the body centre of gravity of a rider in relation to the body centre of gravity of a horse in the distancing phase (Recording 3) (Matešič).

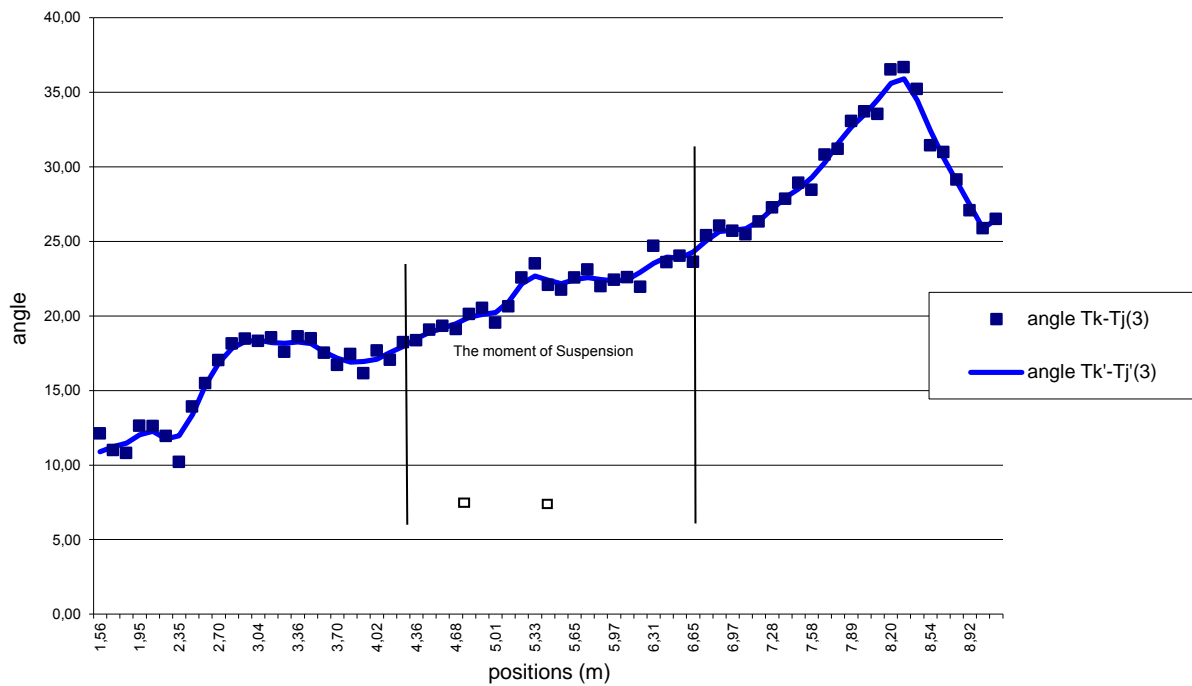
Changes of angle in space between the BCG's of horse and rider



G9/1, 2

Figure 7: Graph 9 shows the changes of the angle in space between the BCG horse and BCG rider (path – X axis of the joined system rider-horse) (Matešič).

Changes of angle in space between the BCG's of horse and rider



G9/3

Figure 8: Graph 9 shows the changes of the angle in space between the BCGhorse and BCGrider (path – X axis of the joined system rider-horse) (Matešič).

Horizontal displacement of the BCG of a rider from the BCG of a horse

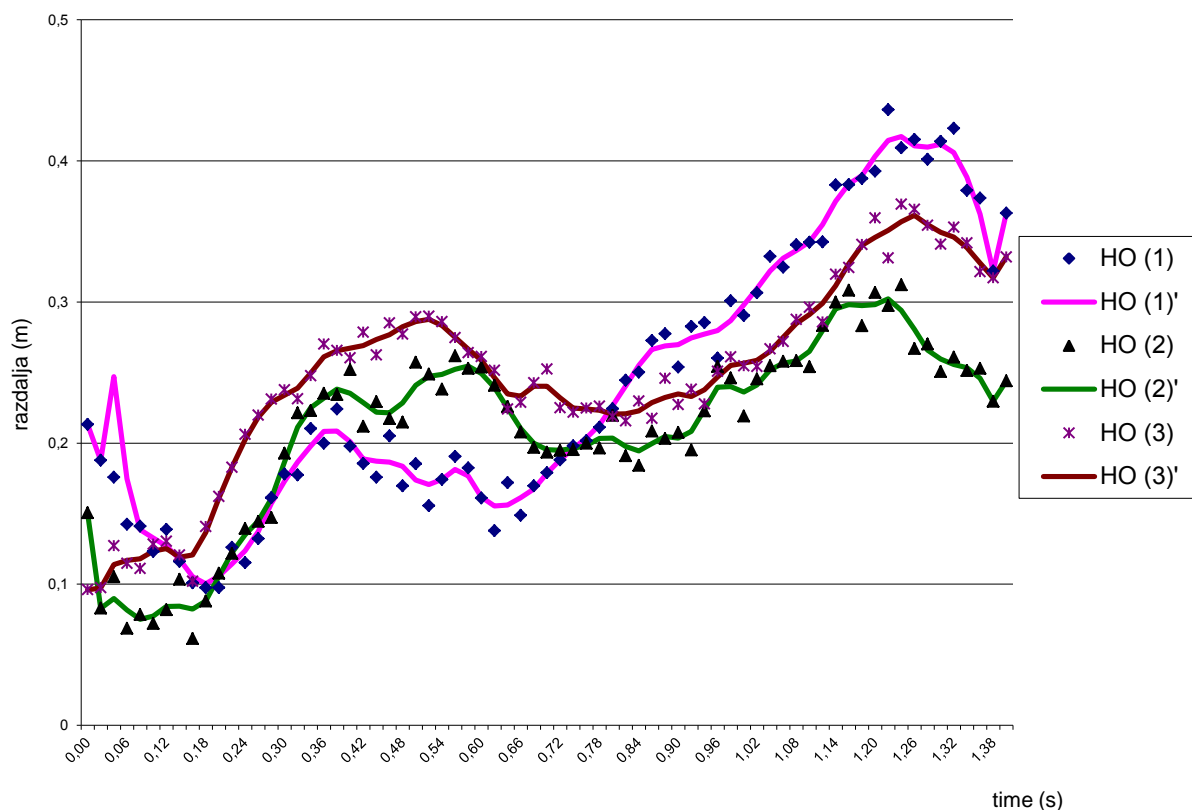


Figure 9: Horizontal displacement of the body centre of gravity of the rider from the body centre of gravity of the horse (Matešič).

	Horizontal displacement of the BCG of a rider from a BCG of a horse			Angle of displacement of the BCG of a rider from the BCG of a horse		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
average	0,24	0,21	0,25	20,88	18,32	21,90
max	0,44	0,31	0,37	39,26	30,71	36,67
min	0,10	0,06	0,10	9,21	6,18	9,24

Table 1: Horizontal linear and angular displacement of the BCG of the rider from the BCG of the horse (in metres and degrees)