

Technická univerzita v Liberci
FAKULTA PEDAGOGICKÁ

Katedra: Tělesné výchovy
Studijní program: 2. stupeň
Kombinace: tělesná výchova – anglický jazyk

3-D ANALÝZA VYBRANÉHO DRUHU OBLOUKU V ALPSKÉM
LYŽOVÁNÍ

3-D ANALYSIS OF A SELECTED CURVE TYPE IN ALPINE SKIING

Diplomová práce: 2003–FP–KTV–157

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071286

Autor:
Luboš MERUNKA

Podpis:

Adresa:
Pujmanové 2611
580 01, Havlíčkův Brod

Vedoucí práce: Mgr. Soňa Vodičková, PhD.

Počet

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
58	11077	21	4	27	4

V Liberci dne: 4. 1. 2004

Technická univerzita v Liberci
FAKULTA PEDAGOGICKÁ

Katedra: Tělesné výchovy
Studijní program: 2. stupeň
Kombinace: tělesná výchova – anglický jazyk

3-D ANALÝZA VYBRANÉHO DRUHU OBLOUKU V ALPSKÉM
LYŽOVÁNÍ

3-D ANALYSIS OF A SELECTED CURVE TYPE IN ALPINE SKIING

Diplomová práce: 2003–FP–KTV–157

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071286

Autor:
Luboš MERUNKA

Podpis:

Adresa:
Pujmanové 2611
580 01, Havlíčkův Brod

Vedoucí práce: Mgr. Soňa Vodičková, PhD.

Počet

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
58	11077	21	4	27	4

V Liberci dne: 4. 1. 2004

Katedra: tělesné výchovy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(pro magisterský studijní program)

Pro (diplomanta): **Luboš M e r u n k a**

Adresa: Pujmanové 2611, 580 01 Havlíčkův Brod

Obor (kombinace): tělesná výchova – anglický jazyk

Název DP: 3 – D analýza vybraného druhu oblouku
v alpském lyžování

Název DP: 3 – D analysis of a selected curve type in alpine .
(v angličtině) skiing

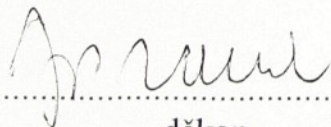
Vedoucí práce: Mgr. Soňa Vodičková, PhD.

Konzultant:

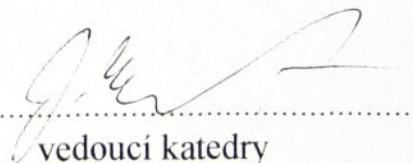
Termín odevzdání: 23. 5. 2003

Pozn. Podmínky pro zadání práce jsou k nahlédnutí na katedrách. Katedry rovněž formulují podrobnosti zadání. Zásady pro zpracování DP jsou k dispozici ve dvou verzích (stručné, resp. metodické pokyny) na katedrách a na Děkanátě Fakulty pedagogické TU v Liberci.

V Liberci dne 10. května 2002



děkan



vedoucí katedry

Převzal (diplomant): LUBOŠ MERUNKA

Datum: 24. 11. 2003

Podpis: Merunka

Cíl diplomové práce:

1. Provést biomechanickou analýzu alpského lyžování pomocí kinematografické vyšetřovací metody.
2. Zjistit možnosti využití softwaru SIMI Motion 3 - D v alpském lyžování
3. Parametrizovat jednotlivé druhy oblouků u vybraných souborů probandů.

Seznam literatury:

FUKUOKA, T. *Zur Biomechanik und Kybernetik des alpinen Schilaufs*. 1st Ed. Frankfurt/M. : Limpert Verlag, 1971, 125 p.

MÖSSNER, M., KAPS, P. and NACHBAUER, W. A. Method for Obtaining 3 - D Data in Alpine Skiing. Using Pan-and-Tilt Cameras with Zoom Lenses. In *Skiing Trauma and Safety*. 1996. Nr. 10, p.155-177.

NACHBAUER, W. and KAPS, P. Current trends in Biomechanics of Alpine Skiing. In: VAVERKA, F. Ö. & JANURA, M. (editoři) *Biomechanics of Man 2000*. Proceedings of the VII Conference of the Czech Society of Biomechanics with International Participation. Olomouc, 24. - 25. November 2000, FTK UP, Olomouc, p. 20 - 25. ISBN 80-244-0193-2.

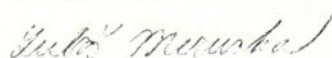
PŘÍBRAMSKÝ, M. & MAKOVEC, B. Tenzometrické snímače sil ke sledování změn v zatížení lyží. In: *Teorie a praxe tělesné výchovy*, Praha, 1976, 3/24, s. 169-172.

Prohlášení o původnosti práce:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Liberci dne: 4. 1. 2004

Luboš Merunka



Prohlášení k využívání výsledků DP:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, kopírování, apod.).

Jsem si vědom toho, že: užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše). Diplomová práce je majetkem školy, s diplomovou prací nelze bez svolení školy disponovat.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně Technické univerzity v Liberci, kde bude uložena.

Autor:

Luboš MERUNKA

Adresa:

Pujmanové 2611

580 01, Havlíčkův Brod

Podpis:



Datum:

4. 1. 2004

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucí diplomové práce Mgr. Soně Vodičkové, PhD. za odborné vedení, podporu a podnětné rady, které přispěly k realizaci a dokončení práce. Dále bych chtěl poděkovat Katedře tělesné výchovy Technické univerzity v Liberci za materiální podporu, bez které by uskutečnění celého projektu nebylo možné.

Resumé

Předmětem diplomové práce je 3-D (prostorová) analýza vybraných oblouků v alpském lyžování, přesněji krátkého carvingového oblouku (slalomového oblouku). K dosažení cílů byl použit počítačový software SIMI MOTION, který umožňuje analyzovat pohyb v prostoru (v souřadnicích x, y, z).

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit vliv úhlu v kolenním kloubu na průběh a tvar oblouků u jednotlivých probandů, dále definovat velikost úhlu v kolenním kloubu v jednotlivých fázích slalomového oblouku a v neposlední řadě zjistit vliv lyží s různými parametry na úhel v kolenním kloubu v měřeném oblouku a tím rozšířit dosavadní teoretické poznatky z biomechaniky lyžování.

Summary

This diploma thesis deals with 3-D (three-dimensional) analysis of selected types in alpine skiing, more exactly with 3-D analysis of a short carve (a slalom curve). To achieve the main goals the author used the SIMI MOTION software, which enables analysis of movement in the space (in coordinates x, y, z).

The main goal of the diploma thesis is to find out the influence of the angle in the knee joint on the run and shape of carves at individual probands, than to define the extend of the knee angle in certain phases of a slalom curve a last to find out the influence of skis with different parameters on the knee angle in a measured curve and the results should spread current theoretical pieces of knowledge from biomechanics of skiing.

Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der 3-D Analyse der ausgewählten Schwünge (der kurzen Carvingschwünge) im alpinen Schilaufl. Um die Ziele zu erreichen wurde das System SIMI MOTION verwendet. Es ermöglicht die Bewegung in 3 Dimensionen zu analysieren (die Koordinaten x, y, z).

Das Hauptziel der Arbeit ist den Einfluss der Kniegelenkflexion auf den Schwungverlauf bei den einzelnen Probanden festzustellen, dann die Kniegelenkflexion in einzelnen Schwungphasen zu definieren und nicht zuletzt der Einfluss der Schikonstruktion auf die Kniegelenkflexion im verfolgten Schwung festzustellen und damit bisherige theoretischen Biomechanikerkenntnisse aus dem alpinen Schilaufl zu verbreiten.

OBSAH:

1. ÚVOD	7
2. SOUHRN DOSAVADNÍCH POZNATKŮ	9
2.1 Úvod do nauky o pohybu	9
2.2 Kinematografická vyšetřovací metoda	10
2.3 Aplikace kinematografických, biomechanických a dynamografických vyšetřovacích metod v alpském lyžování	11
3. CÍLE A ÚKOLY PRÁCE	21
3.1 Hlavní cíl práce	21
3.2 Dílčí úkoly práce	21
4. PRACOVNÍ HYPOTÉZY	22
4.1 Teoretická východiska pro formulaci hypotetických vztahů	22
5. METODIKA PRÁCE	23
5.1 Pilotní studie	23
5.2 Charakteristika souboru využitého pro měření	28
5.2.1 Charakteristika vybraného souboru probandů	28
5.2.2 Charakteristika vybraného úseku sledování	28
5.3 Charakteristika použitých metod - 3-D analýza	28
5.3.1 SIMI MOTION	28
5.3.2 Kalibrace	29
5.3.3 Postavení a synchronizace kamer	30
5.3.4 Digitalizace	32
5.3.5 Obtížnosti, odchylky a chyby měření	34
6. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ A DISKUSE	35
6.1 Teoretická východiska pro interpretaci výsledků	35
6.2 Vybrané kinematické parametry u carvingového oblouku	36
6.2.1 Pohyb těžiště těla ve vertikálním směru	36
6.2.2 Úhel v kolenním kloubu	43
7. ZÁVĚRY	49
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
9. PŘÍLOHY	54

1. ÚVOD

V posledních letech zaznamenalo alpské lyžování velké změny. Díky obrovskému rozmachu carvingových lyží je nutno si uvědomit, že nové lyže hledají nové cesty. Nejen že hledají nové cesty, ale především otevírají nové možnosti, a to jak vrcholovým sportovcům, tak i běžným a řadovým lyžařům. Lze tedy konstatovat, že nelze již kráčet ve stopách minulosti, ale ve stopách současnosti a troufáme si říci, snad i ve stopách budoucnosti.

V současné době se mnoho odborníků snaží dostat nejrůznějšími způsoby k optimální lyžařské technice, a to především díky stále se zvyšujícím nárokům profesionálních sportovců, či stále se zvyšujícím hranicím, které člověk chce, respektive může dosáhnout. Sjezdové lyžování prochází v posledních letech bouřlivým rozvojem, a to nejen ve světě, ale také v naší vlasti. Výkonnost nejen profesionálního, ale i amatérského či rekreačního lyžaře, je přímo závislá na technice sjíždění a zatáčení.

Co vlastně rozumíme pod pojmem technika? Pod pojmem sportovní technika se rozumí ponejvíce z praxe odvozený postup, který určuje, jak co nejúčelněji a co nejekonomičtěji řešit určité pohybové úkoly. Technika dané sportovní disciplíny přitom odpovídá takzvanému ideálnímu motorickému typu, který ovšem může obdržet při zachování svých charakteristických pohybových znaků modifikaci odpovídající individuálním předpokladům (Chevalier, 1998). Technika zatáčení na lyžích je poměrně náročná a složitá. Obtížnost zvládnutí techniky jízdy na lyžích je dána zejména proměnlivostí podmínek, se kterými se lyžař při jízdě setkává, a na které musí včas reagovat a přizpůsobovat jim svou jízdu (Maršík & Příbramský, 1977). A právě zvyšování úrovně techniky je jednou z nejdůležitějších složek pro možnost zvyšování vlastního výkonu. Cílem zkoumání však není pouze samotná technika, ale také mnoho dalších oblastí, které přímo či nepřímo souvisejí se samotným výkonem lyžaře. Mluvíme o zkoumání vlivu sil na vlastní techniku lyžování, o možné prevenci úrazů, o interakci mezi vybavením a lyžařem, o interakci mezi sněhem a vybavením atd.

Vrcholných výkonů lze dosáhnout pouze soustavným a vědecky podloženým tréninkem. V této práci se budeme zabývat jízdou na carvingových lyžích různých délek a parametrů při jízdě ve slalomu. Pokusíme se upřesnit jednotlivé pohybové fáze v průběhu oblouku a poté tyto fáze porovnávat. Jako soubory pro porovnání nám poslouží reprezentanti ČR v alpském lyžování, lyžaři vyšší výkonnostní kategorie a běžní lyžaři. K tomu využijeme kinematografickou vyšetřovací metodu, na níž je

založena biomechanická analýza pohybu jízdy na carvingových lyžích. K této biomechanické analýze využijeme počítačový program SIMI MOTION.

2. SOUHRN DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

Lyžařští odborníci se v oblasti techniky zatáčení na lyžích v minulosti i v současnosti zabývají otázkami, souvisejícími především s problematikou zatěžování lyží v průběhu jednotlivých druhů napojovaných oblouků. Dokladem toho jsou mnohé teoretické práce. Většina z nich je založena na kinematografickém záznamu, dynamografickém záznamu, anebo na kombinaci obou metod.

V posledních letech však došlo k výrazným změnám především v konstrukci lyží, lyžařské obuvi a k přechodu ke carvingovému lyžování. Při takovémto způsobu jízdy je využíváno větší boční krojení lyže, nežli tomu bylo u starších typů konstrukcí. S tím souvisí řada změn v technice jízdy, kdy kromě většího bočního krojení jsou používány lyže kratších délek a poloha těžiště těla lyžaře se zvýšila díky speciálním deskám, které jsou umístěné mezi lyží a lyžařskou obuví. Nová konstrukce usnadňuje lyžařům všech výkonnostních kategorií jízdu po hraně lyže, což vede především ke změnám trajektorie a rychlosti.

V naší práci se však nebudeme zabývat reakčními silami během jednotlivých druhů oblouků a jejich vlivy na průběh carvingové techniky sjíždění. Pokusíme se zjistit, jaký vliv má úhel mezi vybranými segmenty těla během jízdy na carvingových lyžích na tvar a trajektorii daného oblouku ve smyslu zavřených respektive otevřených oblouků. V této studii se pak pokusíme o porovnání lyžařů s různou úrovní lyžařských dovedností, abychom svými výsledky přispěli nejen do oblasti vrcholového sportu, ale přiblížili se i zájmu širší veřejnosti.

2.1 ÚVOD DO NAUKY O POHYBU

Aby člověk dosáhl dalšího pokroku a vývoje, chce mít každou činnost dokonale probádanou. V oboru tělesné výchovy a sportu není možné zvyšovat výkony či zlepšovat provedení bez seznámení s technikou daného pohybu, se zákonitostmi pohybu či způsoby jejich uplatnění. K tomu napomáhá vědní obor biomechanika, která umožňuje definovat pohyb z fyzikálního aspektu, dále objektivně rozpoznat a odstranit chyby v průběhu pohybu, ale především ukazuje cesty k vývoji, tj. k hledání nových způsobů provádění dovolujících kvalitnější a vyšší výkony.

Novák (1970, s. 23) uvádí: „Biomechanika využívá při svých rozborech poznatky mnoha vědeckých oborů, které jí umožňují postihnout pohyb kinematicky i dynamicky a kvantitativně a kvalitativně jej ohodnotit. Poněvadž ji pokládáme za speciální užitou mechaniku, jsou poznatky kinematiky, statiky a dynamiky nezbytné a pokládáme je za zásadní.“

2.2 KINEMATOGRAFICKÁ VYŠETŘOVACÍ METODA

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, zkvalitnění sportovních výkonů a technik lze dosáhnout mj. i pomocí biomechanické analýzy pohybové činnosti. Tato analýza může být provedena různými metodami, z nichž je pro naši práci nejpodstatnější kinematografická vyšetřovací metoda.

