

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Teoretická příprava pro porovnání účinnosti vybraných typů
kajakářských pádel při přímém záběru**

Vedoucí bakalářské práce:

PaeDr. Milan Bílý, PhD.

Vypracoval:

Jiří Vašina

Prohlašuji, že jsem závěrečnou bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

.....

Podpis studenta

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své bakalářské práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto bakalářskou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení

Fakulta/katedra

Datum vypůjčení

Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří především vedoucímu práce Milanovi Bílému za odborné vedení bakalářské práce.

Abstrakt

Název: Teoretická příprava pro porovnání účinnosti vybraných typů kajakářských pádel při přímém záběru.

Cíle: Cílem práce je vytvoření rešeršní práce k tématu pro zkoumání účinnosti a působení sil listu pádla pomocí průzkumu a zpracování dosavadních studií, které se na svých stránkách zabývají podobnou tematikou.

Metody: Vyhledání a zpracování zahraničních s českých zdrojů. Získání informací bylo provedené pomocí metody přímé, nepřímé a progresivní. Dle zpracovaných zdrojů je sestaven teoretický postup pro budoucí výzkum.

Závěr: Práce obsahuje zpracování zahraničních a českých studií s připraveným teoretickým základem pro budoucí výzkum.

Klíčová slova: Biomechanika, tenzometrie, slalomové pádlo, záběr, hydrodynamika

Abstract

Title: Theoretical preparation for the Comparison of efficiency of selected types kayaking paddles in forward stroke.

Objectives: Objective for this study is to make a research study for paddle blade force experiment by searching and treatment of studies which aim on similar topic.

Methods: Research and treatment of foreign and czech studies. The information has been achieved through combination of the direct, indirect and progressive methods.

Conclusion: Parts of the study contain a treatment of foreign and czech studies with theoretical preparation for next experiment.

Keywords: Biomechanics, strain gauge, slalom paddle, stroke, hydrodynamics

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Cíle a úkoly práce	5
2.1	Cíl práce	5
2.2	Úkoly práce	5
3	Metodika práce	6
4	Teoretická příprava	7
4.1	Zahraníční výzkumy	7
4.1.1	Tvary sil při pádlování v různých záběrových tempech elitních rychlostních kajakářů.....	7
4.1.2	CFD MODEL	10
4.1.3	Přístrojové vybavení listu kajakářského pádla pro výzkum interakcí mezi vodou a listem pádla.....	15
4.2	České studie	20
4.2.1	Rozbor jednotlivých druhů kajakářských pádel s využitím některých prvků biomechanické analýzy.....	20
4.3	Příprava výzkumu.....	24
4.3.1	Teoretické zázemí	24
4.3.2	Typy zkoumaných pádel	29
4.3.3	Průběh výzkumu a přístrojové vybavení.....	33
5	Diskuze a závěr.....	35
6	Seznam literatury.....	36
7	Příloha	40

Seznam zkratk

CFD – Výpočetní dynamika kapaliny.

K1 – Kategorie označující skupinu závodníků závodících na kajaku. (číslo 1 zaznamená počet závodníků sedících v jednom kajaku ve stejný čas).

C1 - Kategorie označující skupinu závodníků závodících na kánoi (číslo 1 zaznamená počet závodníků sedících v jedné kánoi ve stejný čas).

ICF – Mezinárodní kanoistická federace.

SR – Frekvence pádlování.

GPS – Globální polohový systém.

COP – střed působení tlaku.

UMPC – Ultra mobilní počítač.

1 Úvod

Od prvního slalomového závodu na divoké vodě nás dělí téměř jedno století. První uznávaný slalomovým závodem na divoké vodě, byl závod na švýcarské řece Aaře, který se konal 8. 10. 1933. V českých zemích se první slalomový závod na kajaku konal 9. května 1937 v Brně, pod stavenišťem Kníničské přehrady. Celou historickou událost kompletně popisuje první průkopník vodního slalomu u nás, František Smutný, ve 4. čísle časopisu Kánoe a kajak z roku 1935 [7].

Vybavení závodníků v první polovině 20. století, je pro dnešní vodní slalom naprosto nepředstavitelné a nevhodné neboť k prvním slalomovým závodům jsou přiřazovány klidné a rychle tekoucí řeky. Právě výše uvedený František Smutný, ve svém článku již zmíněného časopisu Kánoe a kajak, uvádí svůj první pokrokový názor, ve spojitosti s vybavením vodních slalomářů: „Chceme, aby se vyvinul ten typ lodí, který potřebuje kajakář na divokých vodách, loď, která je rychlá, stabilní, ale při tom nejlépe ovladatelná. Slalomový závod vyhraje ten, kdo je – abych tak řekl – s kajakem srostlý, rychlý v rozhodování, kdo má dobrý postřeh a kdo, ať je v jakékoliv situaci, neztrácí hlavu“ Kajaky a kánoe dosahovali bezmála pětinasobku váhy nynějších závodních modelů a jejich vývoj ušel dlouhou cestou, ke kterému přispěl a stále velkou mírou přispívá český i slovenský národ.

Není tomu tak dávno, co dvojnásobná olympijská medailistka Štěpánka Hilgertová, získala své první olympijské zlato (1996 Atlanta) na čtyř metrovém kajaku. Aby sport neztrácel sledovanost a atraktivnost, musí sportovci předvádět adekvátní výsledky. K lepším výkonům je potřeba lepšího vybavení a ve vodním slalomu tomu není jinak. Již v roce 1991 (přibližně 1 rok od založení) vyrobila společnost Galasport s.r.o. první pádlo s pěnovým jádrem, které zvýšilo pevnost a snížilo váhu listu. Avšak zásadní změna přichází přibližně deset let od získaného zlata Štěpánky Hilgertové a to v nových pravidlech vodního slalomu stanovených mezinárodní kanoistickou federací (ICF) 1.1 2005. Dosud předepsaná délka slalomových lodí, je upravená na 350cm [1].

Zásah ICF do původních rozměrů závodních kánoí a kajaků, vedl k úplné změně technického pojetí stylu jízdy. Lodě se otáčely rychleji, dráha mezi brankami se začala zkracovat a jednotlivé průjezdy závodních branek začaly být víc riskantní. Změna pojetí jízdy klade nároky na zlepšení vlastností nejen kajaků a kánoí, ale také pádel pro vodní

slalom. V kanoistice je síla, kterou vyvine sportovec, přenesená právě pomocí pádla. Následně pak pomocí hydrodynamických vztahů pádla a vody, může kanoista/kajakář udávat lodím rychlost a směr.

Sledování a pochopení vztahu mezi pádlem a vodou je důležitým faktem pro jeho následující vývoj. V oblasti rychlostní kanoistiky existuje v současné době pouze několik zahraničních studií, které se zabývají problematikou vztahů pádel, sportovce a vody.

Bakalářská práce se na následujících stránkách zabývá stručnou charakteristikou pádel pro vodní slalom, jejich dosavadním vývojem a stručným porovnáním. Hlavní část je zaměřená na zpracování výše uvedených zahraničních studií z jiných odvětví kanoistiky (dračí lodě, rychlostní kanoistika). Zpracování jednotlivých studií, slouží k teoretické přípravě zkoumání slalomového kajakářského pádla. Práce je zaměřená na vytvoření teoretického zázemí pro budoucí zkoumání působících jevů, ve vztahu pádla s vodou.

2 Cíle a úkoly práce

2.1 Cíl práce

Cílem práce je vytvoření rešeršní práce k tématu pro zkoumání účinnosti a působení sil listu pádla pomocí průzkumu a zpracování dosavadních studií, které se na svých stránkách zabývají podobnou tematikou.

2.2 Úkoly práce

Úkolem práce je prozkoumání dostupných zdrojů (zahraniční, české) a jejich zpracování. Zpracování ostatních studií umožní lépe pochopit danou problematiku a sestavit tak teoretický postup pro budoucí výzkum. Ze zpracovaných studií je vytvořen teoretický základ pro následující výzkum.

V bodech jsou úkoly sestaveny následovně:

- Prozkoumání a zpracování zahraničních a národních studií, které se zajímají o podobnou problematiku,
- ze zpracovaných studií sestavit nejlépe se hodící teoretický základ na budoucí výzkum,
- výběr vhodných pádel,
- sestavení výzkumného postupu.

3 Metodika práce

Rešeršní práce je analytickou deskriptivní studií, která zpracovává zahraniční a české zdroje v oblasti biomechaniky pádlování. Metody pro zpracování bakalářské práce jsou průzkum a výběr vhodných zdrojů s jejich následných zpracováním. Práce částečně navazuje na již provedený výzkum Mohouta, který je doplněn o poznatky a informace získaných z ostatních, níže uvedených studií. Dle zpracovaných zdrojů je následně provedené teoretické zázemí pro budoucí výzkum účinnosti kajakářských slalomových pádel [8].

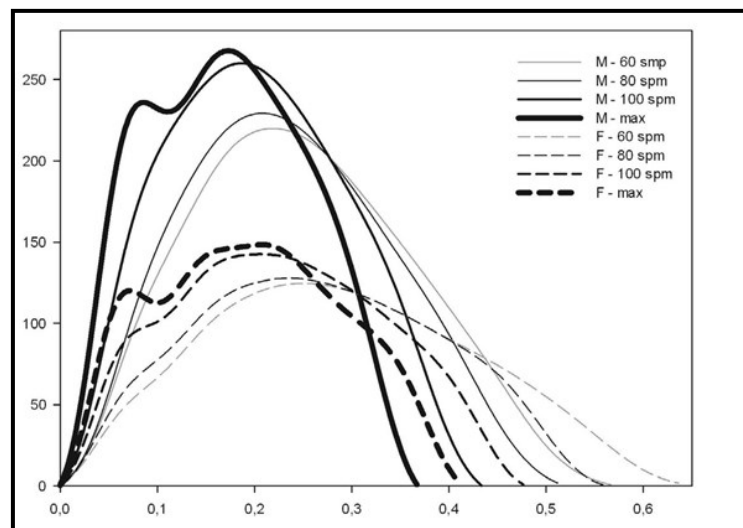
4 Teoretická příprava

4.1 Zahraniční výzkumy

Existuje pouze několik zahraničních zdrojů ve spojitosti s biomechanikou pádlování. Následující text je výsledkem jejich prozkoumání a zpracování.

4.1.1 Tvary sil při pádlování v různých záběrových tempích elitních rychlostních kajakářů

Studie je zaměřena na analýzu velikosti a tvaru křivky síly listu v rozdílných záběrových fázích a jejich přenesení pro výkon kajaku. Je testováno deset elitních kajakářů (5 mužů, 5 žen) při výkonu na 2000m ve 4 různých tempích (60, 80 a 100 záběrů za minutu, a v závodním tempu). Pádla a kajaky jsou navzájem vybavené tenzometry a tachometry. V tréninkovém tempu je síla znázorněna v grafu jako křivka ve tvaru zvonu. Závodní tempo je pak znázorněno tlustší čarou, pro které je charakteristický mírný pokles výkonu, po dosažení prvního vrcholu, s následným vzestupem a dosažení maximálního bodu působící síly. Jak lze vidět na obrázku č. 1. Pro zjištění vlastností působících sil je nutné, aby měření probíhalo v momentě, kdy se kajakáři snaží, dosáhnou maximálního výkonu (trénink simulující maximální výkon, závody) [3].



Obrázek 1- Průběh působení síly na listu pádla [8].

4.1.1.1 Postup měření

Rychlostní kajakáři provádí 4 pokusy sprintů na 200m. Každý pokus zahrnuje jiné tempo pádlování (označené jako SR – stroke rate) 60, 80, 100 (počet záběrů za minutu) a závodní tempo. Závodní tempo si určí každý testovaný jedinec libovolně, dle svého uvážení. Mezi jednotlivými pokusy je pětiminutová pauza. Testovaní jedinci dostávají přesné instrukce tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího výkonu v jednotlivých pokusech. Každý pokus začíná s určenou rychlostí závodního kajaku, která nabývá hodnoty $2,87 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (pro tuto rychlost je charakteristická velmi nízká intenzita pádlování). Na určený povel, závodník zahájí pokus. Veškerá získaná data jsou zaznamenána na klidné vodě bez okolních proudů a s maximální rychlostí větru pod $0,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. (rychlost odpovídá klidným povětrnostním podmínkám na Beaufortově rovnici) [3].

4.1.1.2 Přístrojové vybavení [3]

Vybavení testovacích jedinců je nutné opatřit několika přístroji, které umožní správné provedení testu a získání a zpracování jednotlivých dat.

Pro správné udržení tempa SR, je kajak vybaven metronomem. Metronom je nastavený na jednotlivou frekvenci SR a umožní tak sportovci lépe kontrolovat tempo. Pro udržení správné rychlosti, má sportovec k dispozici hodinky s GPS navigací, které mu ukazují aktuální rychlost.

Pro získání dat je pádlo závodníka vybaveno systémem „FPaddle“ a na kajaku je umístěný tříosý akcelerometr - přístroj ke zjištění zrychlení (G-link-mXRS, Microstrain, Williston, VT). Akcelerometr je umístěn uvnitř kajaku a je připojený na hlavní lištu pro zatížení v rovné poloze (rovnoběžně s plochou, na které je umístěna sedačka).

Systém „FPaddle“ se skládá ze senzorů snímajících deformační účinky v průběhu pádlování, silový transduktor, rádiového vysílače a přijímače a softwarem na zpracování signálů (Node Commander 2.4.0, Microstrain, Williston, VT). Na žerdi pádla jsou umístěny dva tenzometry, které jsou určené pro sběr dat z kompozitních materiálů (HBM, Darmstadt, Germany). Připevnění tenzometru přímo na žerď pádla zajistí, že nedochází ke sběru chybných dat. Oba tenzometry jsou situovány stejnoměrně, podélně 80 cm od hrotu listu pádla tak, aby byly schopny reagovat na ohyb žerdě v jedné rovině (rovina je rovnoběžná s největší plochou listu pádla). Dále

jsou tenzometry pomocí drátů připojeny k uzlům napětí V-Link-mXRS (Microstrain, Williston, VT).

4.1.1.3 Kalibrace [3]

Před zahájením testu je nutné provést kalibraci jednotlivých přístrojů. Kalibrace slouží ke zvýšení přesnosti získaných dat.

Kalibrace systému je provedena pomocí statického zatížení pádla. Velikost zatížení je zpočátku 5kg a postupně se po 5kg zvýší až na 30kg. Nastavení pádla probíhá následujícím způsobem:

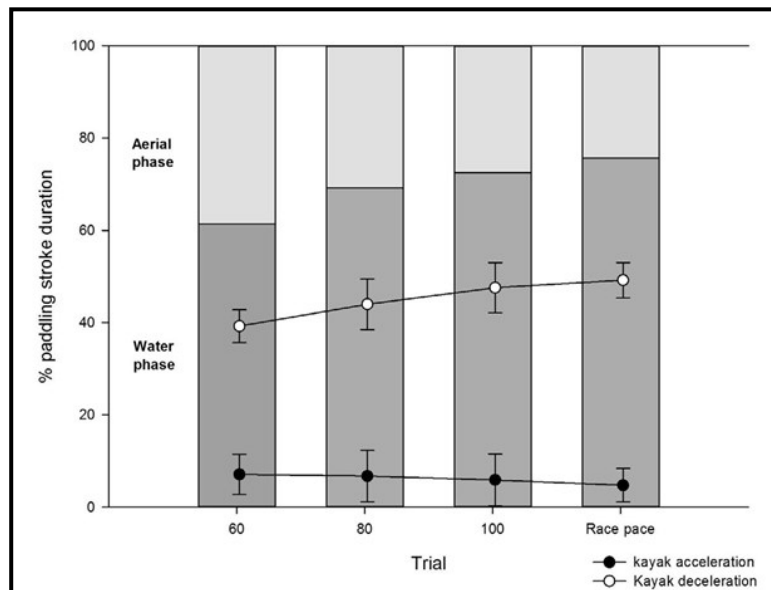
1) Jedna podpěra je umístěna na pravé straně v místě, kde závodník drží pádlo (třetí prst),

2) další podpěra je umístěna ve středu levého listu (předpokládá se, že síla bude vznikat ve středu listu – hypotetický střed působení hydrodynamického tlaku) a,

3) odlišné zatížení je umístěno v místě, kde závodník drží pádlo levou rukou (třetí prst). Nastavení probíhá pro obě strany pádla.

4.1.1.4 Výsledky

Je zjištěno, že při záběru dochází ke změnám v profilu síly. Dráha a tvar se mění v závislosti na změně tempa SR obrázek č. 2. Se stoupajícím tempem SR, křivka síly na začátku záběrové fáze vzrůstá. Zároveň dochází ke snížení času působení síly. U obou testovaných skupin lze vidět, že při závodním tempu dojde po dosažení prvního vrcholu k mírnému poklesu působení síly, které je následováno vzrůstem, až do jejího maxima. V jednotlivých pokusech je odhalen významný vztah mezi rychlostí a maximální/průměrnou působící silou. Při provádění porovnávání mezi jednotlivými testy, se hodnota impulsu síly nijak zvlášť nemění. Nicméně vztah mezi jednotlivými pokusy ukazuje, že větší průměrnou rychlost získá závodník, který má větší impuls síly [3].



Obrázek 2 - Průběh záběrové fáze a fáze přenesení listu pádla [8]

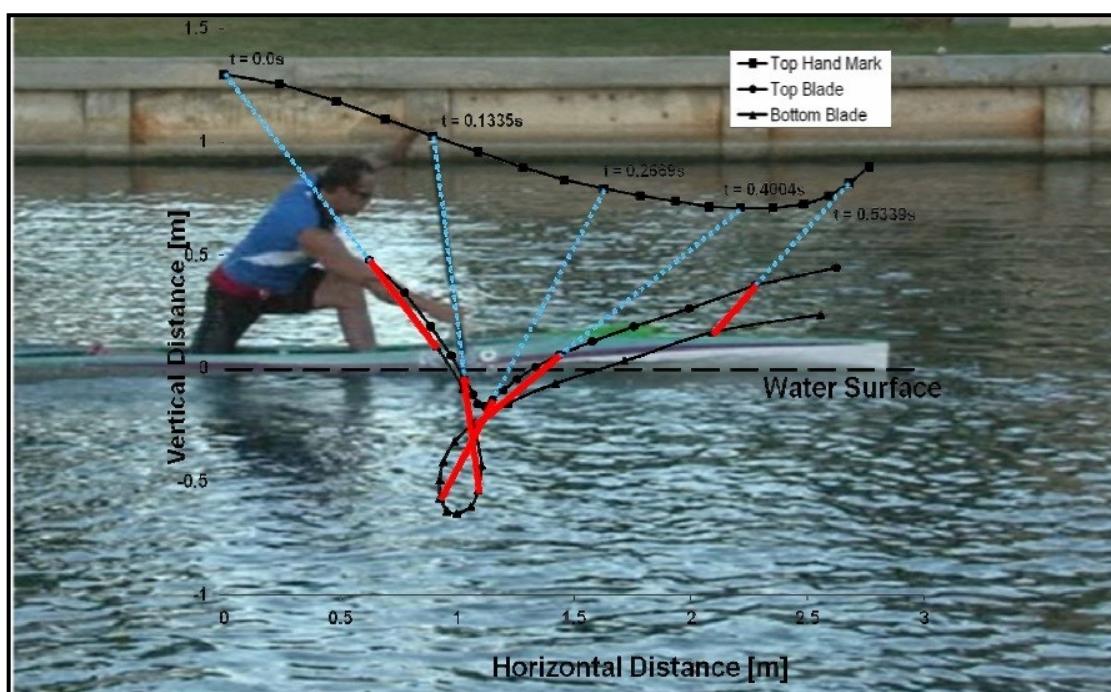
4.1.2 CFD MODEL

Kanadská mezinárodní asociace sportovního inženýrství sestavila hydrodynamický model (CFD) záběru kanoistických rychlostních pádel. Model je sestaven pro všechny fáze záběru (fáze zasazení a záběrová fáze). Všechny záběrové fáze, včetně ostatních pohybů pádla, jsou zaznamenány pomocí videa [9].