Jandová (2000, s. 8) uvádí: „Podle Sušanky (1975) je kinematika nauka o pohybu útvarů – bodu, tělesa, soustavy těles. Kinematika operuje pouze s prostorovými prvky a časem – nejsou tedy brány v úvahu působící síly. V případě přihlédnutí k časovým změnám se zabýváme problematikou spadající do oblasti kinematické geometrie, která je přímou součástí vlastní kinematiky. Sušanka (1975) dále definuje prostorovou kinematografii jako využití měření fyzikálních veličin na většinou zjednodušeném modelu sledovaného objektu, který je základem pohybové činnosti.“

Křištofič (1996) charakterizuje kinematickou geometrii jako sled pohybů bodu – bodů (geometrických nebo hmotných), které postupným sledem poloh vytvářejí trajektorii, neboli dráhu bodu – bodů.

Z pohledu do historie je nejdůležitějším mezníkem rok 1839, kdy byla vynalezena fotografie, od jejíchž počátků dochází k vývoji kinematografie. Za počátek kinematografických respektive kinematických analýz lze považovat 50. léta 19. století. Obrovský rozvoj zaznamenala kinematografická vyšetřovací metoda v 70. letech 20. století, především díky rozmachu elektronických systémů, elektronických obrazů či počítačových systémů. Vývoj nových systémů pro využití kinematografické vyšetřovací metody stále trvá. Dnešní nejnovější systémy se sestávají z výkonných počítačových systémů ve spojení s profesionální videotechnikou, které umožňují poměrně přesnou a rychlou analýzu.

V současné době existuje celá řada systémů, které se používají v oblasti analýzy sportovního pohybu. Nejznámější systémy pro kinematografické vyšetřování pohybu

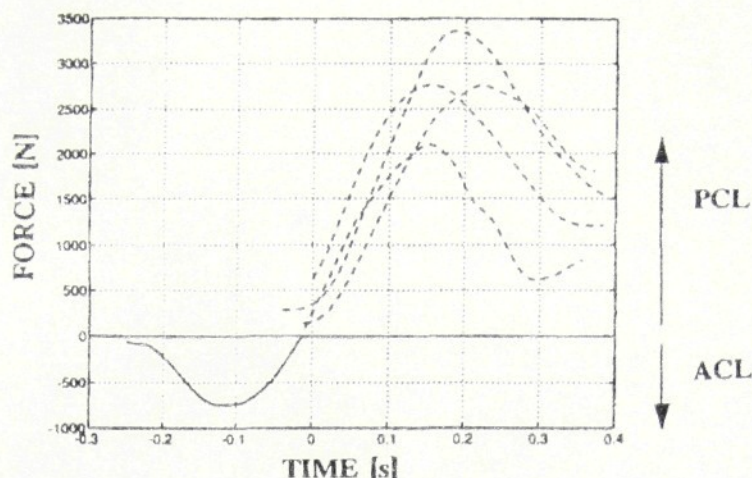
jsou PEAK PERFORMANCE, ARIEL PERFORMANCE ANALYSIS SYSTEM, ELITE SYSTEM, řada dalších systémů (Jandová, 2000). Pro naše účely jsme použili systém SIMI MOTION.

2.3 APLIKACE KINEMATOGRAFICKÝCH, BIOMECHANICKÝCH A DYNAMOGRAFICKÝCH VYŠETŘOVACÍCH METOD V ALPSKÉM LYŽOVÁNÍ

Nachbauer & Kaps (2000) se ve své studii zaměřili na 2 oblasti biomechaniky lyžování. Jednou z nich bylo zvyšování výkonnosti na základě biomechanické analýzy techniky jízdy, druhou oblastí zájmu autorů byla prevence úrazů. Firma KISTLER vyvinula multikomponentní dynamometr, který umožňuje měřit síly a momenty sil mezi lyží a botou ve třech rozměrech. Toho využili právě Nachbauer a Kaps (2000) a zjistili, že carvingová lyže snáze umožňuje carvingový oblouk, tradiční lyže vyžaduje pro oblouk vyjetý po hraně úhel hranění přibližně 65 stupňů. Tohoto úhlu hranění však lze dosáhnout až při vyšších rychlostech. Také síla a moment kmitání a hranění vyžaduje vyšší neurosvalové schopnosti lyžaře pro tradiční lyži než pro carvingovou lyži.

Ve své nedávné studii se Nachbauer & Kaps (2000) snažili zkoumat dráhu lyží během oblouku v obřím slalomu. Zjistili, že dokonce ani špičkoví světoví sjezdaři nedokáží čistě vykrojit oblouk obřího slalomu. Tzv. smýknutí bylo patrné jak během zahájení oblouku tak i ve vedení oblouku. Během fáze zahájení oblouku, může být smýknutí vhodnou technikou užitou pokročilými sjezdaři. Ale ve fázi vedení oblouku sklouznutí zapříčiňuje zvýšené tření a tudíž snížení rychlosti.

Autoři dále uvádějí, že zranění jemných tkání v kolenním kloubu jsou společná pro více než 20 % všech zranění alpských lyžařů. Ve vysokých rychlostech dochází k přetržení předního křížového vazů převážně během fáze dopadu po skoku. Obr. 1 podle Nachbauera & Kapse (2000) ukazuje sílu, které je vystaven přední a zadní křížový vaz během momentu dopadu. V $t = 0$ jsou obě lyže celou plochou na zemi. Síly, které působily na přední křížový vaz byly pozorovány pouze u jednoho z lyžařů. Tento lyžař dopadl nazad na jednu nohu. Nejprve na zem dopadla zadní část lyže a ta zapříčinila rychlou rotaci lyže. Během této fáze (200 milisekund) byla největší síla působící na přední křížový vaz 750 N. Zatížení zadního křížového vazů bylo pozorováno u čtyř dalších lyžařů.



Obr. 1 Síly působící na přední (plná čára - ACL) a zadní (přerušovaná čára - PCL) křížový vaz čtyř sledovaných lyžařů během momentu dopadu (Nachbauer & Kaps, 2000). Osa y značí sílu působení v N, osa x čas v sekundách.

Závislost zatížení předního křížového vazy (ACL) na sklonu svahu a rychlosti při dopadu byla určena pomocí počítačové simulace. Tato studie ukázala, že nárůst sklonu svahu o jeden stupeň vede k poklesu zatížení ACL asi o 100 N. Abychom dosáhli toho samého snížení - 100 N - rychlost by se musela snížit o 10 km/h. To ukazuje, že zatížení ACL je silně ovlivněno sklonem dopadové plochy a tedy úhel dopadu závisí na sklonu svahu.

Dále Nachbauer & Kaps (2000) uvádějí, že pro snížení rizika zranění ACL je lepší sledovat měření, které činí menší dopadový úhel než redukci rychlosti. Letová křivka může být změněna tvarem odrazové plochy nebo odrazovou a letovou technikou závodníka. Vypouklá odrazová plocha podporuje rotační impuls k přizpůsobení se novému sklonu svahu, čímž lze předejít dopadu nazad.

Další oblastí, kterou se zabývali Nachbauer & Kaps (2000), byla závislost lyžařského vybavení na zranění. Během několika let klesl boční rádius lyží výrazně z prům. 35 m na 18 - 20 m, v extrému až na 10 m. Tato změna zvýšila točivost lyží, ale také riziko zranění lyžařů. Tři roky trvající studie Johnsona et. al. (2000) odhaluje, že pokročilí lyžaři inklinují ke zranění více na vykrojených než na tradičních lyžích.

Proto jsou Mezinárodní lyžařskou federací (FIS) určeny minimální radiusy pro různé disciplíny.

Friedrichs & van Bergen (2000) navrhli senzorové desky pro snímání sil mezi lyží a vázáním. Tyto desky jsou konstruovány až do rozmezí 10 kN. Jsou umístěny mezi lyží a vázáním a měří jak statické tak měnící se dynamické síly působící vertikálně na povrch. Tyto desky však nedokáží měřit síly v osách x a y. Deska je 5 mm široká a její základ koresponduje se špičkou vázání. Díky malé tloušťce desky a konstrukci desky, která je vyrobena z kvalitních a pevných materiálů, není narušen průběh oblouku.

Každá deska obsahuje 6 kanálů (senzorů), které jsou elektricky napojeny a kontrolovány počítačovým systémem a mohou tedy přenos sil vyvinutých lyžařem přímo promítat na obrazovku. Síly jsou přenášeny z vrchní kovové desky na vnitřní senzory a dále na senzory elektrického odporu. Tyto senzory jsou navzájem propojeny, takže síly vyvinuté na pravé, či levé hraně lyže, nebo uprostřed lyže mohou být měřeny a hodnoceny odděleně.

Nigg, Schwameder & Stefanyshyn (2000) zkoumali vztah mezi pozicí lyžařského vázání a komfortem v lyžování. Technika oblouku v alpském lyžování závisí nejen na konstrukci lyže, či na výkonu lyžaře, ale také na umístění lyžařského vázání na lyži. Dřívější studie se věnovaly především antropometrice, biomechanice či neefektivnější konstrukci lyže. Cílem autorů bylo zjistit vliv umístění vázání na výkon lyžaře, a to jak špičkového či profesionálního, tak i běžného lyžaře.

Při této studii vybavili autoři lyže dvanáctimilimetrovou hliníkovou deskou umístěnou pod vázáním. Tuto desku bylo možno posouvat v předozadním směru, přičemž výchozí pozice daná výrobcem byla považována za neutrální. Jeden z testů, prováděný amatérskými lyžaři, byl prováděn na 9 mužích a 2 ženách. Tito probandi jezdili jak slalomové tak i racové oblouky po dobu cca 45 minut. Jedna pozice vázání byla vyzkoušena třemi probandy, čímž měla být dosažena reliabilita testu. Test profesionálních lyžařů byl prováděn na 5 juniorských závodnících. Počet opakování i průběh celého testu byl obdobný jako v předchozím případě. Testování jezdci měli k dispozici hodnotící škálu od 1 (nepříjemná) do 10 (velmi příjemná).

Výsledky této studie u běžných jezdců poukazují na široké rozpětí možností. Jeden z 11 jezdců ohodnotil neutrální pozici za nejpříjemnější, dva z 11 jezdců označili tuto pozici za nejméně příjemnou. Čtyřem subjektům vyhovovala pozice + 7 mm směrem ke špičce lyže a pěti subjektům vyhovoval pozice - 7 mm z neutrální pozice směrem k patce lyže. Výsledkem je tedy fakt, že komfort při jízdě rekreačního lyžaře je

přímo závislý na pozici vázání, a že konečný výkon i hodnocení komfortu je velmi individuální a subjektivní. U závodních jezdců byl časový rozdíl při sjezdu až 4,6% v neprospěch neutrální pozice. Také optimální pozice vázání pro určitého lyžaře byla rozdílná pro pravou a levou nohu. Z toho lze usuzovat, že optimální pozice oproti neutrální pozici vázání by mohla znamenat pro špičkového lyžaře v konečném výsledku až několik sekund. Podle tohoto testu lze také konstatovat, že optimální pozice vázání není stále známá a je tedy potřeba se tomuto problému dále věnovat.

Schwameder et al. (2000) zkoumali vliv pozice vázání na kinetickou variabilitu v alpském lyžování. Pohybová činnost při alpském lyžování je velmi náročný sled pohybů, která je přímo závislá na dovednostech lyžaře, jeho vybavení či na sněhových podmínkách. Technika jízdy je pak podmíněna vlastnostem lyží, čímž se v tomto případě rozumí jejich geometrie, konstrukce a pozice vázání na lyžích. Proto se tato studie zabývala měřením jak jsou síly působící na lyže ovlivněny pozicí vázání.

Schwameder et al. (2000) použili pro měření lyže s hliníkovou deskou vysokou 25 mm, ve které byly integrovány měřiče tlaku. Vázání přimontované na desce bylo variabilní v předozadním směru, a to do čtyř pozic (- 14, - 7, +7, +14 mm). Deska byla přimontována v neutrální pozici, což je neoptimálnější pozice z hlediska výrobce. Měřiče tlaku zaznamenávaly síly, které byly v činnosti během jízdy mezi lyžemi a vázáním. Data byla ukládána do počítače po každém měřeném pokusu. Čtyři lyžaři s různou úrovní lyžařských dovedností byli použiti jako probandi tohoto měření. Data byla zaznamenána po každých dvou pokusech v určité pozici vázání.

Výsledkem této studie byl fakt, že adaptace na rozdílnou polohu vázání je rozdílná a odlišná pro různé probandy. Výsledky dále ukázaly, že pozice vázání značně ovlivňuje časový průběh měřeného bodu na lyži. Vysvětlují tedy fakt, že pozice vázání ovlivňuje točivé vlastnosti lyží stejně tak jako výkon a komfort v lyžování. Vzhledem k interindividuální adaptaci na pozici vázání je optimální poloha specifická pro každého lyžaře.

Schaff, Senner & Kaiser (2000) se zabývali měřením rozdělení tlaku v lyžařské botě v alpském lyžování. Vycházeli z biomechanického měření a následně toto měření aplikovali jako zpětnou vazbu (swingbeep-feedback system). Snažili se prokázat, že znalost rozdělení tlaku v lyžařské botě může být užita pro optimalizování materiálů a individuální potřeby určité lyžařské boty, ale také pro hodnocení a zlepšení lyžařského výkonu vůbec.

Autoři zjistili, že pro dynamické měření přenosu tlaku v lyžařské botě jsou vhodné podobné metody jako u ostatních sportovních bot. V lyžování jsou vhodné pouze dva principy měření, které jsou schopny uspokojit speciální požadavky - dostatečná vlhkost a odolnost proti teplotě uvnitř boty. První metoda je kapacitní metoda s měřením vložek do bot a opěrek holeních kostí (MICRO EMED). Druhá metoda je založená na piezodoporovém principu (týkající se elektřiny vznikající na krystalech tlaku a tahu) s hydrobuňkami jako vysílači tlaku (PAROTEC).

Schaff, Senner & Kaiser (2000) použili jako hlavní předmět zkoumání elitní sjezdaře. Poslední tři roky byla užívána hydrobuněčná metoda, která plnila požadavky ski-racových výzkumů. Souběžně s video analýzou, která umožnila promítání natočeného záznamu zároveň s promítnutím průběhu hodnot tlaku, mohla být sbírána data s frekvencí až 1000 Hz, obvykle však 200 - 250 Hz. Toto měření není vhodné pouze pro sjezd, ale také pro super-G a obří slalom, kdy určitý tlak v botě ve správný okamžik během řízení může být klíčem ke kvalitním výkonům. Zkušenost z 50-ti denního měření elitních lyžařů ukazuje, že hydrobuněčná technologie je spolehlivý nástroj pro měření přenosu tlaku uvnitř lyžařské boty. Tento systém v praxi znamenal měření ve vložkách bot, kdy každá vložka měla 16 měřících bodů, z toho 7 na každé straně.