Zkoumání trajektorie pádla ve vodě a souvisejících hydrodynamických vlastností kolem listu pádla odhaluje přední a boční víry a jejich vzájemné působení na list pádla. Při zkoumání lze v pozdní fázi zasazení vidět interval obráceného toku a tlaku, vznikající na konci listu, který se projeví jako odporový tlak na ploše listu. Při měření na vodě se využívá pádlo vybavené více tenzometrickými senzory. Tato úroveň měření ohybového momentu umožní sledování reálného středu síly v listu pádla a určení skutečné síly odporu listu ve vodě, působící na list v průběhu záběru [9].

4.1.2.1 CFD model

Proudící voda okolo kanoistického listu (konkrétně kategorie C1 muži, sprint na 200m), je zkoumána pomocí modelu CFD. Měření zatížení listu prováděné na vodě není prováděno ve stejný čas, jako měření trajektorie pádla, ale je prováděné později za mnohem nižšího záběrového tempa a rychlosti kajaku (nevyužívá později zaznamenané video, které záběr zachycuje s vysokou věrohodností). Vzhledem k velkým rozdílům pádlovací frekvence, mezi měřením, nelze srovnat výsledky modelu CFD a měření na vodě [9].



Obrázek 3 - Sním záběrové fáze pořízený z videoanalýzy [9]

	CFD	Měření na vodě
Výška sportovce	1,75m	1,83
Typ pádla	Braca Canoe Extra Wide (šířka 24 cm, délka 1,69m)	Braca Canoe Extra Wide (šířka 24 cm, délka 1,75m)
Počet záběrů	76/min	35/min
Rychlost lodě	5,16 m/s	3,5 m/s

Tabulka 1- Základní údaje při CFD modelu a měření na vodě[8].

4.1.2.2 Video analýza

Průběh záběru dvou rychlostních kanoistů je zaznamenán pomocí video analýzy. Z video analýzy lze určit na pádla dva body, které při záběru vykreslí jeho dráhu (jak lze vidět na obrázku č. 3). Pozice dvou určených bodů na žerdi pádla je stanovena pomocí skutečné vzdálenosti mezi těmito body a určí úhel rotace mimo rovinu, který následně určí pozici listu ve vertikální rovině. Na obrázku níže lze vidět snímek pořízený z videa, na kterém je znázorněna dráha listu pádla. Na snímku lze zřetelně vidět zasazení listu pádla do vody (čas $t=0,02$) a táhnutí listu pádla ve vodě (čas $t=0,13 - 0,27$). K přesnějšímu orientačnímu určení dráhy listu pádla je také nutné provést úpravu, v důsledku ohýbání žerdi pádla při záběru. Ve fázi zasazení ($t=0,08$) dochází kvůli předpokládaného zatížení 160N k ohnutí žerdi pádla, které se oproti klidové fázi (fáze kdy pádlo neprovádí žádný pohyb) projeví jako odchylka ve vzdálenosti (2,7cm), tak v úhlu ($3,0^\circ$) listu pádla. Výše zmíněné zatížení bylo aplikováno před CFD simulací a není použité v jakémkoliv následujícím měření [8].

4.1.2.3 CFD Metodologie

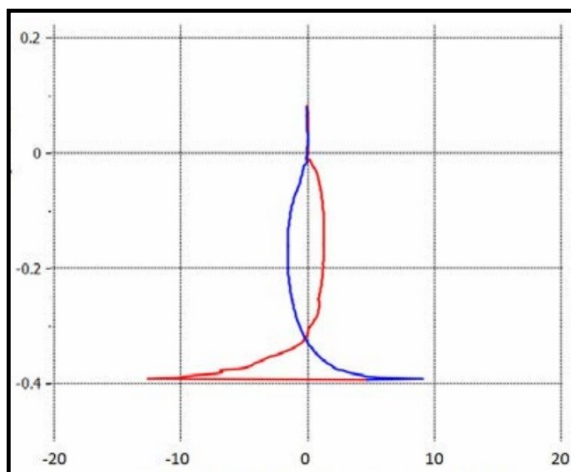
Je provedená 3D CFD simulace proudění okolo pohybujícího se kanoistického listu. Polokulovitá (využívá vertikální, souměrnou rovinu listu) výpočetní část je rozdělena na dvě další pod části. Vnitřní otáčivou část (průměr 12,5m) a vnější statickou část (průměr 20m), jak lze vidět na obrázku č. 4 Vnitřní část, která má relativně pevnou síť vzhledem k listu pádla a je dostatečně velká na to, aby zachytila většinu proudění spojeného s listem pádla, se přenáší a otáčí pomocí předem stanovené dráhy listu získané z video analýzy. Geometrie tvaru listu je shodná s tvarem listu, který používá sportovec při určení dráhy: Braca Extra Wide, 5mm plochý tvar se zkosenou horní a boční hranou. Soubor vybavený mezními buňkami se používá na povrchu listu s nepravidelně strukturovanou hrubou čtvercovou sítí, mimo povrch listu ve zbývajících vnitřní oblasti. Buňka vnější oblasti se mění v podle změny x a y vnitřní oblasti. Je provedeno několik rozsáhlých testů výše zmíněných buněk, které odpovídají adekvátnímu síťovému rozlišení [9].

4.1.2.4 Měření na vodě

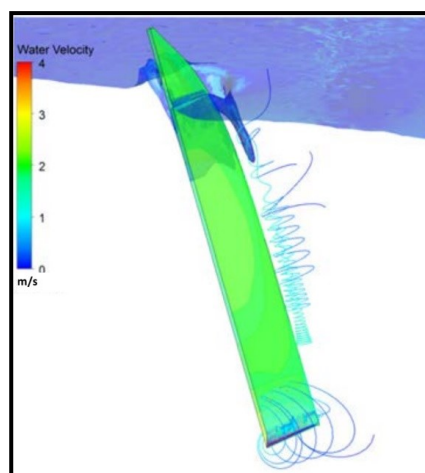
Jak je již napsáno na stránkách výše, měření na vodě probíhá v jiném časovém horizontu než video analýza použitá v CFD modelu. Opět měření probíhá při pádlování kanoisty reprezentačního družstva do 23 let s pádlem Braca Extra Wide. Frekvence

pádlování a síla dosahují v testovacím tempu nižších hodnot než při tempu závodním (tabulka č. 1). Síly, které působí na žerď pádla, jsou vzhledem k nízkým předpokládaným hodnotám zanedbány. Po prozkoumání modelu CFD lze předpokládat, že veškeré síly působí na plochu listu [9].

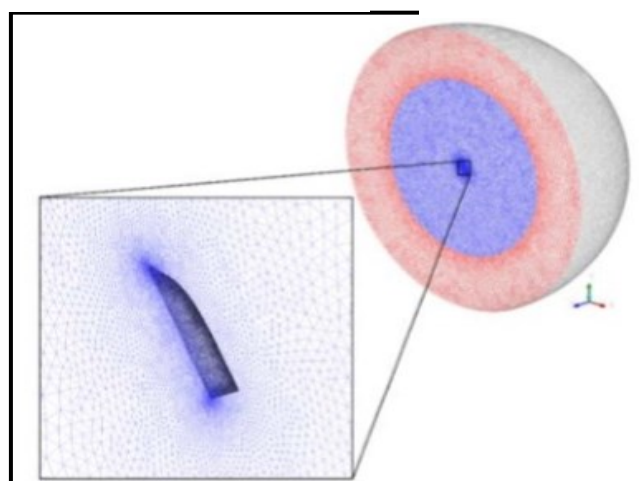
Žerď a list pádla si lze představit jako sestavu ohýbající se ve třech bodech. Poloha horní ruky je fixována k hlavičce pádla zatímco spodní ruka je fixována v místě úchopu (třetí prst) se vzdáleností 87,5cm od vrchního konce žerdi. Při výše uvedeném bodovém sestavení se předpokládá, že nastane drobná chyba v měření, která se během záběru projeví jako změna ve středu působení síly (posunutí několik cm) [8].



Obrázek 6 - Působení tlaku na list pádla[9].



Obrázek 5 – Výsledek modelu CFD [9].

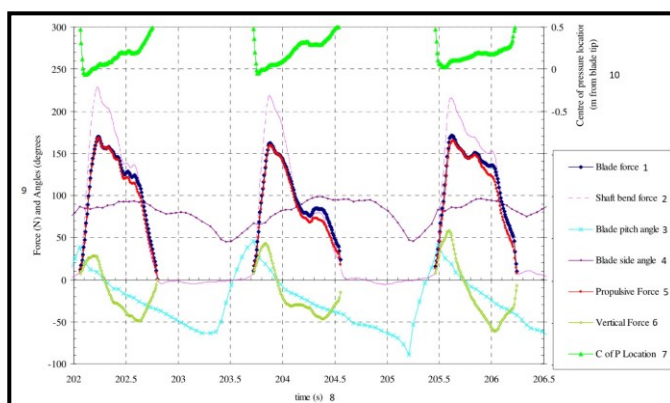


Obrázek 4 - Nestrukturovaná čtvercová síť s hexahedrální buněčnou vrstvou okolo listu [9].