V roce 1995 autoři uvedli první měření s novým systémem - tzv. měřicí vložkou lyžařské boty. Tato vložka byla schopna určit tlak uvnitř boty na 64 bodech dotyku nohy s botou. Takováto měření popisují, jak je důležitá stavba boty a její design při přenosu tlaku během jednotlivých fází oblouku. Tyto efekty byly předmětem studie, která měřila 4 druhy lyžařských bot různých struktur ve stejných podmínkách. Výsledky ukázaly zajímavé rozdíly mezi testovanými druhy bot a byly užity jako základní kritéria pro hodnocení kvality bot.

Další důmyslnou vědeckou metodou, kterou Schaff, Senner & Kaiser (2000) popisují, je jednotná měřicí buňka uložená pod patou. Její signál je použit jako zpětná vazba lyžaři o tlaku v jeho botě, čímž je tento systém vhodný pro učení a trénování. Tento systém - Swingbeep - přenáší zvukový signál lyžaři a optický signál trenérovi, jakmile tlak na patě překoná povolenou hranici. Použití této metody v alpském lyžování je založeno na faktu, že načasování tlaku v oblasti paty je důležité kritérium pro výkon lyžaře.

Cassolo et al. (2000) jako hlavní cíl své studie o simulačních technikách použitých v lyžařské mechanice uvádějí fakt, že ve sjezdovém lyžování a skocích na

lyžích se některé studie zbývají kinematickou analýzou pohybu, nebo aerodynamikou, jiné analyzují mechanické vlastnosti lyží (tuhost, tlumení vibrací...) obecně v dobře definovaných podmínkách. Některé další studie se zajímají o měření působení sil mezi lyžařem a lyží. Avšak pouze málo studií se zabývá komplexními modely sportovců s jejich vybavením. Počítačové simulace mají mnoho vhodných využití, např. v akrobatickém lyžování dovolují testování nových akrobatických prvků před jejich provedením, hledají nevhodnější podmínky (rychlost, okamžik dopadu atd.) pro dosažení nevhodnější dopadové pozice. Je také možné předpovídat změny lyžařova chování za různých mechanických a geometrických podmínek. Počítačové simulace dovolují analyzovat následky obměn jednoho určitého prvku v čase, což je naprosto neproveditelné u experimentálních testů na sněhu, protože ty jsou ovlivněny mnoha přírodními faktory.

V současnosti, simulace celého závodu je naprosto neproveditelná, protože by vyžadovala obrovské množství dat. Na druhé straně simulace jednotlivé fáze (např. oblouku) je velmi dostupná a užitečná.

Systém, který autoři použili, je založen na dvou modelech, které jsou navzájem propojeny. V jejich případě je to množství bodů představující pevné lyžařovo tělo spojené s pohyblivými články, které představují lyže a sníh. Lidský model se skládá z 3 -D řetězců pevných bodů. Množství bodů může být zvolené libovolně. Pro lyžařskou simulaci je obvykle využíván 16-ti segmentový model s 39 vnitřními body nebo tzv. dvounohý model HAT (head, trunk, arms) se 6 vnitřními body. K formulování dynamiky lidského těla byla použita metoda založená na homogenních maticích.

Druhou věcí, kterou Cassolo et al. (2000) brali v potaz byl pohyb lyžaře. Během výkonu koná každý segment lyžaře relativní pohyb k ostatním segmentům, aby lyžař získal stabilitu, či vyjel správný oblouk. Model autorů počítal se dvěma hlavními pohyby - kroutící síly v kloubech, a vnější dění.

Třetím bodem zkoumání byla akce uskutečněná mezi lyžařem a jeho vybavením, která je závislá na pohybu, které dovolí lyžařské vázání. (např. sjezdové vázání zabraňuje vypadnutí a rotaci nohy z lyže). Poslední nutnou věcí, na kterou autoři brali zřetel je vlastní vybavení (lyže) a kontakt mezi lyží a sněhem, což není jednoduché, protože sněhové podmínky jsou závislé na mnoha faktorech, jako jsou teplota či tlak. U lyží pak jde především o voskování skluznic či broušení hran.

Glitsch (2000) se rovněž zabýval počítačovými simulacemi v alpském lyžování. Cílem jeho práce bylo studium vývoje modelu alpského lyžování pro zjištění výkonu

v obloucích. Ovšem vysvětlení techniky alpského lyžování je velice složité díky mnoha variabilním faktorům, jako je terén, vybavení, sněhové podmínky atd. Pro lepší vysvětlení některých pohybů během jízdy lyžaře byly v minulosti vyvinuty tělesné modely ze dřeva nebo z kovu. Nicméně použití těchto modelů nepřináší vždy kladný výsledek. Na druhou stranu vývoj počítačové techniky usnadnil práci s mnoha i velmi složitými modelovými situacemi.

Autor užil pro svou studii pasivní lyžařský model sestrojený ze dvou lyží, dvou nohou a dvou horizontálních tyčí spojujících nohy. Tento různoběžníkový mechanismus zajišťoval stabilitu modelu. Spojující mechanismus dovoľoval pouze jeden stupeň volnosti, který mohl být nastaven na různý sklon. Ve druhé verzi byly tyče představující nohy lyžaře spojeny pouze jednou horizontální tyčí, která ovšem nabízela dva stupně volnosti, z čehož vyplývá, že byl poměrně staticky nestabilní. Výsledný počítačový model s trapezoidovým mechanismem předváděl oblouky s dominantním zatížením na vnitřní lyži, zatímco model s jednou horizontální tyčí ukazoval dominantní zatížení na venkovní lyži.

Gerritsen, Nachbauer & Bogert (2000) provedli počítačovou simulaci momentu dopadu na povrch po letu ve sjezdovém lyžování se zaměřením na zranění předního křížového vazy kolenního kloubu. Zranění předního křížového vazy (ACL) se obvykle stane při sjezdovém lyžování během přistávací fáze, která následuje po skoku. Přímý dynamický simulační model byl vyvinut, aby umožnil výzkum možného zranění ACL bez nebezpečného zkoumání přímo na lyžaři. Model zahrnuje dynamiku (hybnost) celého těla - lyžař je nahrazen kinematickým řetězcem spojených bodů, dynamiku svalů a model pro interakci mezi lyžařem a sněhem. Schopnost tohoto modelu reprodukovat skutečný moment přistání byla dosažena minimalizováním rozdílů mezi měřeným a simulovaným momentem přistání.

Malé rušení během simulace mělo simulovat podmínky pro zranění. Toto rušení přimělo modelového lyžaře spadnout lehce nazad při dopadu. Všechno úsilí k navrácení optimálního stavu bylo učiněno pomocí maximální aktivace quadricepsu a iliopsoasu. Vrchol působení sil v kolenním kloubu byl vyšší v počítačové simulaci (1001 N) než v běžné momentu přistání (589 N). Vrchol síly působící na ACL byl odhadnut na (1350 N), což je taková zátěž, při které dochází ke zhroucení vazy. Pro tuto zátěž byly rozhodující především vnější síly (75 %). Příspěvek plně aktivovaného quadricepsu byl pouze 25 %. Na základě toho bylo zkonstatováno, že tato simulace může reprodukovat tradiční moment přistání a je považována za velmi reálnou.

A za druhé, výsledky této simulace dokazují, že na zranění ACL při dopadu ve sjezdovém lyžování mají vliv především vnější síly.

Seifert & Mester (2000) měřili trajektorii v alpském lyžování také pomocí počítačové simulace. Jako důvod svého výzkumu uvádějí fakt, že v minulosti sice probíhalo šetření, ale pouze v izolovaných a omezených situacích. Trajektorie lyžaře byla například zjednodušena na oblouk s neměnným radiem a sjezdovka byla změněna na plochu se stejným či konstatním úhlem. Tyto minulé studie se však zabývaly pouze jednou částí komplexního systému - lyžař, lyže, sjezdová trať, trajektorie. Ve zkratce lze tedy konstatovat, že tato studie měla za úkol vyvinout model, který by umožňoval simulaci tohoto složitého procesu.

V rovnici, která sleduje a počítá pohyb lyžaře se počítá se třemi parametry, a těmi je lyžař, sjezdová trať a trajektorie. Aby byla zachována validita testu, byly použity různé polohy těla lyžaře. Koeficienty tlaku, tahu, a hustoty vzduchu a sněhu byly použity z korespondujících publikací. Sjezdová trať byla rozdělena do 3-D sítě. První výsledky počítačové simulace ukázaly nové přístupy ke zjištění vlivu trajektorie na výsledný čas lyžaře. Velmi však záleží na aerodynamice a koeficientu tření, takže teprve další studie se pokusí o větší přesnost a preciznost měření.

Farrario et al. (2000) vyvinuli matematickou metodu pro analýzu dráhy v obřím slalomu. Výkon v alpském lyžování ovlivňuje řada faktorů. Je to antropometrie a fyziologie (velikost srdce, aerobní a anaerobní síly, složení těla), biomechanické a kinematické faktory (rychlost, tření, akcelerace) a technicko-přírodní faktory (vosky, teplota, sněhové podmínky). Analýzy jsou většinou prováděny v laboratorních podmínkách, kde testovací podmínky nemohou nahradit reálné podmínky. V obřím slalomu musí lyžař projíždět branami vlnitou dráhou. Analýza těchto drah nemůže být prováděna tradiční metrickou metodou (lineární vzdálenosti, úhly mezi každou branou), protože tato metoda nedovoluje dát dohromady dílčí tvary celkové dráhy. Na druhou stranu matematické metody umožní kvantitativní analýzu tvaru dráhy a její přeměny.

Vlnitá dráha v obřím slalomu může být analyzována tzv. fourier analýzou. Tato analýza je vlastně carvingový postup užitý k vypočítání matematické funkce, která popisuje tvar, a která dovoluje srovnávání jednotlivých tvarů. Komplexní dráha je tedy rozložena do sinusových a cosinusových funkcí vzrůstající frekvence. Tato metoda analyzuje celkový tvar dráhy (obrysu), kontroluje rozdíly ve velikosti oblouku, rozdílné prostorové orientace a závislost na podložce. Touto metodou je dokonce možné měřit délku dráhy pro každý sjezd.

Farrario et al. (2000) použili pro měření svah dlouhý 134,4 m a s převýšením 92 m. Vzdálenost mezi startem a první bránou byla 23 m a mezi každou bránou okolo 25 m. Kamera Sony CCD 800E TV pracující frekvencí 25 Hz byla umístěna 25 m nad dráhou ve vzdálenosti asi 50 m od konce dráhy. Lyžař byl filmován během jeho jízdy. Pozice lyžaře během každého oblouku jízdy byla zdigitalizována, což umožnilo zápis obrysu dráhy pro další analýzu. Před jízdou bylo nutné zkalibrovat prostor, změřit vzdálenosti mezi branami a zfilmovat pozici bran a celé dráhy (kalibrační náčrt). Všechny jízdy byly nakonec matematicky reorganizovány tzv. Fourier analýzou. Dva nejlepší lyžaři se nelišili v rychlosti, tvaru či velikosti oblouku, ale třetí lyžař ukazoval určitou rozdílnost (jezdil dále od branek, proto měl i delší dráhu i čas jízdy).

Zvan & Lešnik (2000) analyzovali některé kinematické parametry různých technik v obřím slalomu. Obří slalom byl rozdělen do tří fází - začáteční fáze, točící fáze a zakončující fáze. V definování technik se autoři omezili na dvě základní techniky, a to na kontrolu rychlosti a na zvýšení rychlosti. Na dráze bylo vytyčeno šest bran při sklonu svahu 17,5°. Z mnoha pokusů vybrali autoři ty nejvíce typické pro techniku kontrolu rychlosti a techniku zvýšení rychlosti. Pro zhodnocení kinematických parametrů v oblouku ve druhé a třetí bráně bylo využito video systému s 3-D kinematickou analýzou - APAS a CMAS. Poněvadž závodníci v mnoha nestandardních situacích nejezdí pouze jednou technikou, neměly by se faktory ovlivňující techniku jízdy brát příliš detailně. Jako závěr autoři konstatovali, že závodníci využívají obou technik. Lyžařská taktika tedy zakládá na správném zvolení techniky pro dané specifické podmínky.

Casolo et al. (2000) se pokusili dokázat důležitost mechanických a geometrických vlastností lyže na carvingovou techniku sjíždění. Správná technika využívá absenci laterálního smýkání mezi lyží a sněhem a dovoluje lyžaři vyřezávat velmi tenkou stopu. Uskutečnění takového oblouku zabraňuje především ztrátě rychlosti. Při carvingové technice zatačení se využívá převážně boční krojení lyže a její hrany. Staré lyže s nevýrazným bočním krojením umožňovaly sice sjíždění touto technikou, ale pouze ve velkých rychlostech a za značného svalového úsilí a umění lyžaře. Nová geometrie carvingových lyží umožňuje vyjetí oblouků po hraně i méně zkušeným lyžařům. Mechanické parametry byly měřeny na komerčním vybavení. Model lyže byl optimálně zatížen tak, aby vykrojil dráhu podle lyže. Dráha ovšem není zcela kruhová a tudíž zde dochází k mírnému bočnímu smýkání. Autoři dospěli k názoru, že ideální tvar lyže je velice těžko definovatelný, protože je úzce spojen se

sjezdovou trati, radiem a hranami lyží, zatížením lyží, charakteristikou sněhu atd. Všeobecně se tedy dá konstatovat, že boční smýkání při carvingové technice sjíždění je nevyhnutelné, ale lze ho minimalizovat konstrukcí lyže, která je zaměřena na určitý závod či lyžaře.

Na základě zjištěných poznatků jsme zvolili metodu a cíle naší práce, které uvádíme v následujících kapitolách.

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE

V kapitole č. 2 jsme vymezili teoretická východiska potřebná k realizaci našeho záměru a vyvodili z nich vlastní přístup k řešení daného problému.

3.1 HLAVNÍ CÍL PRÁCE

Hlavním úkolem diplomové práce je prostorová analýza pohybu v průběhu uskutečňování krátkého (slalomového) carvingového oblouku z hlediska biomechaniky lyžování, porovnání jednotlivých probandů a z toho plynoucí definování rozdílů mezi sledovanými probandy.

3.2 DÍLČÍ ÚKOLY PRÁCE

DÚ₁: Provést kalibraci měřeného úseku a pořídit filmový záznam.

DÚ₂: Digitalizovat pořízené záznamy v počítačovém programu SIMI MOTION.

DÚ₃: Provést prostorovou analýzu pohybové činnosti lyžařů.

DÚ₄: Na základě biomechanických parametrů definovat vliv těchto parametrů na průběh a tvar měřených oblouků a zjistit rozdíly mezi jednotlivými probandy.

4 PRACOVNÍ HYPOTÉZY

4.1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO FORMULACI HYPOTETICKÝCH VZTAHŮ

Jak již bylo řečeno v úvodu práce, tak díky rozmachu carvingového lyžování dochází i k formulaci nových přístupů k technice lyžování. V dnešní době mnoho autorů poukazuje na fakt, že v přechodové fázi carvingového oblouku dochází k výrazné eliminaci vertikálního pohybu těžiště těla. Proto jedním z témat, kterým se zabýváme v naší práci je právě analýza tohoto problému.