Dráha zaznamenané síly působící na listu pádla je velmi závislá na středu jejího působení. Střed působící síly je možné určit až po tenzometrickém měření, které je provedené pomocí čtyř tenzometrů umístěných na žerdi pádla, přičemž dva z nich jsou umístěné mezi spodní rukou a spojem listu pádla s žerdí. Pro zjištění tuhosti pádla, zejména listu a jeho spoje s žerdí, je provedená podrobná kalibrace. Úchop spodní ruky předpokládá vyskytnutí specifického problému, a proto se k zaznamenání využívá metoda malých čtverců, která se dokáže přizpůsobit naměřeným kalibračním datům. Při měření síly působící na list pádla, se předpokládá s přesností její velikosti $\pm 10\text{N}$ a umístěním středu $\pm 1,8\text{cm}$. Pro určení směru působení síly se využívá tříosý gyrometr, tříosý akcelerometr a tříosý magnetometr [9].

Výsledek změny středu působení tlaku (COP) lze vidět na obrázku č. 7, který zobrazuje příklady tří záběrů v nízkých hodnotách frekvence pádlování 36/min, energie a rychlosti lodě (3,1 m/s). Ve fázi zasazení listu pádla do vody, rapidně vzroste síla, která na něj působí (až do jejího maxima), zatímco COP zůstává na nebo poblíž hrotu pádla. Podobný výsledek lze vidět u modelu CFD. Síla ohybu žerdi pádla je mnohem větší než skutečná síla na listu pádla [9].

Síla působící na listu začíná klesat ve fázi, kdy list pádla dosáhne maximální hloubky, na konci záběrové fáze (list se přestane pohybovat směrem dopředu) a je tažen téměř za záda. Kvůli přechodu mezi rotací a tažením listu se COP posouvá přibližně do středu listu. Pokles působící síly ukazuje daleko větší odchylky než maximální síla ve fázi zasazení listu pádla do vody, která byla relativně stejná v rámci sérii záběrů. Lze konstatovat, že je to bod, ve kterém technika, rotace listu a změny umístění COP mají významný dopad na propulsivní sílu. Ve fázi vytažení listu pádla z vody a jeho přenosu k zahájení dalšího záběru, jsou síla na listu pádla a umístění COP relativně stejné [9].



Obrázek 7 - Výsledky měření na vodě [9].

Je také udělán vertikální a propulsivní rozklad síly působící na listu pádla, založený na vstupu listu do vody, který lze vidět na obrázku č. 7. Očekává se, že ve fázi zasazení a v počáteční fázi přechodu do záběrové fáze, se vyskytuje silná vertikální síla. Síť vertikálně působící síly je v průběhu záběru sestupná [9].

4.1.2.5 Závěr

Je sestaven CFD model pro proudění vody okolo kanoistického listu s plnou úpravou dráhy listu a vzdušně – vodní volné plochy. Nakonec je simulace omezená na fázi zasazení listu pádla do vody a záběrovou fázi, kde list pádla zůstává ve svislé rovině. Dráha listu je zjištěna pomocí video analýzy reprezentačního rychlostního kanoisty. Nicméně simulace využívá pouze jednoho probanda jedné dráhy záběru, který byl objasněn dříve, než bylo provedené měření na vodě. Přímé srovnání výsledků modelu CFD a měření na vodě není možné provést z důvodu rozdílného tempa pádlování (CFD – závodní tempo, měření na vodě – pomalejší, tréninkové tempo).

Přístrojové měření záběru je navrženo tak, aby bylo možné změřit, kromě ohybu žerdě pádla, také střed působení síly na listu pádla. Je zjištěno, že od zasazení listu pádla do vody, až po ukončení záběrové fáze (zahájení vytažení listu pádla z vody), se střed působení tlaku pohybuje od hrotu listu pádla až do jeho středu. Zjištění skutečného středu působení tlaku odhalí skutečné působení síly v listu pádla. Výsledky zkreslují jednoduchá měření ohybu žerdě pádla s předpokládanou působící silou. Momentálně se pracuje na vylepšení systému pomocí upravených akcelerometrů s již použitými akcelerometry připevněnými na závodní lodi, k docílení přesnější představě o pozici pádla vůči lodi [9].

4.1.3 Přístrojové vybavení listu kajakářského pádla pro výzkum interakcí mezi vodou a listem pádla

Studie je zaměřená na zkoumání hydrodynamického tlaku, který se vyskytuje při přímém záběru na klidně vodě. Výzkum se provádí při tréninku a vede k ohodnocení pádlovacích techniky testovaných jedinců. Na konec listu pádla je umístěn voděodolný senzor síly tak, aby docházelo k minimální změně vůči tvaru listu. Mezi další použité

měřicí zařízení patří: Akcelerometr, který je umístěný na kajaku a slouží k měření jeho zrychlení; E-textil (oděv vybavený senzory měřící napětí), který monitoruje techniku paží. Všechny uvedené zařízení jsou synchronizovány ve společném bezdrátovém systému pro sběr dat. Provádí se měření veškerých dat techniky pádlování, mezi které patří počet záběrů, doba provádění záběrů, hloubka ponoření listu do vody a symetričnost jednotlivých záběrů. Pomocí měřících senzorů umístěných na listu pádla, nelze měřit přesné působení síly, ale zařízení umožní přínosné synchronizované měření času aktivního záběru. Výše zmíněné měření pomůže lépe charakterizovat techniku pádlování [5].

4.1.3.1 Úvod

Dříve, v 80. letech dvacátého století, používali rychlostní kanoisti ploché listy a dřevěné závodní lodě. Protože pozdější návrhy kajaků a pádel získávali větší přízeň, začali kanoisti usilovat o vylepšení jejich vlastností. Například pádla změnila svůj typický list ve tvaru křídla (wing blade) na list, který používají profesionální závodníci doted' a má tvar připomínající vrtuli. Matematické modely naznačují, že různé listy mají odlišnou účinnost. Pro představu list ve tvaru křídla má o 15% větší účinnost než běžný plochý list (wing blade 89%; plochý list 74%). Probíhající změny designu ve sportovním vybavení vedou ke změnám techniky pádlování. Pro charakterizování techniky pádlování byly často vyžadovány speciální testovací prostředí a procedury. Vzhledem k neustálým změnám ve vybavení a problémech v terénním měření, se biomechaniku a účinnost individuální techniky pádlování nedaří jednoznačně určit. Tento fakt vede k určitým pochybnostem ve smyslu trenérské strategie [5].

Úkolem studie je zhotovit ponorný silový senzor, který je možné upevnit na list pádla. Senzor by měl být schopný měřit hloubku ponoření listu pádla, čas záběrové fáze (doba listu ve vodě) a záběrovou sílu v terénním nastavení ve spojení s ostatními měřicími zařízeními [5].

4.1.3.2 Výzkum

Složitost kajakářského listu pádla a jeho interakce s vodou napovídá, že není možné explicitně určit požadavky na vlastnosti, které by měl mít ponorný měřicí senzor. Vrcholoví rychlostní kajakáři jsou schopni vyvíjet průměrnou tahovou sílu až 400N a impuls síly 100N*s na vzdálenost 1000m. Maximální síly mohou při startu dosahovat velikosti přes 800N na jednotlivé záběry. Z tohoto důvodu lze očekávat, že na list

velikosti cca. 400mm * 250mm bude působit maximální tlak o velikosti až 8kPa. Dále lze očekávat, že hydrostatický tlak na hrotu plně ponořeného listu pádla (hloubka ponoření dosahuje přibližně 400mm) bude dosahovat velikosti přibližně 4 kPa (sladká voda o teplotě 20°C). Z výše zmíněných důvodů a nutnosti minimálního narušení pádla, je vybrán silový senzor Flexiforce model A201-01, který je charakteristický nízkým profilem a flexibilitou. Senzor se dokáže přizpůsobit tvaru listu pádla. Senzory měřící tlak jsou vytvořené umístěním Flexiforce 11b-f senzorů mezi precizně vyrobený disk a referenční podložku (např. list pádla nebo pravítko). V tomto ohledu jsou senzory připravené zkoumat oblast, která již byla zkoumána i v ostatních studiích [5].

Kalibrace modifikovaných Flexiforce senzorů je provedená pomocí „dip testu“, který zahrnuje instalaci senzorů s destičkou o průměru 19mm na plastové pravítko. Celá sestava je následně ponořená do vody s konstantní teplotou a známou hloubkou ponoření. Je také provedená zkouška senzorů měřících senzorů, která spočívá



Obrázek 8 - Měřící systém měření na vodě při testování amatérského kajakáře [5].

v ponoření sestavy do vody s různou teplotou od 15°C do 30°C. Je vybrán pouze zlomek senzorů, které se připevní na kajakářský list pádla a budou používány v terénních pokusech [5].

Vysvětlivky obrázku č. 8: 1.- e-textil přenosné zařízení. 2.- UMPC. 3.- Lodní akcelerometr. 4.- Přenosné zařízení dat pádla 5.- Pravý senzor listu pádla. 6.- Pravý e-textil senzor ramena.

V průběhu pádlování jsou vybrány různé oblasti a místa pro umístění senzorů, které vede prozkoumání citlivosti upravených senzorů. Měření hloubky listu pádla,

trvání záběrové fáze a síly vznikající při záběru, probíhá zprvu kombinací dvou různě umístěných senzorů, které přijímají odezvu průzkumných senzorů. Například, jeden senzor (poloměr 18mm) je umístěný směrem k nižšímu okraji listu pádla a druhý senzor (poloměr 50mm) je umístěn blíže k žerdí pádla. Voděodolnosti senzorů je docíleno jeho umístěním do plastové membrány a jsou prodlouženy pomocí kabelů, které vedou do středu žerdě pádla. Ve středu pádla se senzory napojují na speciální bezdrátovou Bluetooth jednotku s obvody nastavenými podle potřeb senzoru Flexiforce s 8-bit sběrem dat v 250Hz. Typickou měřicí sestavu na listu pádla lze vidět na obrázku č. 8 a 9 [5].