Při realizaci cílů uvedených v kapitole 3 jsme vycházeli ze tří základních pracovních předpokladů (hypotéz).

H1: V krátkém carvingovém (slalomovém) oblouku dochází k vertikálnímu pohybu těžiště těla lyžaře na všech úrovních osvojení lyžařských dovedností.

H2: Flexe v kolenním kloubu na konci fáze vedení v krátkém slalomovém oblouku se liší v závislosti na charakteru uskutečňovaného oblouku a stupni osvojení lyžařských dovedností.

H3: V krátkém slalomovém oblouku má délka a tvar lyží vliv na flexi v kolenním kloubu.

5. METODIKA PRÁCE

V této kapitole se budeme zabývat metodami a postupy práce, nutných pro realizaci našich cílů a pro potvrzení respektive vyvrácení vyslovených hypotetických vztahů.

5.1 PILOTNÍ STUDIE

Dne 10. ledna 2003 jsme provedli pilotní studii na sjezdové trati F 10 v lyžařském areálu Ještěd za ideálních sněhových podmínek. Tento předvýzkum jsme provedli především pro ověření a osvojení si počítačového programu pro kinematickou analýzu pohybu a také pro minimalizaci výskytu chyb v naší cílové studii.

Pro provedení pilotní studie jsme vymezili prostor o rozměrech $15 \times 4 \text{ m}$, do něhož jsme místo závodních bran pro zjednodušení použili pouze značky, které tyto brány nahrazovaly. Kalibraci prostoru jsme provedli prostřednictvím tzv. kalibrační krychle o rozměrech $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$ a jako výchozí nulový bod jsme označili levý spodní roh krychle z pohledu kamer. Ovšem pro kalibraci celého prostoru byla krychle o těchto rozměrech nedostatečná, proto jsme do celého prostoru umístili dřevěné tyče, na jejichž vrcholech byly umístěny žluté tenisové míče. Tyto míče simulovaly kalibrační body (celkem 10), které bylo nutno definovat v osách x , y , z vzhledem k bodu nulovému (obr. 2). Samotnou kalibraci bodů prováděla Mgr. Kuthanová ze Střední průmyslové školy stavební v Liberci pomocí přístroje pro zaměřování bodů v prostoru, tzv. teodolitu. S dostupným přístrojem zaměřila výškovou osu z každého kalibračního bodu a zbývající osy x a y jsme naměřili pásmem vzhledem k nulovému bodu. Zde se však vyskytla první chyba v měření, poněvadž měření pásmem os x a y při daném sklonu svahu bylo velmi nepřesné. Proto jsem pro naši cílovou studii použili takový přístroj, kterým jsme přesně zaměřili souřadnice x , y , z vzhledem k nulovému bodu.

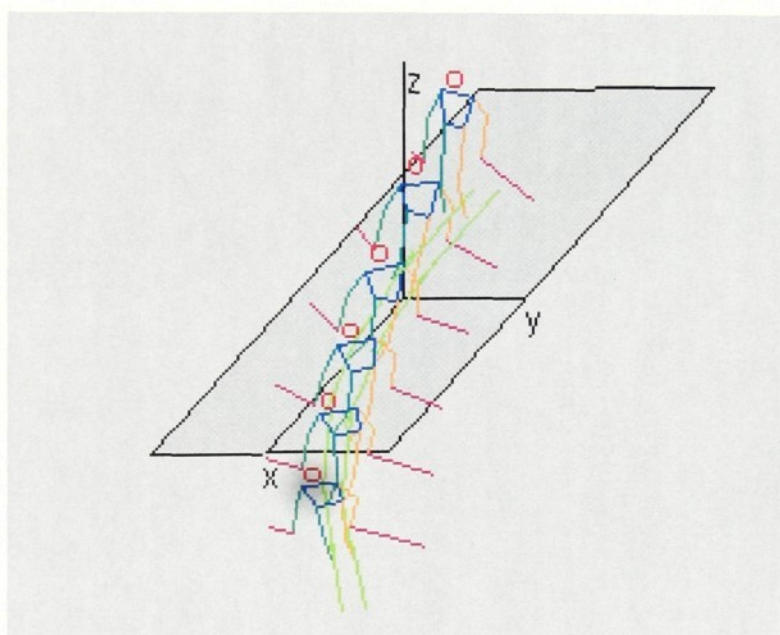


Obr. 2 Kalibrační krychle a soustava kalibračních bodů užitých v pilotní studii

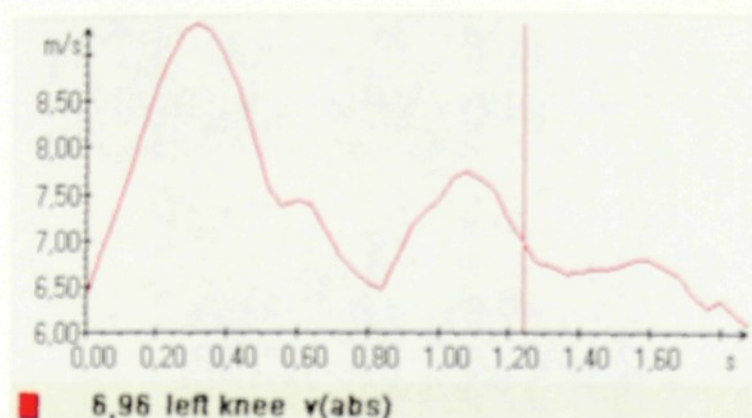
Po zkalibrování celého prostoru jsme odstranili kalibrační krychli a připravili trať i probanda na první měřené jízdy. Soubor probandů v pilotní studii byl zúžen pouze na jednoho probanda, poněvadž pro výzkoušení analýzy pohybu byl tento soubor dostatečný. Nafilmovali jsme celkem deset jízd, z nichž jsme pro pilotní studii vybrali tři jízdy. První jízda představovala oblouk vymezený značkami na slalomových lyžích Blizzard 155 cm. Druhou jízdu proband vykonal ve stejném oblouku, ale na lyžích Fischer 175 cm určených pro obří slalom. Třetí jízda představovala pouze carvingovou vlnovku na lyžích Fischer 175 cm.

Pro natočení videozáznamu jsme použili dvě statické digitální videokamery JVC-DVL 357 z nichž jedna byla umístěna nad a druhá pod měřeným prostorem a kdy optické osy obou kamer svíraly úhel cca 100 stupňů. Po převedení pořizovaných videozáznamů do počítače následovalo digitalizování vybraných bodů na těle lyžaře a také lyžařského vybavení. V naší pilotní studii jsme zdigitalizovali stejný počet bodů jako v cílové studii (mimo špičky a paty chodidla) a to hlavu, levé a pravé rameno, levý a pravý loket, levé a pravé zápěstí, levou a pravou kyčel, levé a pravé koleno, levý a pravý kotník, koncové body lyžařských holí a špičky a paty obou lyží, tedy celkem

19 bodů, které dohromady v počítačovém programu dávají model kompaktního, pohybujícího se subjektu (obr. 3).



Obr. 3 Ukázka počítačového modelu lyžaře pomocí digitalizovaných bodů užitých v pilotní studii a axiální systém



Obr. 4 Ukázka grafu z pilotní studie, konkrétně absolutní rychlost levého kolene v m/s v určitém úseku při průjezdu bránou



Obr. 5 Ukázka grafu z pilotní studie, konkrétně absolutní rychlost pravého kolene v m/s v určitém úseku při průjezdu bránou

Po dokončení celé analýzy jsme získali mnoho zajímavých výsledků, ale interpretovat budeme výsledky až z cílové studie v kapitole 6 - interpretace výsledků. Musíme však konstatovat, že při analýze dat se vyskytla řada chyb a nepřesností, kterých bychom se v naší konečné a cílové studii měli vyvarovat.

Jednou z chyb, které jsme se dopustili, bylo nevhodné oblečení lyžaře. Lyžař byl oblečen v běžném lyžařském vybavení. Proto během označování jednotlivých segmentů těla (např. zápěstí, kotník, loket atd.) v programu Simi Motion 3-D nebylo zřejmé a jasné, kde přesně se tyto body nacházejí. Z těchto nesprávných označení mohly v závěrečném vyhodnocování vyplynout nejružnější chyby a nepřesnosti. Jako řešení jsme se rozhodli obléci lyžaře do přiléhavé závodní kombinézy nebo alespoň přiléhavého oblečení, čímž by se velmi usnadnila identifikace určených segmentů při digitalizaci.

Další chybou byla příliš velká vzdálenost lyžaře od kamery, poněvadž jsme natáčení prováděli se statickými kamerami a nepoužívali jsme tzv. zoom. Proto bylo opět v některých záběrech velmi obtížné označit jednotlivé segmenty těla. Tento problém jsme vyřešili použitím nového počítačového modulu, který je schopen analyzovat pohybovou činnost i za použití zoomu užitých kamer.

Další chybou byl malý posun kamer na stativu, který byl zapříčiněn opakovaným vypínáním kamer během měření. Kamery jsme vypínali z toho důvodu, aby byla baterie schopná vydržet nabitá po celou dobu měření při nízkých teplotách kolem -10°C . Bohužel během vypínání docházelo k malým posunům kamery a tím tedy i k vychýlení kamery z původní nastavené pozice. Tento druh problému byl vyřešen použitím nových a mnohem výkonnějších baterií, které vydrží v provozní době podstatně déle i za horších povětrnostních podmínek.

A poslední již zmíněnou chybou byla nepřesnost při měření souřadnic x a y každého bodu. V naší cílové studii byl použit takový přístroj pro trojrozměrné určení polohy bodů, který byl schopen rovnou zaměřit a spočítat všechny souřadnice daného bodu, tedy souřadnice x , y , a z vzhledem k bodu nulovému.

5.2 CHARAKTERISTIKA SOUBORU VYUŽITÉHO PRO MĚŘENÍ

5.2.1 Charakteristika vybraného souboru probandů

Při výběru souboru probandů jsme dbali na to, aby mezi jednotlivými probandy byly takové rozdíly, na jejichž základě by bylo možné definovat rozdíly plynoucí z různých hodnot biomechanických veličin. Sledovali jsme celkem tři závodníky, přičemž jeden z probandů byl bývalý reprezentant ČR v alpských disciplínách (L1), druhý zastupoval cvičitele lyžování (L2) a třetí proband byl na úrovni instruktora školního lyžování (L3). Každý z probandů absolvoval 5 jízd v měřeném úseku, na jejichž podkladě jsme provedli prostorovou analýzu krátkého slalomového oblouku. Po dokončení celé analýzy jsme vybrali ty jízdy, na kterých bylo možné verifikovat námi vyslovené hypotetické vztahy.

5.2.2 Charakteristika vybraného úseku sledování

Měření jsme provedli na sjezdové trati Malinovka v lyžařském areálu Bedřichov v Jizerských horách. Pro měření jsme vytyčili úsek v délce cca 44 m a šířce cca 22 m. Tento úsek byl dostatečný pro změření několika navazujících oblouků, a to jak slalomových tak i racecarverových.

5.3 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH METOD – 3-D ANALÝZA

Tato kapitola je zaměřená na popis postupu práce a využití metod nutných pro získání potřebných dat pro pohybovou analýzu vybraného souboru. Pro zkoumání pohybových činností lze uplatnit celou řadu vyšetřovacích postupů. Jedním z těchto postupů je videografická vyšetřovací metoda, kterou jsme i my použili pro náš záměr.

5.3.1 SIMI MOTION

SIMI MOTION je software, který umožňuje prostorově analyzovat pohyb. Videozáznam se provádí pomocí digitálních videokamer (v našem případě videokamery typu JVC-DVL 357 s frekvencí 25 Hz). Toto softwarové vybavení umožňuje provádět jak 2-D (v osách x a y), tak 3-D (v osách x , y , a z) kinematickou analýzu. Pro jasnější

a přehlednější prezentaci výsledků v grafech (kapitola 6 – interpretace výsledků) jsme použili vyhlazování dat metodou „moving average“ (vyhlazovací rádius 2).

5.3.2 Kalibrace

Prvním krokem v analyzačním postupu byla kalibrace vybraného prostoru, ve kterém se provádí měření. Kalibrací se rozumí změření a přesné vymezení prostoru vymezeného pro pohybovou analýzu.

V námi vymezeném prostoru jsme rozmístili celkem 10 kalibračních bodů, jejichž zaměření bylo provedeno pomocí tzv. teodolitu – totální stanice (přístroje pro trojrozměrné zaměřování bodů) typu Leica TC 805. Samotné zaměření bodů provedli pracovníci Geodézie ČS, a. s. Jako kalibrační body jsme určili vrcholy kvádrů, který vymezuje celý prostor měření plus dalších 6 bodů po vnější straně měřeného úseku, tedy celkem 10 kalibračních bodů (obr. 62). Všechny důležité pohybové činnosti při jízdě na carvingových lyžích se dějí max. do výšky 2 m od podložky. Délka a šíře kalibrovaného prostoru byla určena typem analyzovaného oblouku. Abychom nemuseli pro každý typ oblouku kalibrovat prostor znovu, vymezili jsme tak velký prostor, aby v něm bylo možno realizovat jak oblouk slalomový, tak i racecarverový nebo funcarverový. Abychom zjistili přesnou polohu kalibračních bodů, zvolili jsme jako výchozí bod (se souřadnicemi $[0,0,0]$) přístroj pro trojrozměrné zaměření bodů - teodolit. Pro určení axiálního systému jsme použili kalibrační krychli o rozměrech $1 \times 1 \times 1$ m, kterou jsme pro kalibraci umístili do středu měřeného úseku. Počítačový analyzátor SIMI MOTION nevyžaduje stanovení přesné polohy kamer, proto jsme tuto polohu nezaměřovali.

Nafilmování kalibračních bodů je nezbytné pro další pohybovou analýzu. Na základě kalibračních bodů totiž počítačový analyzátor SIMI MOTION dokáže komparací těchto vymezených kalibračních bodů přesně identifikovat polohu ostatních bodů ve vymezeném prostoru, v našem případě jednotlivých segmentů těla během pohybové činnosti.

Mimo kalibrační body bylo v prostoru rozmístěno dalších 20 tzv. referenčních bodů, nutných pro určení přesné polohy pohybujícího se lyžaře. Bylo nezbytné, aby referenční body měly různý tvar, velikost a barvu, aby pak v následném videozáznamu bylo patrné, o jaký bod se jedná. V každém snímku (25 snímků/s, respektive

50 pulsů/s) počítačový analyzátor vyžaduje označení nejméně dvou referenčních bodů.

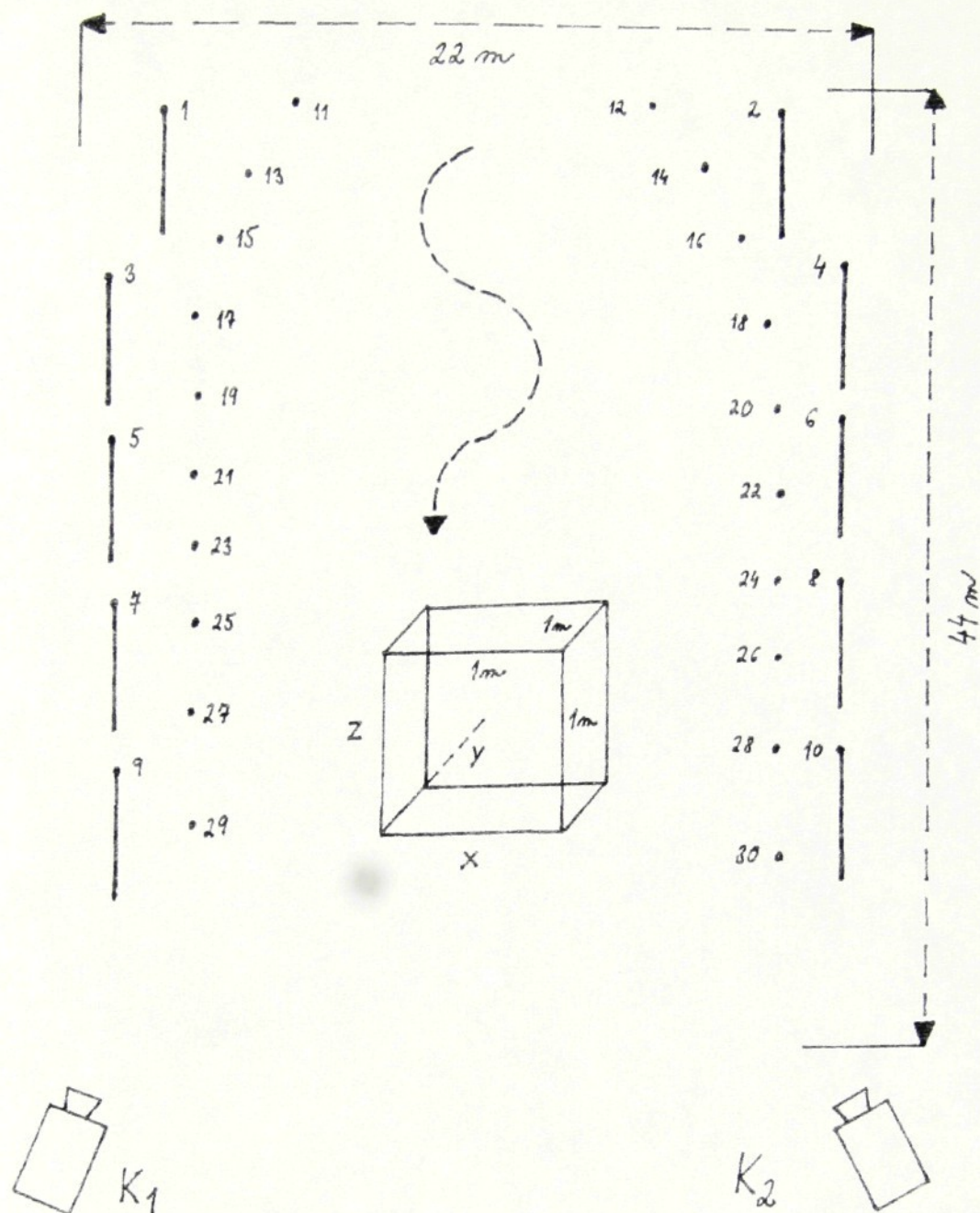
5.3.3 Postavení a synchronizace kamer

Pro kalibraci a následný záznam pohybové činnosti je možné využít dvě možnosti postavení kamer. Jednou z nich je statické postavení kamer, které jsme využili i my v naší pilotní studii. Avšak po analýze pilotní studie jsme dospěli k závěru, že pro náš záměr bude výhodnější použít druhou možnost postavení kamer, čímž je postavení pohyblivé, které umožňuje využití zoomu a otáčení kamery na stativu, čímž se sledování stává přesnější a je možno ho provádět ve větším prostoru.

Kamery jsme postavili, jak ukazuje obr. 6 do spodní části zkalibrovaného prostoru tak, aby optické osy obou kamer svíraly úhel 60-120 stupňů.

Abychom mohli provést kalkulaci bodu v prostoru, nestačí znát pouze jeho polohu z pohledu jedné kamery. Je nezbytné, aby byl ten samý bod v naprosto stejný čas ukázán i z jiného pohledu, v našem případě z druhé kamery. Ale pokud užijeme dvě standardní videokamery, je velmi nepravděpodobné, že obě začnou s pořizováním záznamu v naprosto stejný moment.

Pro tento problém existuje několik způsobů řešení. Prvním řešením je propojení obou kamer (tzv. triggering) a spuštění kamer pomocí aktivačního mechanismu v naprosto stejnou dobu. Tento způsob je však finančně velmi náročný, proto jsme ho v naší studii nepoužili. Druhým řešením je optický signál. Pokud je signál vyslán, měl by být snadno zachytitelný v obou kamerách a tím signalizovat, že daný pohyb právě začal. Jinými slovy nahrávání pohybu v jedné i druhé kameře začíná právě tímto opticky označeným obrázkem (momentem). Třetím způsobem je tzv. akustický signál, který pracuje obdobně jako signál vizuální, a může být proveden asistentem (např. tlesknutím, klepnutím atd.) nebo elektronicky (např. silné pípnutí). Těmito způsoby je možná synchronizace více kamer. My jsme v naší studii použili signál vizuální s kombinací signálu akustického. Jeden z asistentů prováděl synchronizaci klepnutím dvou dřevěných tyčí. Momentem synchronizace byl přesně ten okamžik, kdy se styčné plochy obou tyčí dotkly navzájem. Poněvadž jsme použili videokamery snímající rychlostí 25 Hz, nebyl problém určit přesný okamžik, kdy ke styku došlo.



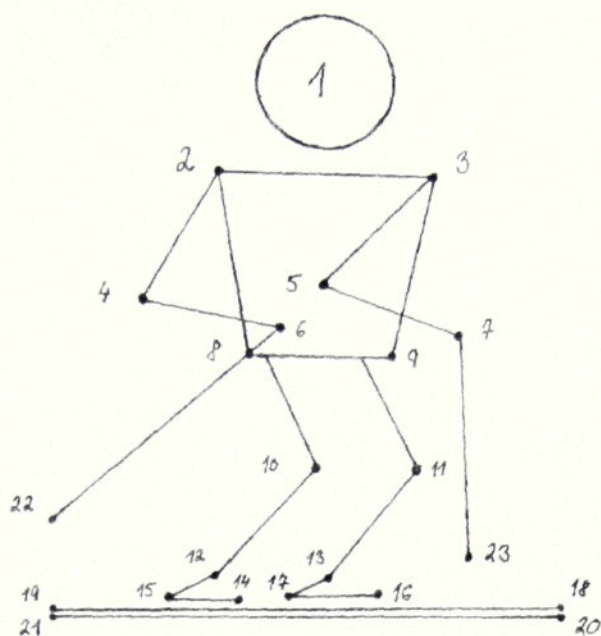
Obr. 6 Schéma měřeného úseku - 1 – 10 kalibrační body
 - 11 – 30 referenční body
 - kalibrační krychle určuje axiální systém
 - K1 a K2 – digitální kamery

5.3.4 Digitalizace

Digitalizací se rozumí přenesení a uložení pořízených dat z videozáznamu. Jedná se o manuálně a časově nejnáročnější část analyzačního řetězce. Nejprve bylo nutné v počítačovém programu definovat sledované body, a to jak jednotlivé segmenty těla, tak i použité vybavení lyžaře. Na každém pořízeném snímku (kamery pořídily záznam s frekvencí 25 snímků za sekundu, respektive 50 pulsů za sekundu) bylo určených 23 bodů soustavy lyžař-lyžařské vybavení. Bylo nutné označit všech těchto 23 bodů na každém snímku a ve stejném pořadí. Označované body představovaly hlavu, levé a pravé rameno, levý a pravý loket, levé a pravé zápěstí, levou a pravou kyčel, levé a pravé koleno, levý a pravý kotník, špičku a patu levého a pravého chodidla, přední a zadní části každé lyže a koncové části lyžařských holí (obr. 7). Zadávání bodů probíhalo pomocí křížového kurzoru, a to vždy se snahou o zaměření středu otáčení daného segmentu. Vzhledem k tomu, že jsme použili posun kamer a zoomu, bylo třeba na každém snímku označit alespoň dva tzv. referenční body, dle nichž software dokázal propočítat pohyb stanovených bodů ve vymezeném prostoru.

Po zpracování a zdigitalizování všech pořízených záznamů vyhodnotil počítačový analyzátor SIMI MOTION zadané hodnoty a vytvořil prostorové souřadnice x , y , z všech označených bodů, díky nimž bylo možné sledovat pozici a pohyb jednotlivých segmentů během prováděného pohybu.

Kinematické parametry (rychlost, zrychlení, úhlové vztahy, trajektorie.....) mohou být znázorněny softwarovým vybavením SIMI MOTION ve více možných grafických modifikacích, jako je např. kinogram, trajektorie zvoleného bodu, vektorová analýza okamžitých rychlostí, či graf zvolené funkce. Je také možné sledovat pohybovou strukturu z různých pohledů (nadhled, zprava, zleva, podhled), a to proto, že v tomto programu je možné rotovat schematických modelem v prostoru.



- | | |
|------------------|----------------------------|
| 1. Hlava | 13. Pravý kotník |
| 2. Levé rameno | 14. Špička levé nohy |
| 3. Pravé rameno | 15. Pata levé nohy |
| 4. Levý loket | 16. Špička pravé nohy |
| 5. Pravý loket | 17. Pata levé nohy |
| 6. Levá ruka | 18. Špička levé lyže |
| 7. Pravá ruka | 19. Pata levé lyže |
| 8. Levá kyčel | 20. Špička pravé lyže |
| 9. Pravá kyčel | 21. Pata pravé lyže |
| 10. Levé koleno | 22. Dolní konec levé hole |
| 11. Pravé koleno | 23. Dolní konec pravé hole |
| 12. Levý kotník | |

Obr. 7 Souhrn digitalizovaných bodů soustavy lyžař-lyžařské vybavení

5.3.5 Obtížnosti, odchylky a chyby měření

Při použití kinematografické vyšetřovací metody dochází k řadě drobných nepřesností a odchylek, kterých je velmi obtížné se během celého procesu vyvarovat.

V našem případě mohly chyby vzniknout při zadávání vybraných bodů pro digitalizaci. Jednou z chyb bylo nepřesné označení bodu křížovým kurzorem, např. nelze označit kolenní kloub vždy přesně a ve stejném místě bez nepatrné odchylky. V tomto případě jsme vycházeli z pilotní studie a snažili se vybrat co možná nejpriléhavější oblečení lyžaře, kvůli přesnějšímu určování segmentů těla. Druhou chybou bylo nepřesné rozlišení sledovaných bodů nebo dokonce úplné skrytí bodů jinými částmi těla, či sněhem, který se vyskytl v záběru, v souvislosti s pohybem lyží po podložce. S tímto jsme se potýkali i v naší pilotní studii, proto jsme cílovou studii provedli s pohyblivými kamerami, abychom eliminovali výskyt těchto chyb. Zastíněné nebo chybějící body byly označeny s přihlédnutím k návaznosti na předchozí a následující snímek osobou provádějící digitalizaci jednotlivých bodů.

6. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ A DISKUSE

6.1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO INTERPRETACI VÝSLEDKŮ

Při interpretaci výsledků jsme vyšli z rozdělení oblouku na jednotlivé fáze dle Příbramského, Jelena a Brody (1987). Tyto čtyři fáze (fáze zahájení oblouku, vedení oblouku, fáze ukončení a fáze přechodu mezi oblouky) jsou od sebe odděleny uzlovými body a pro každou z fází je charakteristická pohybová činnost, kterou lyžař provádí. Ve fázi zahájení oblouku lyžař ze základní polohy postupně zahajuje pohybovou činnost ve smyslu postavení lyží na hrany tlačení kolen dovnitř a dopředu budoucího oblouku, lyže však v této fázi zatím nezatačí. Ve fázi vedení pokračuje započatá pohybová činnost ve smyslu zvětšování úhlu hranění a těžiště těla se snižuje. Fáze vedení začíná v okamžiku, kdy se lyže začínají otáčet a končí tehdy, když lyže přestanou zatačet. Fáze vedení je nejdelší fází, v níž dochází postupně ke zvětšování úhlu hranění a zároveň ke zvětšování tlaku na lyži a následně ke zmenšení úhlu hranění a postupnému zvyšování těžiště těla na konci fáze vedení. Při jízdě na carvingových lyžích je třeba si uvědomit, že pouhé postavení lyží na hranu bez zatížení lyže ještě neznamena její zatačení. Pro následující fázi - ukončení oblouku je charakteristický zdvih těžiště (u carvingového oblouku to může být minimální zdvih s postupným posunem těžiště těla směrem nad lyže) a následuje návrat do základní polohy ve fázi přechodu mezi oblouky.

6.2 VYBRANÉ KINEMATICKÉ PARAMETRY CARVINGOVÉHO OBLOUKU

Při naší analýze jsme se zaměřili na vybrané kinematické parametry u carvingového oblouku u třech lyžařů různé úrovně osvojení lyžařských dovedností. Jednalo se o sledování interindividuálních rozdílů průjezdu krátkým carvingovým obloukem v souvislosti s teoretickými východisky uvedenými v předchozí kapitole. Při použití systému SIMI MOTION 3D jsme použili soustavu souřadnou s orientací os jak ukazuje obrázek 6. Toho využíváme i v naší interpretaci.

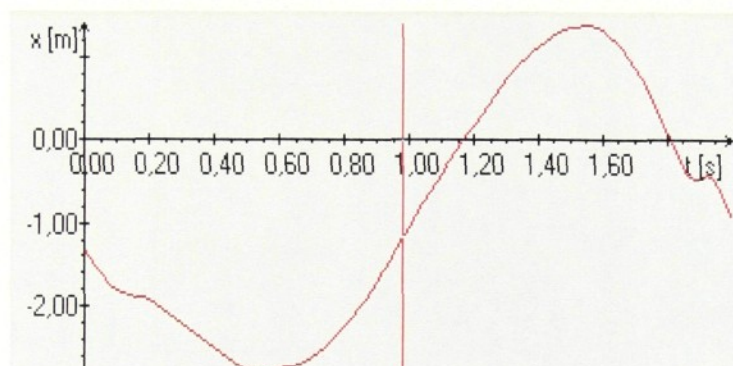
6.2.1 Pohyb těžiště těla ve vertikálním směru

Jak je patrné z kombinace tří výsledných grafů u lyžaře nejvyšší výkonnostní úrovně (L1), pohyb těžiště těla ve vertikálním směru probíhá v několika fázích. Nutno podotknout, že v konečném důsledku těžiště těla vždy klesá, což je způsobeno úhlem spádnice, po které se lyžař pohybuje.