Obrázek 10 - Přístrojové vybavení listu pádla [5].



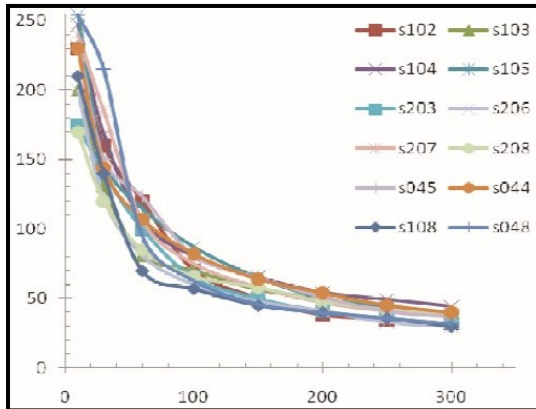
Obrázek 9 – Přístrojové vybavení listu pádla [5].

Přístrojově vybavené pádla jsou použité v několika testovacích sériích pádlování na klidné vodě. Testování provádí amatérský a závodní kajakář. Záznamový systém, který se používá při pádlovacím testu, zahrnuje kromě pádla také: Tří osý akcelerometr (+/- 3g), který je umístěná na palubě kajaku; Oblečení vybavené elektrickými senzory, které jsou umístěné v oblasti ramen. Všechny měřicí sestavy jsou pomocí Bluetooth připojené do přenosného počítače UMPC (Viliv XC70) s uzpůsobeným záznamovým softwarem National Instruments LabVIEW, který se systémem Windows XP spolupracuje. Veškeré vybavení je proti vodě chráněno plastovými lepicími páskami a těsnícími sáčky. Na obrázku č. 10 lze vidět sestavu všech tří měřících systémů [5].

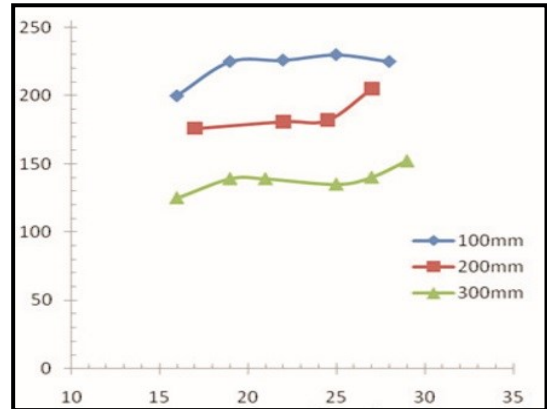
4.1.3.3 Výsledky a diskuze

Kalibrování senzorů Flexiforce model A201-01 pomocí hydrostatického tlaku (hloubky), odhalí mezi senzory zásadní odchylky při působení nízkého tlaku (mělká ponoření). Proto je nutné určit konkrétní senzory pro měření na vodě. Zabezpečení senzoru pro vodě má také vliv na odezvu senzorů (možná v závislosti na změně tlaku vzduchu při přikrytí). Je dosaženo následujících, různých pokusných metod, které jsou

pevné a stabilní v průběhu změny teploty, která nabývá hodnot, očekávaných v Australských vodách [5].

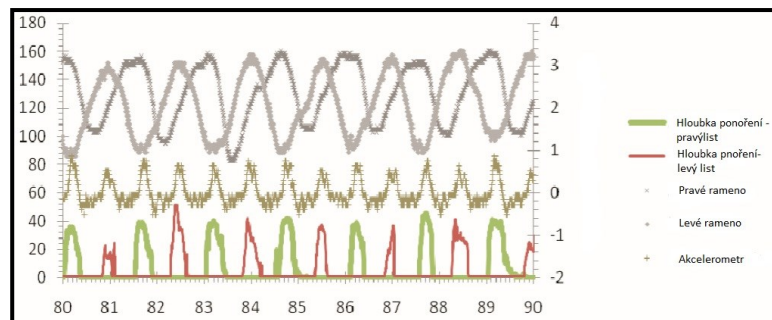


Obrázek 12 - Kalibrace senzorů ve vodě [5]

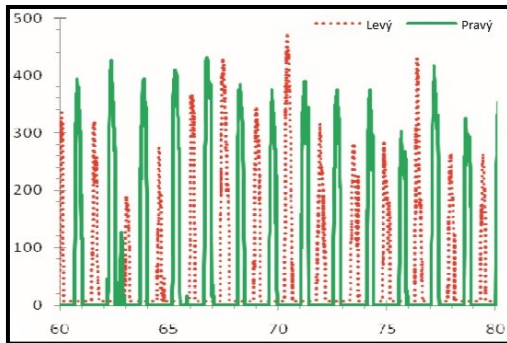


Obrázek 11 - Stabilita senzorů při různých teplotách a hloubce ponoření listu [5].

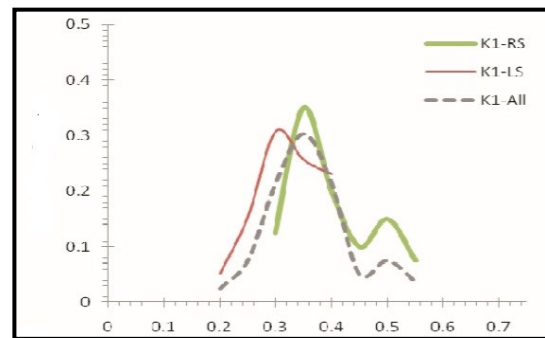
Dříve, než je test v terénu zahájen, je provedena poslední přístrojová kalibrace, ponoření každého listu pádla do vody. Na grafu zobrazeném na obrázku č. 13 lze vidět vykreslení působení různého tlaku na list pádla, který vzniká při pádlování amatérského kajakáře v záběrovém tempu 84 SR. Výsledky ukazují, že hydrostatický tlak je dominantní a pro rozlišení dalších variací hydrodynamického tlaku, je nutné provést další výzkum. Na kajakářích je obvykle pozorován plně ponořený list pádla (přibližně 400mm) a změny působícího tlaku. Změny v tlaku, který působí na list při jednotlivých záběrech, mohou být způsobeny odlišným úhlem ponoření pádla do vody nebo působením jiné záběrové síly. Výsledkem tedy je, že není možné přesně porovnat dráhu působícího tlaku mezi po sobě jdoucími záběry, levou nebo pravou stranu a mezi kajakáři. Čas listu pádla v záběrové fázi, který je zjištěný pomocí tlakového senzoru na listu pádla, umožní vzorovou charakteristiku techniky pádlování pro levou a pravou stranu. Čas ponořeného listu při záběrové fázi i amatérského kajakáře odhalí, že záběry na pravé a levé straně jsou asymetrické s různou délkou jejich pobytu ve vodě [5].



Obrázek 13 - Průběh měření na vodě [5].



Obrázek 14 - Tlak působící na senzor listu pádla při pádlování [5].



Obrázek 15 - Průběh levého (LS) a pravého (RS) záběru[5].

Na obrázku č. 15 lze vidět záznamový graf typických dat, získaných z měřicího systému na vodě. Změření času pomocí tlakového senzoru na listu pádla, určuje klíčovou výkonnostní metriku, která je odvozená od dalších synchronizovaných měření výkonu. Zejména odhalení metriky levých a pravých záběrů. Porovnání výsledků měření výkonu amatérského a vrcholového kajakáře, je zobrazeno na obrázku č.20, které jsou součástí přílohy [5].

4.1.3.4 Závěr

Senzory měřící tlak na listu pádla neumožní s přesností určit velikost a směr působící síly. Nicméně zaznamenají čas záběrové fáze, který společně s ostatním synchronizovaným zařízením umožní užitečnou charakteristiku techniky pádlování [5].

4.2 České studie

V České republice existuje pouze jediná studie, která se zabývá výzkumem kajakářských slalomových pádel.

4.2.1 Rozbor jednotlivých druhů kajakářských pádel s využitím některých prvků biomechanické analýzy

Diplomová práce se zabývá zkoumáním tří typů kajakářských pádel a techniky pádlování reprezentantů ČSFR s využitím některých prvků biomechanické analýzy. Výzkum probíhá kombinovaným sledováním videa (video záznam pádlování) a snímače síly na pádle [2].

Cílem práce je: Pomocí uvedené techniky výzkumu zjistit výhody a nevýhody použitých druhů pádel, včetně rozboru techniky jednotlivých reprezentantů a zároveň jak významný vliv má pádlo na rychlost slalomového kajaku [2].

Úkoly studie jsou předem stanovené takto:

- Porovnat tvary zkoumaných pádel,
- materiálově a organizačně zajistit měření,
- provedení měření
- vyhodnocení výsledku

4.2.1.1 Teoretická východiska

Před zahájením plnění výše uvedených úkolů, je nutné provést teoretický základ pro pochopení základních pohybových rovnic a veličin týkajících se pádlování. Zejména těch, které se objeví v následném zkoumání. Výsledkem teoretického východiska je početní operace umožňující výpočet účinnosti jednotlivých typů pádel, díky které je pak následně možné jednotlivá pádla porovnat [2].

4.2.1.2 Materiálové složení kajakářských pádel

Po pochopení základních vztahů, rovnic a veličin, se studie Mohouta zabývá materiálovým složením kajakářských pádel. Technologie a materiály pro výrobu pádel se neustále mění. Upustilo se od výroby dřevěných pádel a výroba je zaměřená na zpracování umělých tkanin (kevlar a karbon), které dosahují daleko lepších vlastností (pevnost, pružnost, trvanlivost, váha) [2].

Materiál pro výrobu žerdí (v době sepsání studie, rok 1992) může být tvrzený dural nebo kevlar - uhlíková tkanina. Mezi hlavní přednosti duralových žerdí patří především její výrobní náklady. Pořizovací cena je tak daleko nižší, než cena žerdě vyrobené z kevlar - uhlíkové tkaniny. Výhodou kevlar – karbonových žerdí je jejich váha a pevnost. Z tohoto důvodu jim dávají vrcholoví závodníci přednost. Výrobní postup při výrobě rovných nebo tvarovaných žerdí je stejný [2].