Abychom správně definovali přechodovou fázi mezi oblouky, pro kterou se snažíme určit pohyb těžiště těla lyžaře ve vertikálním směru, použili jsme graf (obr. 8), který vymezuje přechodovou fázi mezi oblouky. Je na něm zřetelně vidět průběh a tvar oblouku v ose x (obr. 6 – kalibrace a axiální systém). Jako přechodovou fázi mezi oblouky jsme podle obr. 8 určili moment v čase 0,97 s, který je na obrázku vyznačen červenou svislicí.

Vertikální pohyb těžiště těla lze definovat na dalším grafu (obr. 9), který ukazuje průběh těžiště těla ve vertikální ose z měřenou v metrech. Ve fázi vedení oblouku lze vidět kontinuální klesání těžiště těla, které je závislé jednak na spádnici a jednak i na snižování těžiště těla ve fázi vedení oblouku. Před přechodovou fází se těžiště těla zvyšuje, protože nastala fáze ukončení oblouku, pro kterou je charakteristické zvyšování těžiště těla, což jsme popsali v kap. 6.1. Toto výrazné zvýšení těžiště těla z původních 2,47 m až na 2,82 m si vysvětlujeme tím, že lyžař v přechodové fázi oblouku, kdy jel více k vrstevnici, nezměnil flexi v pravém kolenním kloubu (budoucí vnitřní noha), ale pouze posunul těžiště těla více na lyže a proto se těžiště těla v tomto okamžiku pohybovalo směrem vzhůru. Jak je patrné z obr. 10, který ukazuje změnu úhlu otáčení v pravém kolenním kloubu v průběhu oblouků, úhel v pravém kolenním

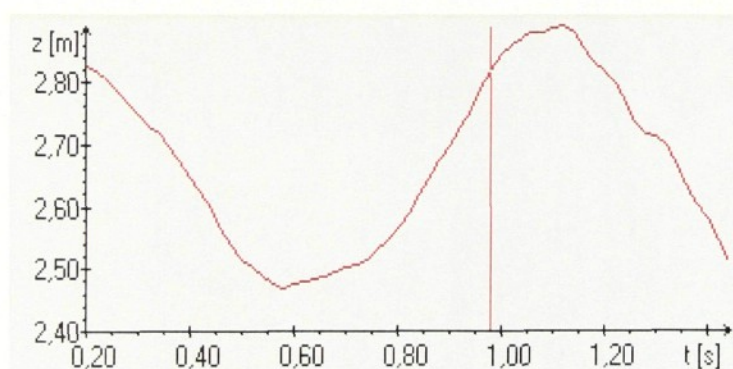
kloubu se ve sledovaném okamžiku přechodové fáze příliš nezměnil (v daném okamžiku byl 107,84 stupňů, což je rozdílné od ostatních dvou lyžařů) a je zde velmi dobře patrné, že následující zavřený slalomový oblouk byl zahájen seshora směrem dolů.



■ **-1,16 Körperschwerpunkt (Hanavan) X**

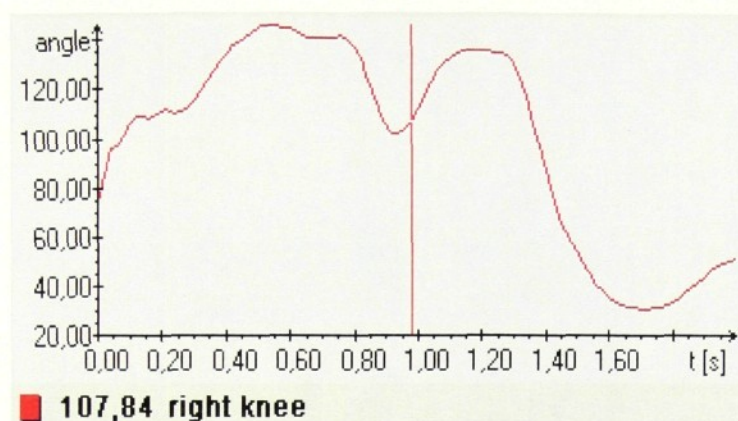
* Körperschwerpunkt (Hanavan) – počítačový model pro výpočet těžiště těla

Obr. 8 Průběh a tvar oblouku v ose x u lyžaře nejvyšší výkonnostní úrovně (L1),



■ **2,82 Körperschwerpunkt (Hanavan) Z**

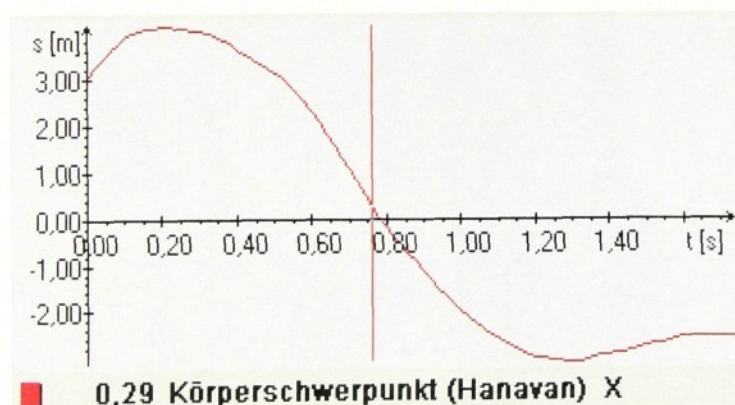
Obr. 9 Pohyb těžiště těla v ose z u L1



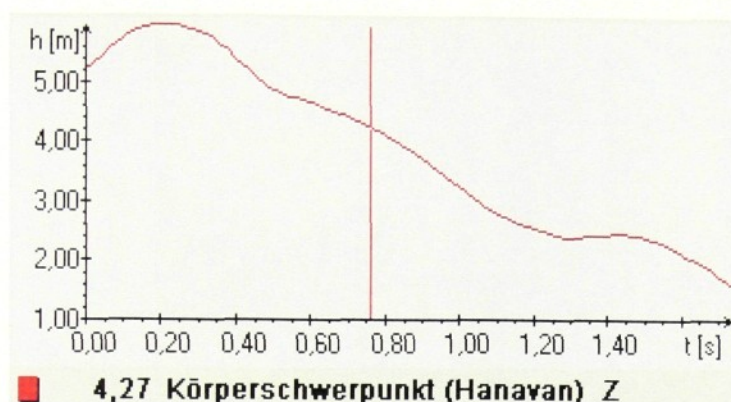
Obr. 10 Úhel v pravém kolenním kloubu u L1

U lyžaře střední výkonnostní úrovně (L2) lze definovat druhý způsob zahájení nového oblouku z přechodové fáze. Zde jsme znovu určili moment přechodové fáze z grafu (obr.11), který ukazuje průběh a tvar oblouku v ose x . Jako přechodovou fázi mezi oblouky jsme podle obr. 11 určili moment v čase 0,76 s.

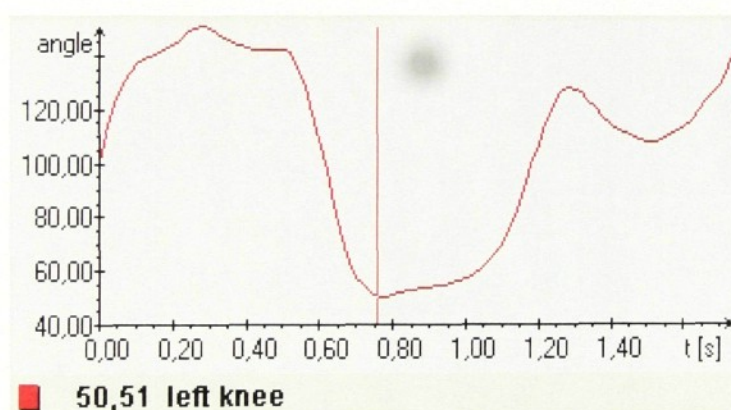
Vertikální pohyb těžiště těla je patrný z dalšího grafu (obr. 12), který ukazuje stejně jako obr. 9 neustálé klesání těžiště těla v obou obloucích. Výjimkou je viditelné narovnání padající křivky, které demonstruje právě přechodové fáze mezi oblouky, a které je zapříčiněno právě zdvihem těžiště ve vertikálním směru. Zde se však vyskytuje rozdíl oproti L1, poněvadž nedochází k tak výraznému zvýšení těžiště těla.. Tento jev je způsoben jiným provedením přechodové fáze a následné zahajovací fáze oblouku než u L1, a to tak, že u L2 v okamžiku přechodu došlo k výrazné flexi v budoucím vnitřním kolenním kloubu, takže pohyb těžiště těla směrem vzhůru je do jisté míry eliminován, poněvadž L2 zahajuje nový oblouk s výraznou flexí budoucí vnitřní nohy. Toto demonstruje obr. 13, kdy v okamžiku přechodové fáze je úhel v pravém kolenním kloubu pouze 50,51 stupňů. Na tomto grafu lze pozorovat i další rozdíl oproti L1, a tím je fakt, že během fáze vedení nového oblouku je tento oblouk veden směrem odspoda nahoru.



Obr. 11 Průběh a tvar oblouku v ose x u lyžaře střední výkonnostní úrovně (L2)

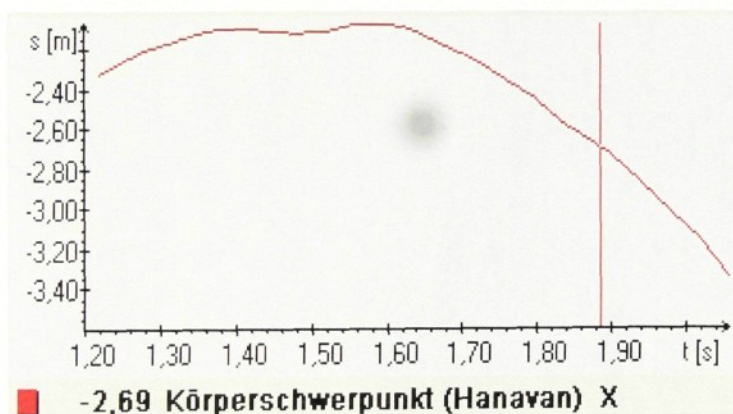


Obr. 12 Pohyb těžiště těla v ose z u L2

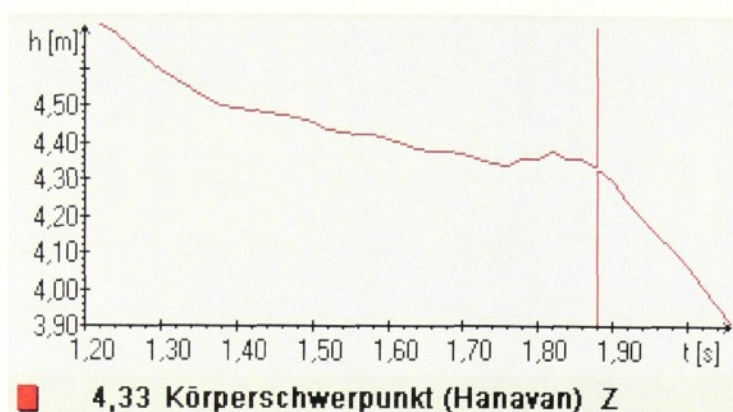


Obr. 13 Úhel v pravém kolenním kloubu u L2

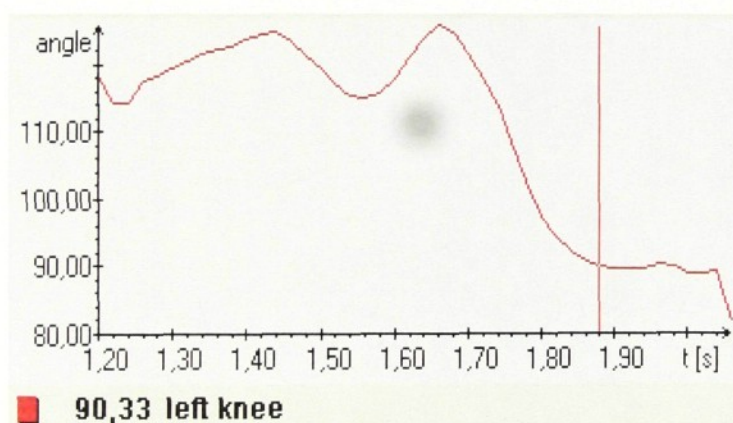
Z časoprostorového řešení levého oblouku u lyžaře nejnižší výkonnostní úrovně (L3) nebylo možné rozpoznat jednotlivé fáze oblouku, proto jsme pro demonstraci pohybu těžiště těla využili pouze oblouk pravotočivý. Na obr. 14, který ukazuje průběh pravého oblouku, tedy nebylo možné určit přesně přechodovou fázi oblouku, proto je zde vyznačena (červená svislice) v závislosti na obr. 15, kde jsme přechodovou fázi definovali právě na základě zdvihu těžiště těla. Porovnání s digitalizovaným videozáznamem nám určený okamžik přechodové fáze potvrdilo. Tedy v čase 1,88 s kdy se L3 nachází v přechodové fázi oblouku (obr. 14, 15 a 16 – červená svislice), se dá říci, že se u něj projevuje kombinace dvou předešlých způsobů zahájení nového oblouku. V přechodové fázi dochází k menšímu posunu těžiště vzhůru ve vertikálním směru než u L1, ale k většímu než u L2 (obr. 15). Toto zvýšení těžiště těla je opět zapříčiněno jízdou k vrstevnici ve fázi přechodu a jednak také mírnému posunu kolen na podélnou osu lyží. Tomu odpovídá i úhel v kolenním kloubu budoucí vnitřní nohy, který činí 90,33 stupňů (obr. 16).



Obr. 14 Průběh a tvar oblouku v ose x u lyžaře nejnižší výkonnostní úrovně (L3)



Obr. 15 Pohyb těžiště těla v ose z u L3



Obr. 16 Úhel v levém kolenním kloubu u L3

6.2.2 Úhel v kolenním kloubu

Druhým předmětem našeho zkoumání byla flexe v kolenním kloubu v koncové fázi vedení oblouku. Zaměřili jsme se jak na oblouk zavřený tak i otevřený. U L1 byl první oblouk otevřený. Na obr. 17 je červenou čarou vyznačen úhel v levém kolenním kloubu, který je při oblouku doleva menší než modře vyznačený úhel v pravém kolenním kloubu. V koncové fázi vedení oblouku v čase 0,83 s (svislá červená čára) dochází k výměně kolen do pravotočivého oblouku, kde dochází ke srovnání úhlů v kolenních kloubech obou nohou.