Výrobní materiál listů pádla je téměř shodný s výrobním materiálem žerdí. Nicméně pro dosažení vyšší pevnosti je mezi vrstvy kevlar – uhlíkové tkaniny umístěná speciální pórovitá hmota (sendvičová výroba). Tato hmota vytvoří zpevňující žebro v celé ploše lopatky. V části lopatky, na kterou se nasouvá žerd' pádla je umístěn dřevěný nebo duralový trn, který plní funkci vyztužení (vysoce namáhané místo).

Do konce listu pádla (hrotu) je zaminován duralový plech, který má ochranou funkci vůči okolním jevům (odpichy pádla, nárazy na dna řek atp.) [2].

4.2.1.3 *Tvary jednotlivých typů pádel*

Účinnost listů pádel je dána hydrodynamickými ztrátami v průběhu pádlování. S velikostí listu pádla roste i vynaložená síla na její pohyb ve vodě. Větší listy snižují dynamiku záběru a frekvenci pádlování. Celková obratnost je pak složitější a vyžaduje větší fyzickou připravenost závodníka. Tvar listu je charakteristický „lžícovým“ prolnutím, díky kterému se síla vody sbíhá do jejího těžiště a tím se plocha listu stabilizuje. V dřívějších dobách byli oba listy pádla symetrické. Nyní se používá nesymetrický tvar obou listů, aby docházelo k rychlejšímu ponoření, plynulejšímu záběru (pokud dojde k utržení pádla, záběr ztrácí účinnost). Střed tlaku na list pádla je co umístěn co nejbliže k ose žerdě (v úchopu místě úchopu nedochází ke krutu celého pádla a případným silovým ztrátám) [2].

Tvary žerdí lze rozdělit na dva základní. Klasické rovné žerdě a tvarované žerdě. V období provádění zkoumání (rok 1992) existovaly dva typy tvarovaných žerdí. Jedním z nich je originální žerd' anglického vývoje (doubletorque). Charakteristickou vlastností pro tuto žerd' je zahnutí úchopu pádla pod úhlem 45° na list pádla. Úhly pro obě strany nejsou navzájem symetrické. Druhým typem tvarované žerdě je Ing. Lubošem Hilgertem upravená doubletorque. Oproti prvnímu typu tvarované žerdě spočívá úprava v symetrickém natočení úhlu úchopu. Výhodou tvarovaného pádla je pevné držení pádla, bez násilných vytočení zápěstí při pádlovacích a manévrovacích záběrech [2].

Úhel natočení listů je převzat z rychlostní kanoistiky, kdy má za úkol snížit odpor větru, který působí na list pracující se zpět do polohy počáteční fáze záběru. Po dlouhou dobu byl úhel natočení listů 90°. Podle držení se pádla dělí na pravé a levé. Pokud se pádlo drží pevně v pravé/levé ruce a protáčí se v levé/pravé ruce, označí se pádlo jako pravé/levé. Nyní (rok 1992) dochází ke zmenšení úhlu natočení listů, které však s sebou přináší i nežádoucí jevy v podobě těsných průjezdů branek (vrchní list má po menším natočení větší plochu a hrozí větší riziko trestného dotyku) [2].

4.2.1.4 *Experiment*

Testování probíhalo na řece Vltavě nad trojskou propustí. Dráha pro testování je určená na 50m a do experimentu jsou zařazeni tři závodníci, kteří mají shodný úhle

pádlu, délku a pevnou ruku držení pádla. Tyto podmínky zaručí u všech závodníků schopnost pádlovat s vybranými typy pádel. Kajakáři jsou členy oddílu USK Praha a reprezentanty ČSFR ve vodním slalomu. Následující tabulka č. 2 uvádí základní informace o závodnících a jejich pádlech. Úkolem kajakářů je projet 50m vzdálenost v co nejkratším čase (celkem třikrát s využitím všech vybraných typů pádel). Před provedením experimentu je provedena kalibrace senzorů umístěných na pádle. Po kalibraci je test proveden všemi kajakáři (vždy se kalibruje jen jedno měřené pádlo s následným testováním všech kajakářů) [2].

Jméno	Věk	Typ žerdě	Typ listu	Velikost listu	Úhel natočení
D. Raab	22 let	tvarovaná	symetrický	717 cm ²	69°
P. Nagy	26 let	tvarovaná	asymetrický	774cm ²	69°
P. Přindiš	31 let	rovná	symetrický	717cm ²	69°

Tabulka 2- Přehled testujících závodníků a jejich pádel. [2]

Technická část měření je zajištěná biomechanickým servisem odboru služeb Domu sportovních služeb při Československé konfederaci sportovních a tělovýchovných svazů. Video testovaného úseku je zaznamenáno videokamerou Sony, která spolupracuje se systémem video 8. Průběh síly na listu pádla při přímých záběrech je sledován pomocí tenzometrických senzorů, které jsou připevněné na vybraná pádla. Před provedením je provedena kontrolní kalibrace pro dosažení maximální přesnosti měření. Zachycené data o působící síle jsou přenesena pomocí kabelů do zesilovače a telemetrického zařízení, které jsou umístěné v kajaku. Následně je pomocí bezdrátové sítě VF signál přenesen na měřicí stanoviště a synchronně je zaznamenán společně s videem. Finálním výsledkem je sledování dvou záznamů, kde v pravé části obrazovky lze sledovat videozáznam a v levé graf vykreslující průběh síly. Čas měřeného úseku je odečítán na ručních stopkách dvou měřičů [2].

Pomocí senzorů na pádle je získán průběh síly během měřeného úseku. Ze všech naměřených záběrů (předpokládá se, že na vzdálenost 50m je závodník schopen vyvíjet ve všech záběrech stejnou maximální sílu) je vybráno pouze několik reprezentativních. Tato skutečnost urychlí celkové vyhodnocení měření a sníží jeho pracnost. Veškeré naměřené informace jsou zaznamenány na milimetrový papír.

Ze zaznamenaných impulsů je vypočítán celkový hnací impuls, který zkoumaný závodník realizoval v měřeném úseku (zvláště pro pravý/levý záběr). Chyba měření může být výsledkem nepřesné kalibrace (špatné umístění závaží ve středu tlaku vody na listu pádla) nebo odlišným držením pádla jednotlivými závodníky[2].

4.3 Příprava výzkumu

Na základě výše prozkoumaných a zpracovaných studií, je na následujících stránkách popsána podrobná teoretická příprava na budoucí výzkum kajakářských slalomových pádel.

Vzhledem k různorodosti zpracovaných studií nelze jednoznačně určit výzkum, který bude oporou pro následující postup. Ačkoliv bakalářská práce navazuje na diplomovou práci Mohouta, který se danou problematikou zabývá, postup při zkoumání kajakářských pádel využívá poznatky ze všech uvedených studií.

4.3.1 Teoretické zázemí

Stejně jak popisuje ve své diplomové práci Mohout [2], je potřeba pochopit základní vztahy a veličiny průběhu pádlování. Bez jejich znalosti nebude možné zpracovat výsledky měření. Následující řádky se zabývají vysvětlením a uvedením základních veličin a rovnic.

Základní pohybovou rovnicí pro celou sestavu sportovce a jeho vybavení (obrázek č. 16) lze vyjádřit následovně.

$$m * \frac{d v(t)}{d t} = F_v(t) - F_o(t) = F_h$$

Rovnice 1 - Obecná rovnice pro pohybovou sestavu sportovce a jeho vybavení

Kdy:

m - hmotnost sestavy (sportovec a kajak)

$\frac{d v(t)}{d t}$ vyjadřuje zrychlení sestavy

F_v - síla působící na list pádla

F_o - brzdící síla (odporová)

t - je čas

F_h – hnací síla

Odporová síla F_o je složená z odporové síly vzduchu, odporové síly vln a odporové síly vody vůči průřezu dna kajaku. Obecně lze z Newtonova odporového vzorce (rovnice č. 2) konstatovat, že odporová síla roste s rostoucí rychlostí. V případě, že rychlost závodníka nekolísá a je konstantní, jedná se o ideální stav. Nicméně tohoto stavu nelze dosáhnout z důvodu časové prodlevy mezi ukončením záběru na jedné straně a začátku záběru na straně druhé [2].

$$F = \frac{1}{2}C\rho sv^2$$

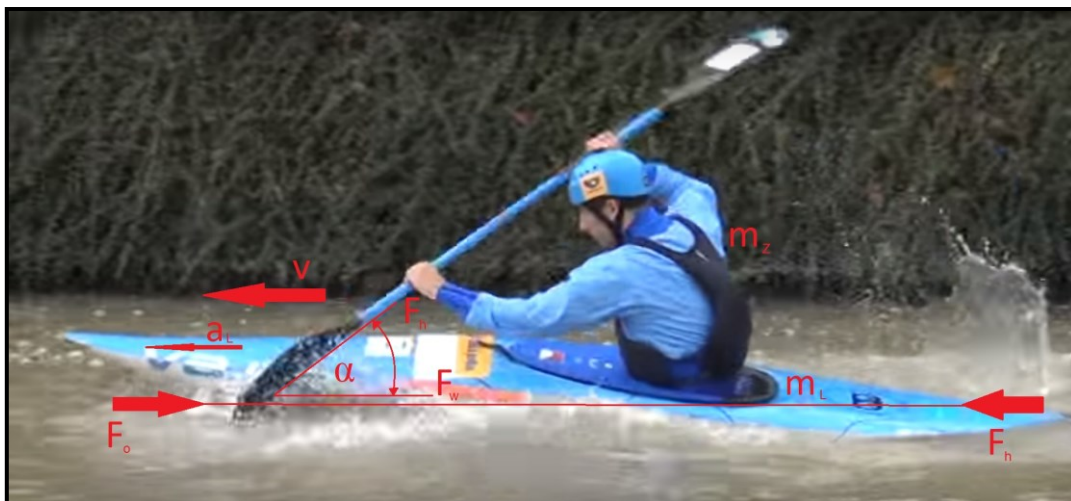
Rovnice 2- Newtonův odporový vzorec

Dle práce Hoffmana [6] lze naznačit působící síly a základní veličiny vznikající v průběhu pádlování. Síly, které závodník vyvine pro držení pádla, jsou silami vnitřními a nemají vliv na pohyb soustavy. Z toho důvodu je lze v předpokladu a měření zanedbat. Z nákresu (obrázek č. 16) je zřejmé, že síla na listu pádla je hlavní hnací silou celé soustavy. Testování pádel probíhá při přímých záběrech. Z tohoto důvodu lze uvažovat, že pohyb soustavy bude přímočarý ve směru podélné osy kajaku a hnací síla je složkou dvou sil, která je daná rovnicí [2]:

$$F_h = F_w * \cos \alpha$$

Rovnice 3 - Vyjádření hnací síly

Úhel α je na obrázku č. 16 znázorněn pouze v horizontální rovině. Nicméně při reálném záběru je úhel prostorový. Ke změně úhlu v horizontální rovině dochází v důsledku posunu těžiště předozadním pohybem. Předozadní pohyb těžiště má za následek „houpání“ kajaku, které je pro kajakáře nežádoucím jevem v důsledku zvětšení odporu. Ideální stav nastává tehdy, když je poloha těžiště statická a neměnná. Pokud se úhel α zvětší v rovině vertikální, dochází k vychýlení kajaku z přímé osy pádlování (otáčení) a ke snížení účinnosti záběru. V ideálním případě je úhel α ve vertikální rovině roven nule a veškerá vyvinutá síla je tak využita k pohonu kajaku [2].



Obrázek 16 - Znárodnění hybné sestavy na reprezentantovi ve vodním slalomu

Veličiny na obrázku č. 16:

m_z – hmotnost závodníka,

m_L – hmotnost kajaku,

F_w – síla záběru vody na listu pádla,

F_h – hnací síla působící na kajak,

F_o – odporová síla působící na kajak,

a_1 – zrychlení kajaku,

α – úhel záběru v horizontální rovině.

Z rovnice č. 1 lze vyvodit zjednodušený stav:

$$F_h = F_v - F_o$$

Kde síla F_v vyjadřuje sílu působící na list pádla a je dána třemi proměnnými:

- 1) Silové schopnosti závodníka (fyzické předpoklady, somatotyp atp.),
- 2) technika pádlování závodníka,
- 3) kvalita pádla.

Dle rovnice č. 2 je zřejmé, že výše zmíněné proměnné výrazným způsobem ovlivňují účinnost záběru při pádlování. Pro vypočítání účinnosti záběru je nutné pochopit následující veličiny [2]:

$F \sim k * S_0 * v_2$, kde:

F – působící síla na pádlo,

k – konstanta, která je závislá na hydrodynamických účincích vody (víření, obtékání vody),

S_0 – plocha listu pádla,

v – rychlost listu pádla ve vodě.

Účinnost se pak vypočítá jako podíl hnací práce a hnací práce se součtem práce ztrátové. Podíl veličin je následně vynásoben číslem 100, protože je nutné účinnost vyjádřit v procentech (rovnice č. 4). Hnací (A_{hn}) a ztrátová (A_{ztr}) práce, jsou vypočítány následujícím způsobem [2]:

$$A_{ztr} = F * s$$

$$A_{hn} = F * l$$

s- dráha prokluzu,

l – dráha lodě.

$$\eta = \frac{A_{hn}}{A_{hn} + A_{ztr}} * 100 [\%]$$

Rovnice 4 - Výpočet účinnosti

Dále je nutné objasnit odporovou sílu F_o , která se skládá hned z několika proměnných definovaných takto:

1) Odpor kajaku [2]

- a) Třecí odpor – povrch dna kajaku musí být dokonale zpracován tak, aby docházelo k co nejmenšímu tření.
- b) Tvarový odpor – Slalomové kajaky musí plnit dvě podmínky, které si navzájem protirečí. Tvar slalomového kajaku je nutný přizpůsobit tak, aby loď byla schopná se pohybovat vpřed s nejmenším odporem (hydrodynamicky tvarově rychlá) a zároveň je nutné, aby zachovala

točivost. Z tohoto důvodu nelze věnovat maximální pozornost tvaru kajaku pro pohyb vpřed.

c) Vlnový odpor – vnější jev, který je závislý na hloubce vody, který je proměnný s rychlostí kajaku (menší hloubka = větší vlnový odpor).

2) Kvalita pádla [2]

Je dána pevností žerdě v ohybu i krutu. Pokud je pádlo příliš pevné, dochází při záběru k „utržení vody“, které způsobí nežádoucí víry okolo listu pádla. Naopak příliš měkká žerď pádla může způsobit delší přenos síly a tím i snížit přesnost záběru. V obou případech dojde ke ztrátě účinnosti pádla.

Jak již bylo řečeno dříve, brzdový odpor říká, že velikost odporu prostředí vzrůstá s rostoucí rychlostí s druhou mocninou. V praxi to znamená, že i lehké zvýšení rychlosti vyžaduje vysoký nárůst výkonu závodníka. Konečný vztah lze vyjádřit jako [2]:

$$P_h = O * v^2, \text{ kde:}$$

P_h – hnací výkon

O – odpor prostředí

v – rychlost

Aby bylo možné zpracovat výsledky měření různých typů pádel, je nutné uvést konkrétní výpočty, které umožní porovnat jejich účinnost při záběru. Celkový hnací impuls síly I_h lze vyjádřit, jako součet všech impulsů v daném úseku, jak popisuje rovnice uvedená níže [2].

$$I_h = \sum I_p + \sum I_l, \text{ kde:}$$

I_p – impulsy na pravé straně

I_l – impulsy na levé straně

Aby bylo možné vypočítat (alespoň přibližně) práci a výkon závodníka při provádění měření je nutné předpokládat, že testovaný jedinec jede konstantní intenzitou ve všech záběrech a jeho výkon je tedy konstantní. Průměrná rychlost kajaku se v průběhu celého měřeného úseku nemění. V tomto případě platí, že celkový hnací impuls I_h se rovná brzdnému impulsu I_o (impuls odporu). Tento stav lze vyjádřit pomocí rovnice [2]:

$$I_h = \sum I_p + \sum I_h = I_o$$

Rovnice 5 - Vyjádření vztahu mezi hnacím impulsem síly a odporovým impulsem síly.

Z rovnice č. 5 lze tedy odvodit brzdou sílu F_{br} a bude platit, že:

$$F_{br} = \frac{I_o \sum I_p + \sum I_h}{t}, \text{ kde:}$$

t – čas měřeného úseku.

Následně lze spočítat spotřebovanou mechanickou práci $A = F_{br} * s$, dosazením za F_{br} vztah z předchozího vzorce. Rovnice vypadá následovně:

$$A = \frac{\sum I_p + \sum I_h}{t} * s = \left(\sum I_p + \sum I_h \right) * v$$

Rovnice 6 - Výpočet mechanické práce pro měřený úsek, kdy s vyjadřuje jeho délku.

4.3.2 Typy zkoumaných pádel

Jedním z úkolů práce je výběr tří druhů kajakářských pádel. Je žádoucí, aby vybraná pádla plnila požadavky moderního pojetí vodního slalomu. Jsou vybrána tři běžně používaná závodní kajakářská pádla, která používá většina vrcholových vodních slalomářů. Aby byl test pádel co možná nejobektivnější, je nutné určit pevná kritéria, které jsou pro všechna pádla stejná. Test bude prováděn pomocí jednoho kajakáře a v případě odlišných základních vlastností pádel, mohou být výsledky výrazně ovlivněny z důvodu špatné techniky pádlování, každý kajakář je zvyklý na jiný typ pádla (úhel natočení listů, délka, materiál, tvar žerdě). Kritéria jsou stanovena následovně:

- 1) Stejná délka – zkoumaná pádla musí mít stejnou délku, kterou používá testovaný kajakář.
- 2) Úhel natočení listů – všechny úhly natočení listů pádel musí být shodné.
- 3) Tvar žerdě – vybraná pádla musí mít stejný tvar žerdě. Pro následný výzkum je vybrán rovná tvar žerdě.
- 4) Materiál – pádla musí být vyrobená ze stejného materiálu (uhlík). Pevnost pádla je pak následně dána uspořádáním jednotlivých uhlíkových vláken.

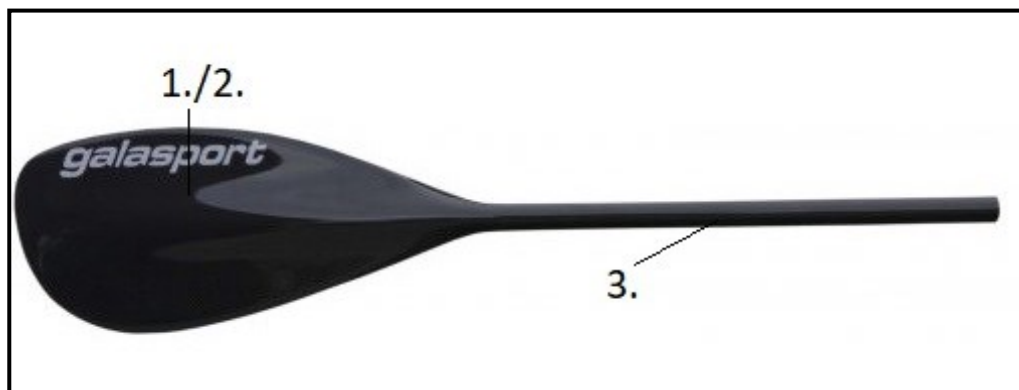
4.3.2.1 Obecná charakteristika kajakářského slalomového pádla

Kajakářské pádlo určené pro vodní slalom musí plnit hned několik podmínek, které napomáhají dosáhnout lepšího výsledku sportovců:

- 1) Váha – z důvodu velké váhy může docházet v průběhu závodu k brzké únavě závodníka. Nízká váha (odebrání materiálu) může způsobit větší náchylnost pádla na okolní jevy (voda, překážky, síla kajakáře) a může dojít k jeho poškození (zlomení).
- 2) Účinnost při přímém záběru – pohyb kajaku v před je stále nejčastějším aktem v rámci vodního slalomu. Z tohoto důvodu je následný výzkum vhodný, pro budoucí zlepšení jejich vlastností.
- 3) Účinnost při záběrech měnících směr lodě (točení) – ve vodním slalomu se závodníci snaží v nejkratším možném čase projet závodní trať, která prověří jejich výkonnost nejen pomocí rychlosti vpřed, ale také pomocí obratnosti a zvládnutí náročných technických prvků (závěs, přítah, široký záběr od zádě atp.). Proto je nutné při výrobě a návrhu pádla dbát i na výše sepsanou skutečnost a nelze soustředit maximální pozornost na účinnost pádla při pádlování vpřed.