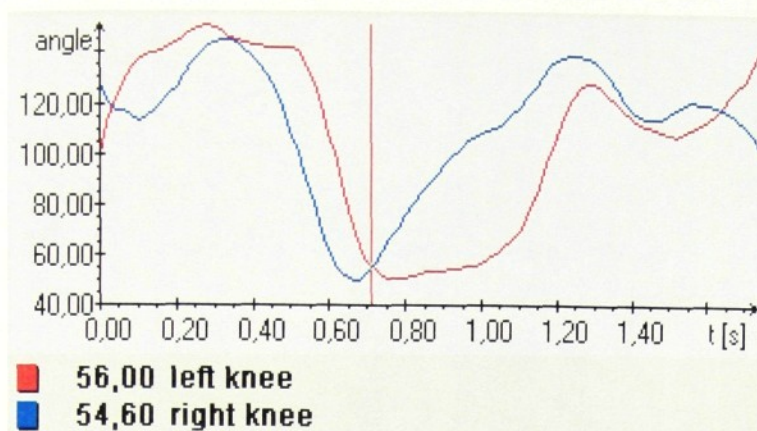
Druhý oblouk je zavřeného charakteru, proto úhel v pravém kolenním kloubu je podstatně menší v průběhu oblouku, což si vysvětlujeme větším úhlem hranění. Dochází tedy ke zvětšení flexe v pravém kolenním kloubu a výraznému oddálení levého bérce od pravého, což je nutné pro udržení stability v zavřeném oblouku. V místě kde se obě křivky znovu setkají (v čase 1,92 s) je koncová fáze vedení dalšího oblouku, a to po slalomovém oblouku zavřeném. V první koncové fázi vedení (po otevřeném oblouku) má L1 úhel v pravém kolenním kloubu 112,10 stupňů a úhel v levém kolenním kloubu 109,83 stupňů. V druhé koncové fázi vedení (po zavřeném slalomovém oblouku) jsou však úhly výrazně nižší, a to v levém kolenním kloubu 45,54 stupňů a v pravém kolenním kloubu 46,57 stupňů.

Lze tedy říci, že úhel v kolenních kloubech v koncové fázi vedení oblouku je závislý na druhu předchozího oblouku (ve smyslu otevřených respektive zavřených oblouků), a to tak, že ve slalomovém oblouku otevřeném (více ke spádnicí) nedochází k tak velké flexi v kolenních kloubech jako po oblouku zavřeném (více k vrstevnici).



Obr. 17 Úhly v levém (červená křivka) a pravém (modrá křivka) kolenním kloubu u L1

U lyžaře L2 byl prvním obloukem oblouk zavřený. Červená křivka znovu ukazuje změnu úhlů v levém kolenním kloubu a modrá křivka změnu úhlů v pravém kolenním kloubu. V čase 0,70 s se obě křivky setkávají, což ukazuje konečnou fázi vedení oblouku, kdy se vyrovnají úhly v obou kolenních kloubech (svislá červená čára). Obrázek 18 ukazuje, že po zavřeném slalomovém oblouku doprava je úhel v levém kolenním kloubu 56,00 stupňů a úhel v pravém kolenním kloubu 54,60 stupňů. V druhé koncové fázi vedení po oblouku otevřeném (v čase 1,65 s) je úhel v levém kolenním kloubu 120,64 stupňů a úhel v pravém kolenním kloubu 118,46 stupňů. Tyto výsledky nám ukazují shodu s výsledky u L1, kdy po otevřeném slalomovém oblouku k koncové fázi vedení oblouku byly úhly v obou kolenních kloubech větší, než u zavřeného slalomového oblouku, kdy se úhly v obou kolenních kloubech výrazně zmenšují.



Obr. 18 Úhly v levém (červená křivka) a pravém (modrá křivka) kolenním kloubu u L2

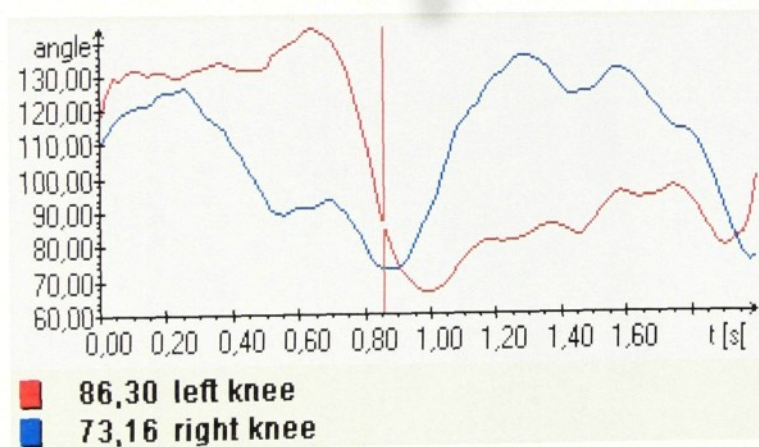
Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.2.1, tak u lyžaře L3 nebylo možné z časoprostorového řešení levého oblouku rozpoznat jednotlivé fáze oblouku, z obrázku č. 19 lze rozpoznat obě koncové fáze vedení oblouku. První koncová fáze vedení oblouku po oblouku otevřeném a moment přechodu je opět reprezentován překřížením křivek obou úhlů (v čase 1,24 s), kde úhel v levém kolenním kloubu je 115,15 stupňů a úhel v pravém kolenním kloubu 114,76 stupňů. Po zavřeném oblouku jsou úhly v koncové fázi vedení oblouku (svislá červená čára, v čase 1,78 s) větší než u předchozích dvou lyžařů, a to 100,47 stupňů v levém kolenním kloubu a 99,38 stupňů v pravém kolenním kloubu. To si vysvětlujeme tím, že lyžař L3 nedokáže vyjet zavřený slalomový oblouk, což je závislé na úrovni lyžařských dovedností, kdy máme na mysli především menší úhel hranění než u předchozích lyžařů.



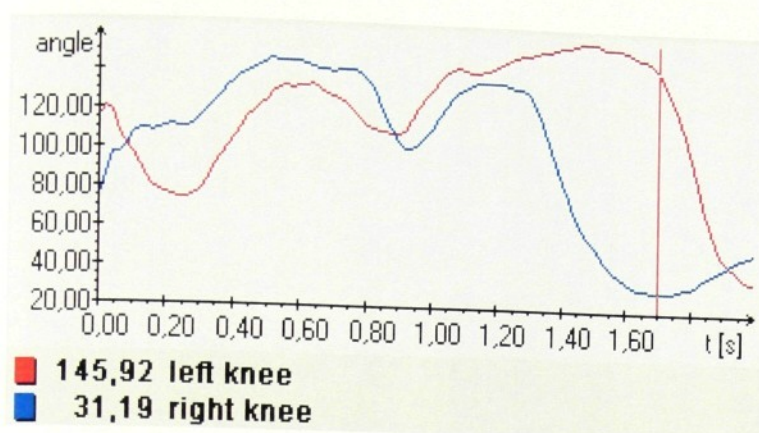
Obr. 19 Úhly v levém (červená křivka) a pravém (modrá křivka) kolenním kloubu u L3

Na závěr lze tedy konstatovat, že úhel v kolenních kloubech v koncové fázi vedení oblouku je především závislý na druhu předchozího oblouku ve smyslu otevřených respektive zavřených oblouků, a také na úrovni osvojení lyžařských dovedností jednotlivých lyžařů.

Dalším předmětem našeho zkoumání byl rozdíl v úhlech kolenních kloubů v zavřeném slalomovém oblouku ve fázi vedení oblouku na různých typech lyží. Pro toto srovnání jsme použili slalomové lyže Blizzard SXP 163 cm s poloměrem otáčení 13 m a racecarverové lyže Blizzard 175 cm s poloměrem otáčení 16 m. Měření jsme provedli pouze u lyžaře L1, poněvadž ostatní probandi nebyli schopni vyjet krátký zavřený carvingový oblouk bez smýknutí lyží. Jak je patrné z obrázku č. 20, tak lyžař na konci zavřeného oblouku doprava na racecarverových lyžích dosáhl úhlu v levém kolenním kloubu 86,30 stupňů a v pravém kolenním kloubu 73,16 stupňů. V porovnání s jízdou na krátkých slalomových lyžích, kdy byl úhel v pravém kolenním kloubu 31,19 stupňů a v levém kolenním kloubu 145,92 stupňů (obr. 21), dochází k výraznému rozdílu. Předpokládáme, že větší úhel v kolenních kloubech na racecarverových lyžích je zapříčiněn smýknutím lyží ve fázi vedení oblouku a tím tedy dochází k rozevření úhlu v kolenních kloubech. Toto smýknutí se děje v důsledku většího poloměru otáčení i odlišné konstrukce lyží, tudíž není technicky možné vyjet krátký zavřený slalomový oblouk bez uvedeného smýknutí.



Obr. 20 Úhel v levém (červená křivka) a pravém (modrá křivka) kolenním kloubu u L1 na racecarverových lyžích



Obr. 21 Úhel v levém (červená křivka) a pravém (modrá křivka) kolenním kloubu u L1 na slalomových lyžích

7. ZÁVĚRY

V této kapitole popíšeme jednotlivé závěry plynoucí z našeho zkoumání v návaznosti na námi vyslovené hypotetické vztahy. Nutno však podotknout, že tato diplomová práce podává sice mnohá východiska a výsledky pro oblast praxe, ale bylo by vhodné na zvoleném tématu dále provádět výzkum, a to především ve smyslu zkoumání většího množství probandů, aby bylo možno uvedené výsledky generalizovat a formulovat tak nové přístupy pro oblast metodiky sjíždění a zatáčení na lyžích.

Prvním předmětem našeho zkoumání byl vertikální pohyb těžiště těla v přechodové fázi krátkého slalomového oblouku. Podle některých autorů v přechodové fázi carvingového oblouku dochází k eliminaci vertikálního pohybu těžiště těla. V návaznosti na kapitolu 6.2.1 lze u L1 pozorovat výrazné zvýšení těžiště těla ve vertikálním směru v přechodové fázi oblouku. Toto zvýšení těžiště těla je zapříčiněno jednak jízdou více směrem k vrstevnici při zafixovaném úhlu v kolenních kloubech a jednak také posunutím těžiště těla nad podélnou osu lyží. Zde se vyskytuje první možnost přechodu z fáze přechodové do zahajovací fáze nového oblouku, a to právě neměnným úhlem v kolenních kloubech. Jak nám ukazují předchozí grafy, nový oblouk je pak veden směrem seshora dolů. Na rozdíl od L1 je u L2 zřetelně vidět pouze nepatrný vzestup vertikálního těžiště těla v přechodové fázi oblouku. To si vysvětlujeme tím, že L2 v přechodové fázi oblouku zmenšil flexi v kolenním kloubu budoucí vnitřní nohy, čímž eliminoval zvýšení těžiště těla při jízdě k vrstevnici. Zde se tedy vyskytuje druhý způsob pohybového řešení při přechodu z fáze přechodové do fáze zahájení nového oblouku. U L3 pozorujeme kombinaci obou předešlých způsobů. Ve všech případech tedy dochází k vertikálnímu pohybu těžiště těla, i když může být zapříčiněno pouze posunutím kolen nad podélnou osu lyží, čímž se nám potvrzuje **H1**, která říká, že k vertikálnímu pohybu těžiště těla v krátkém slalomovém oblouku dochází na všech úrovních osvojení lyžařských dovedností.

Dalším předmětem zkoumání byl vliv charakteru oblouku na úhel v kolenních kloubech v závěrečné fázi vedení krátkého slalomového oblouku. Zjistili jsme, že otevřenost respektive zavřenost oblouku se odráží i na flexi v kolenních kloubech v závěrečné fázi vedení oblouku. U L1 i u L2 je patrné, že úhel v kolenních kloubech v závěrečné fázi vedení po uzavřeném a otevřeném oblouku se výrazně liší. Tento rozdíl

se pohybuje v rozmezí 60 –70 stupňů, na rozdíl od lyžaře s nižší úrovní osvojení lyžařských dovedností (L3), kdy se tento rozdíl pohybuje pouze v rozmezí od 15 –25 stupňů. To se dá vysvětlit tím, že L3 není schopen dosáhnout většího úhlu hranění a tedy ani u něj nedochází ke zvětšení flexe v kolenních kloubech. Lze tedy říci, že se nám potvrdila i **H2**, která konstatuje, že flexe v kolenním kloubu v závěrečné fázi vedení krátkého slalomového oblouku je závislá na charakteru prováděného oblouku a na úrovni osvojení lyžařských dovedností.

Třetím a posledním předmětem našeho zkoumání byl vliv lyží různé délky a tvaru na úhel v kolenních kloubech ve fázi vedení oblouku. Tento problém jsme zkoumali pouze na L1, protože jako jediný byl schopen vyjet krátký zavřený oblouk bez smýknutí lyží. Výsledky nám ukázaly, že na krátkých slalomových lyžích je možné dosáhnout velkého úhlu hranění, aniž by došlo ke smýknutí lyží při průjezdu obloukem, proto i úhel v kolenním kloubu vnitřní nohy ve fázi vedení oblouku je podstatně menší než u lyží racecarverových. Zmenšení flexe ve fázi vedení na krátkých slalomových lyžích je podmínkou pro udržení stability při tak velkém úhlu hranění. Na lyžích racecarverových však není možné vyjet krátký zavřený slalomový oblouk zavřený bez smýknutí lyží. Zde jsme pozorovali, že úhel v kolenním kloubu vnitřní nohy je větší než u lyží slalomových. To si vysvětlujeme tím, že při smýknutí ve fázi vedení oblouku dojde k rozevření úhlu v kolenním kloubu. Na závěr se nám potvrdila i **H3**, která říká, že v krátkém slalomovém oblouku má tvar a délka lyží vliv na úhel v kolenních kloubech.

Jsme si vědomi, že jsme nevyslovili veškerá možná východiska plynoucí z našeho zkoumání, ale doufáme, že jsme velkou měrou přispěli k rozvoji teoretických poznatků v oblasti biomechaniky lyžování.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- CASOLO, F. et al. Simulation Techniques Applied to Skiing Mechanics in: MÜLLER, E. et al. *Science and Skiing*. Proceedings of the First International Congress on Skiing and Science. St. Christoph a. Arlberg, 7. – 13. January, 1996, Chapman & Hall, first edition, p. 117 - 130
- CASOLO, F. et al. Relevance of Ski Mechanical and Geometrical Properties in Carving Technique: A Dynamic Simulation in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 46 - 47
- CHEVALIER, P. Technika a tréninkové metody závodního lyžování. Alpské disciplíny. Snow-How. Praha, 1999, 147 s.
- FERRARIO, V. F. et al. A Mathematical Method for the Analysis of Trajectories in Giant Slalom in: MÜLLER, E. et al. *Science and Skiing*. Proceedings of the First International Congress on Skiing and Science. St. Christoph a. Arlberg, 7. – 13. January, 1996, Chapman & Hall, first edition, p. 107 -115
- FRIEDRICH, E. & van BERGEN, B. Sensor Plates Designed for Measuring Forces Between Ski and Binding – a Developmental Summary in: MÜLLER, E. et al. *Science and Skiing*. Proceedings of the First International Congress on Skiing and Science. St. Christoph a. Arlberg, 7. – 13. January, 1996, Chapman & Hall, first edition, p. 180 – 187
- FUKUOKA, T. Zur Biomechanik und Kybernetik des alpinen Schilaufts. 1st Ed. Frankfurt/M.: Limpert Verlag, 1971, 125 s.
- GERITSEN, K. G. M., NACHBAUER, W., van den BOGERT, A. Computer Simulation of Landing Movement in Downhill Skiing: Anterior Cruciate Ligament Injuries in *J. Biomechanics*, Vol. 29, No. 7, Elsevier Science Ltd., 1996, p. 845 – 854
- GLITSCH, U. Computer Simulation of Alpine Skiing in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 42 - 43
- KEMMLER, J. Carving. Kopp. České Budějovice, 2001, 128 s. ISBN 80-7232-153-6
- KRIŠTOFIČ, J. Fyzikální aspekty sportovní techniky. Kinematická analýza vybraných cvičení ze sportovní gymnastiky. Univerzita Karlova. Karolinum. Praha, 1996, 92 s.
- MARŠÍK, J. & PŘÍBRAMSKÝ, M. Sjezdové lyžování. Olympia. Praha, 1977, 89 s.
- MÖSSNER, M., KAPS, P. & NACHBAUER, W. A. Method for Obtaining 3 – D Data in Alpine Skiing. Using Pan-and-Tilt Cameras with Zoom Lenses. In *Skiing Trauma and Safety*. 1996. Nr. 10, s. 155-177.
- NACHBAUER, W. & KAPS, P. Current Trends in Biomechanics of Alpine Skiing in: VAVERKA, F. Ö. & JANURA, M. (editoři) *Biomechanics of Man 2000*. Proceedings

of the VII Conference of the Czech Society of Biomechanics with International Participation. Olomouc, 24. – 25. November 2000, FTK UP, Olomouc, s. 20 – 25. ISBN 80-244-0193-2.

NIGG, B. M., SCHWAMEDER, H., STEFANYSHYN, D. The Effect of Ski Binding Position on Performance and Comfort Skiing in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 8 – 9

NOVÁK, A. Biomechanika tělesných cvičení. Státní pedagogické nakladatelství. Praha, 1970, 250 s.

POZZO, R. et al. 3-D Kinematic of the Start in the Downhill at the Bormio World Cup in 1995 in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 18 - 19

PŘÍBRAMSKÝ, M. Lyžování. Grada Publishing, spol. s r. o. Praha, 1999, 120 s.

PŘÍBRAMSKÝ, M. & MAKOVEC, B. Tenzometrické snímače sil ke sledování změn v zatížení lyží. In: *Teorie a praxe tělesné výchovy*, Praha, 1976, 3/24, s. 169 – 172.

PŘÍBRAMSKÝ, M., JELEN, K., BRODA, T. Biomechanická hlediska slalomových oblouků ve fázi zahájení, vedení a ukončení /I./ in: *Teor. Praxe těl. Vých.* Praha, 1987, Nr.35/10, s. 629 – 632

PŘÍBRAMSKÝ, M., JELEN, K. & VODIČKOVÁ, S. Carving - česká škola lyžování. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta tělesné výchovy a sportu. Praha, 2002, 158 s.

REALITY MOTION SYSTEMS GMBH. Manual SIMI MOTION.

SEIFRIZ, F., MESTER, J. Measurement and Computer Simulation of Trajectories in Alpine Skiing in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 44 - 45

SCHAFF, P., SENNER, V. & KAISER, F. Pressure Distribution Measurements for the Alpine Skier – from the Biomechanical High Tech Measurement to its Application as Swingbeep-feedback System in: MÜLLER, E. et al. *Science and Skiing*. Proceedings of the First International Congress on Skiing and Science. St. Christoph a. Arlberg, 7. – 13. January, 1996, Chapman & Hall, first edition, p. 159 -171

SCHWAMEDER, H. et al. The Effect of Binding Position on Kinetic Variables in Alpine Skiing in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 10 - 11

SOUKUP, J. Lyžování podle alpských lyžařských škol. Olympia a. s., Praha, 1991, 132 s.

VODIČKOVÁ, S. Časoprostorové řešení jízdy na skibobu ve slalomu a jeho vliv na výkon v závodech. Disertační práce. Praha, 2000, 112 s.

ZVAN, M., LEŠNIK, B. Analysis of Some Kinematic Parameters of Different Giant-salom Technique Versions in: MÜLLER, E. et al. *2nd International Congress on Skiing and Science*. St. Christoph a. Arlberg, 9. -15. January, 2000, p. 170 - 171

9. PŘÍLOHY

Tabulka 1 Hodnoty průběhu úhlů v kolenních kloubech během jízdy L1 na krátkých slalomových lyžích

left knee	right knee	left knee	right knee	left knee	right knee
0,00000000	0,00000000	117,34796906	140,45643616	156,00215149	35,90892410
0,02000000	0,02000000	113,90888977	137,50953674	154,54866028	34,13048172
116,42098999	74,73389435	111,86053467	133,22605896	152,23837280	32,78857803
121,32713318	85,83546448	110,30172729	126,80622864	151,44903564	31,91275597
117,76478577	97,03765106	110,54861450	119,43887329	149,41014099	31,46131325
107,12745667	97,09741211	109,83255768	112,09835052	145,92417908	31,18547058
101,98461914	101,32208252	110,10342407	106,31928253	139,60369873	31,38985443
96,53365326	106,53647614	111,41867828	102,65501404	132,16218567	31,71306801
90,36655426	109,74713898	117,17259979	102,61134338	123,70732117	32,31059265
84,20610809	109,29188538	123,04494476	104,10884857	113,90021515	33,06737518
80,14296722	108,75196075	128,72666931	107,83695984	101,01646423	34,16837311
78,19357300	109,71468353	132,47315979	112,27593994	88,68679810	35,92151260
76,71061707	111,44105530	137,00170898	118,38698578	76,62350464	38,05090332
75,54134369	112,36095428	141,01153564	123,66583252	66,82348633	40,14166260
74,54596710	110,78723907	143,73507690	128,36735535	57,75654984	42,11912537
75,07438660	111,20767212	143,87689209	131,44712830	50,19948578	44,24625015
76,08072662	112,67321777	143,14685059	133,54228210	45,53996658	46,57344437
78,86469269	115,76420593	142,46400452	135,71737671	43,03871536	48,59477615
84,03486633	119,20770264	142,41659546	136,75209045	39,56973648	50,02273941
90,89398193	123,68231964	142,79171753	136,62847900	37,22663498	51,09795380
96,24563599	127,41549683	143,80627441	136,64860535	37,59280014	51,85491180
100,70401764	131,69223022	145,50096130	136,60897827		
105,72785950	134,59223938	147,06825256	136,37448120		
111,17973328	138,00718689	148,96534729	135,69871521		
116,58035278	139,74063110	150,42739868	135,04238892		
119,95676422	141,53915405	151,70100403	134,43760681		
122,70569611	143,40318298	152,50900269	131,78363037		
125,97103119	145,28099060	153,20687866	125,90070343		
129,18983459	146,30934143	153,98703003	116,97752380		
131,81286621	146,21821594	154,71443176	106,97831726		
132,63607788	146,20027161	155,59399414	97,22323608		
132,39921570	145,75715637	156,54333496	87,24719238		
132,97885132	145,53530884	157,21322632	77,93653870		
133,69543457	143,88781738	158,01589966	68,96325684		
134,01367188	142,64480591	158,80854797	62,28610992		
132,34658813	141,56527710	159,37263489	57,66513824		
129,69364929	141,51139832	159,11622620	53,48324203		
128,00651550	140,85633850	158,06048584	49,35425949		
126,54760742	141,49299622	157,21089172	45,38041306		
124,48330688	141,57591248	157,03210449	41,26510620		
120,90402222	141,92005920	156,91520691	38,52666855		

Tabulka 2 Hodnoty průběhu úhlů v kolenních kloubech během jízdy L1 na racecarverových lyžích

left knee	right knee	left knee	right knee	left knee	right knee
0,00000000	0,00000000	101,79350281	75,99971008	94,67311859	122,67061615
0,02000000	0,02000000	93,97782898	74,14799500	95,16674042	119,75556946
118,10311127	110,62966919	86,29711151	73,15792084	96,04978943	117,18635559
125,35855103	113,30982971	80,29709625	73,32712555	97,22732544	115,02206421
129,71621704	116,59620667	75,22959137	73,65480042	96,97891998	114,26403809
129,42071533	118,57051849	71,77158356	75,23263550	95,40096283	113,72747040
131,45527649	120,45426941	69,41237640	78,37190247	93,10472870	112,88311005
132,25009155	121,01763153	67,81396484	83,03972626	90,76186371	110,39185333
132,03529358	121,29593658	66,94200897	86,88048553	88,04869843	106,84212494
130,93319702	121,39794922	66,85225677	91,83705902	84,93614960	102,44996643
131,03865051	122,96213531	67,36213684	96,07611084	81,40940857	97,34299469
131,20819092	124,40309143	69,14023590	102,58251953	79,64341736	91,54495239
131,24528503	125,21806335	71,37819672	108,79570007	79,99839020	85,92385101
130,00274658	125,30158997	74,37000275	114,54750824	82,63434601	81,68280029
130,10607910	126,01793671	76,76670837	117,31769562	83,38040924	77,04530334
130,94700623	126,57052612	78,93115997	119,84496307	89,30023956	74,67504883
131,75712585	124,94183350	80,41362000	121,76873779	100,53454590	76,68688965
132,10745239	121,87419891	81,70137787	125,66871643		
132,62646484	118,23997498	81,88282776	127,94760132		
133,46850586	116,95949554	81,79238129	129,50329590		
134,59315491	115,54277802	81,21579742	130,30010986		
133,37423706	113,92360687	81,49309540	132,77894592		
132,55520630	109,85143280	81,81683350	134,89329529		
131,77638245	107,33776093	82,77397156	136,20503235		
131,94050598	103,85749054	83,66411591	135,64834595		
132,29980469	100,75291443	85,07014465	135,03082275		
131,99629211	96,43759155	85,75989532	133,71517944		
133,14024353	93,69092560	86,33892059	131,94680786		
135,52626038	90,66155243	86,14454651	129,24046326		
137,73316956	89,83610535	85,68442535	126,66008759		
138,72636414	89,48929596	84,52919769	124,98358154		
139,63423157	91,02910614	83,56060791	124,43769836		
140,86515808	91,59207153	83,44173431	125,00724792		
143,31097412	91,41590881	85,26767731	125,59065247		
144,14413452	91,37241364	87,74388885	126,29061890		
143,31799316	92,28194427	89,92854309	127,82756805		
142,09553528	94,06647491	92,11020660	129,81808472		
140,30140686	94,07444763	94,21274567	131,85623169		
137,74955750	91,80287170	95,71357727	132,45852661		
132,78956604	89,71430206	95,45784760	131,73556519		
126,40420532	87,31865692	94,62595367	129,86264038		
118,56732941	84,19450378	93,94483185	127,80620575		

Tabulka 3 Hodnoty průběhu úhlů v kolenních kloubech během jízdy L2 na krátkých slalomových lyžích.

left knee	right knee	left knee	right knee	left knee	right knee
0,00000000	0,00000000	117,3479690	140,45643616	156,0021514	35,90892410
0,02000000	0,02000000	113,9088897	137,50953674	154,5486602	34,13048172
116,4209899	74,73389435	111,8605346	133,22605896	152,2383728	32,78857803
121,3271338	85,83546448	110,3017272	126,80622864	151,4490356	31,91275597
117,7647857	97,03765106	110,5486145	119,43887329	149,4101409	31,46131325
107,1274566	97,09741211	109,8325576	112,09835052	145,9241790	31,18547058
101,9846191	101,32208252	110,1034240	106,31928253	139,6036987	31,38985443
96,53365326	106,53647614	111,4186782	102,65501404	132,1621856	31,71306801
90,36655426	109,74713898	117,1725997	102,61134338	123,7073211	32,31059265
84,20610809	109,29188538	123,0449447	104,10884857	113,9002151	33,06737518
80,14296722	108,75196075	128,7266693	107,83695984	101,0164642	34,16837311
78,19357300	109,71468353	132,4731597	112,27593994	88,68679810	35,92151260
76,71061707	111,44105530	137,0017089	118,38698578	76,62350464	38,05090332
75,54134369	112,36095428	141,0115356	123,66583252	66,82348633	40,14166260
74,54596710	110,78723907	143,7350769	128,36735535	57,75654984	42,11912537
75,07438660	111,20767212	143,8768920	131,44712830	50,19948578	44,24625015
76,08072662	112,67321777	143,1468505	133,54228210	45,53996658	46,57344437
78,86469269	115,76420593	142,4640045	135,71737671	43,03871536	48,59477615
84,03486633	119,20770264	142,4165954	136,75209045	39,56973648	50,02273941
90,89398193	123,68231964	142,7917175	136,62847900		
96,24563599	127,41549683	143,8062744	136,64860535		
100,7040176	131,69223022	145,5009613	136,60897827		
105,7278595	134,59223938	147,0682525	136,37448120		
111,1797332	138,00718689	148,9653472	135,69871521		
116,5803527	139,74063110	150,4273986	135,04238892		
119,9567642	141,53915405	151,7010040	134,43760681		
122,7056961	143,40318298	152,5090026	131,78363037		
125,9710311	145,28099060	153,2068786	125,90070343		
129,1898345	146,30934143	153,9870300	116,97752380		
131,8128662	146,21821594	154,7144317	106,97831726		
132,6360778	146,20027161	155,5939941	97,22323608		
132,3992157	145,75715637	156,5433349	87,24719238		
132,9788513	145,53530884	157,2132263	77,93653870		
133,6954345	143,88781738	158,0158996	68,96325684		
134,0136718	142,64480591	158,8085479	62,28610992		
132,3465881	141,56527710	159,3726348	57,66513824		
129,6936492	141,51139832	159,1162262	53,48324203		
128,0065155	140,85633850	158,0604858	49,35425949		
126,5476074	141,49299622	157,2108917	45,38041306		
124,4833068	141,57591248	157,0321044	41,26510620		
120,9040222	141,92005920	156,9152069	38,52666855		

Tabulka 4 Hodnoty průběhu úhlu v kolenních kloubech během jízdy L3 na krátkých slalomových lyžích

left knee	right knee	left knee	right knee	
117,7916458	125,5473124	88,9721314	93,4456381	
114,5427123	121,5324156	88,9123008	95,0238641	
114,6231245	115,5978214	89,5536309	99,4936075	
117,6516395	112,9040896	81,6523794	102,237894	
118,5302360	111,4917025			
119,5023021	110,7530198			
120,5927891	109,7748902			
121,7500147	110,4012567			
122,5103260	112,1303689			
122,7610348	115,7060901			
124,0246522	118,7124657			
124,6423074	120,9303111			
124,8800227	120,8987864			
122,5530649	119,7723568			
121,4825378	117,2523469			
119,4400234	113,5723481			
117,2802056	108,3045167			
115,5820509	102,6421765			
115,2903486	97,3198761			
115,9803126	94,0812376			
117,9902467	92,5807893			
121,4012130	92,9812978			
124,0592371	94,7123584			
126,0724689	95,3903562			
124,9607985	96,2389512			
121,8402478	96,2004895			
118,0200470	96,4537649			
114,0384125	97,3268594			
108,5521603	98,6523976			
102,6823789	99,1142451			
97,5502275	99,8403260			
94,3312379	100,4713468			
92,4923865	101,5823004			
91,0623002	101,4323560			
90,2813005	99,9293087			
89,7326058	97,2403510			
89,8726134	95,0023641			
89,9412034	93,0326594			
90,3726135	92,1203897			
90,2534689	92,2306894			