Pádlo se skládá ze tří základních částí (obrázek č. 17):

- 1), 2) Pravý/levý list pádla – List pádla je částí, pomocí které dochází díky hydrodynamických vztahů s vodou k transformování síly sportovce na hybnou energii sestavy (sportovec, kajak). Kajakářské pádlo je vybavené dvěma listy, které jsou připevněné na obou koncích žerdě. Dle požadavků sportovců, nabízí různí výrobci různé tvary a velikosti, k dosažení maximální účinnosti záběru při pádlování.
- 3) Žerď pádla – část pádla, ve které dochází k přenosu vyvinuté síly sportovce na pádlo. Nyní výrobci nabízejí základní dva typy žerdí (obrázek č. 18 a 19).



Obrázek 19- Části slalomového kajakářského pádla[21].



Obrázek 18 - Tvarovaná, zahnutá žerd' (klicka) z nabídky Galasport composites[21].



Obrázek 17 - Rovná žerd' z nabídky Galasport composites [21].

4.3.2.2 Charakteristika vybraných pádel

Dle určených základních kritérií, jsou pro výzkum vybrány 3 pádla od dvou českých výrobců. Čeští výrobci patří k předním výrobcům pádel a kajaků na světovém trhu a jejich pádla jsou u vrcholových slalomářů jedny z nejpoužívanějších. Přehled vlastností jednotlivých pádel jsou popsány v tabulce č. 2. Protože se jedná o zkoumání účinnosti kajakářského pádla, na které se nejvíce podílí jeho list, je pozornost měření zaměřena právě na něj. Z tohoto důvodu jsou žerdě pádla všechny stejné (délka a tvar) a předpokládá se, že tvar listu bude mít největší vliv na celkovou účinnost záběru.

Vzhledem ke dvou různým výrobcům dojde i k malým odlišným vlastnostem žerdi pádla, u kterých se nepředpokládá, že by mohli mít větší vliv na účinnost záběru. Jde pouze o odlišné uspořádání uhlíkových vláken při výrobě pádla.

Předpokládá se, že největší podíl na celkové účinnosti pádla bude mít jeho list. Z tohoto důvodu je výběr typů pádel soustředěn primárně na tvar a velikost listu pádla. Následující tabulka stručně charakterizuje vybrané druhy pádel. Obrázky všech typů lisů jsou součástí přílohy.

Typ	Výrobce	Délka	Úhel natočení	Plocha listů pádla
Rovná žerd', listy NAJA maxi	Galasport composites	204,5	30°	712cm ²
Rovná žerd', listy Meg XL	Galasport composites	204,5	30°	704cm ²
Rovná žerd', listy X16 L	Raab paddles	204,5	30°	740cm ²

Tabulka 3 Přehled vlastností vybraných typů pádel

NAJA maxi:

Slalomové listy NAJA mají přelomový design, který je dán vyosením celého listu vzhledem k žerdi pádla o 8mm. Vyosení spolu s profilem listu dává kajakářskému záběru fantastické vlastnosti.

Jak lze vyčíst na webových stránkách společnosti Galasport composites listy NAJA se od ostatních liší svým specifickým tvarem. Tento tvar má docílit kvalitnějšího záběru, který je prováděn záběrovou plochou. Domníváme se, že v následujícím měření bude mít vyosení listu o 8cm vpřed (předsazení) veliký vliv na účinnost pádla.

MEG XL:

Kajakářský list MEG je výsledkem spolupráce s nejlepšími slovinskými kajakáři dnešní doby. List je v záběru velmi stabilní a během protahování vodou působí značně klidně. List MEG je velmi lehký a jeho záběr není příliš robustní.

Jak napovídá tabulka č. 3, listy MEG Xl mají nejmenší záběrovou plochu. Lze tedy předpokládat, že konečná účinnost pádla s listy MEG XL bude nejmenší.

X16 L:

Pádla od výrobce Raab paddles jsou známá svou prvotřídní kvalitou. Při výrobě využívají odlišné uspořádání karbonových tkanin. Výsledkem jsou lehká, pevná a obratná pádla.

Záběrová plocha listu X16 L je největší a myslíme si, že účinnost jeho záběru bude srovnatelná s listem NAJA maxi.

4.3.3 Průběh výzkumu a přístrojové vybavení

Postup a znamenání informací jsou obdobné jako v diplomové práci Mohouta.[2] Následující stránky popisují postup a přístrojové vybavení, které využívají poznatků získaných z výše uvedených studií. Určením správného postupu a jeho vylepšením lze dosáhnout objektivnějších a kvalitnějších výsledků.

4.3.3.1 Postup experimentu

K dosažení maximální objektivnosti bude test provádět pouze jeden kajakář. Tím je možné eliminovat chybné měření v důsledku odlišné techniky pádlování nebo odlišného držení pádla. Vzhledem ke stejným základním vlastnostem testovaných pádel, není pro závodníka zvládnutí testu obtížné a různé typy nebudou mít vliv na techniku pádlování. Nicméně pro maximální spolehlivost je pokus zaznamenán pomocí videokamery a výsledné záznamy jsou následně porovnány. Kajakář provede každý pokus s jedním pádlem celkem třikrát. Ze tří pokusů je vybrán pokus se střední hodnotou naměřeného času. Čas bude zaznamenáván ručně dvěma měřiči, z nichž jeden je postavený na startu měřeného úseku a druhý v cíli.

Start měření probíhá ve chvíli, kdy kajakář zahájí sprint. Start sprintu je mezi startovacími bójkami a závodník je ke startu připraven tehdy, kdy je jeho tělo v klidu přesně na jejich spojnici. Měřený úsek končí na spojnici cílových bójek v době, kdy závodník tuto spojnici protne. Vzdálenost těchto bójek je 50m.

Před zahájením každého pokusu je nutné provést kalibraci senzorů snímajících působení síly na list pádla. Pro kalibraci je využito stejného postupu, jako využívá studie [3] Kalibrace senzorů je provedena pomocí statického zatížení pádla. Velikost zatížení je zpočátku 5kg a postupně se po 5kg zvýší až na 30kg. Nastavení pádla tedy probíhá následujícím způsobem:

1) Jedna podpěra je umístěna na pravé straně v místě, kde závodník drží pádlo (třetí prst),

2) další podpěra je umístěna ve středu levého listu (předpokládá se, že síla bude vznikat ve středu listu – hypotetický střed působení hydrodynamického tlaku) a,

3) odlišné zatížení je umístěno v místě, kde závodník drží pádlo levou rukou (třetí prst). Nastavení probíhá pro obě strany pádla.

Měření by mělo probíhat na stojaté vodě za klidných povětrnostních podmínek při teplotě okolo 20°C. Díky této skutečnosti je možné určit stabilní podmínky pro případnou pozdější návaznost na budoucí výzkum.

4.3.3.2 Přístrojové vybavení

Pro zjištění účinnosti vybraných typů pádel je nutné vybavit jednotlivé komponenty přístroji, které nám umožní požadované informace změřit, přenést a zpracovat.

Pádlo je vybavené několika tenzometrickými senzory. Dva tenzometry (na obou stranách stejně) jsou umístěné v oblasti mezi úchopem pádla a připojením listu pádla na žerď. První z nich je umístěn rovnoběžně s plochou listu a druhý kolmo. Stejně jako ve [4]. Informace naměřené tenzometry jsou pomocí kabelů přenášeny do zesilovače. Ten je pak následně bezdrátově přenesen do počítače. Počítač je vybavený speciálním softwarem určeným k zaznamenání a zobrazení naměřených hodnot. V kankánuje umístěn akcelerometr, který zaznamenává změny rychlosti při provádění pokusu. Data z akcelerometru jsou taktéž bezdrátově přenesená do počítače. Ve stejnou dobu je prováděn video záznam pomocí videokamery, který je taktéž přenesen do počítače.

5 Diskuze a závěr

Cíl práce byl splněn. Byla vytvořena rešeršní práce s vytvořením teoretického zázemí pro následující výzkum účinnosti kajakářských pádel vodního slalomu. Úkoly práce byly úspěšně dokončeny ve všech bodech. Je provedené zpracování českých i zahraničních studií, které se o oblast biomechaniky pádlování zajímají. Po zpracování dostupných studií se práce zabývá teoretickou přípravou pro následující výzkum s využitím informací, získaných z předešlého průzkumu jednotlivých studií [2], [3], [5], [8]. Teoretická příprava zahrnuje veškeré početní operace ke zpracování naměřených výsledků.

Hledisko účinnosti pádel pro vodní slalom je stále velkou neznámou. Vzhledem k pestrosti prováděných záběrů při projíždění závodní tratě, lze stěží určit jak velký vliv má účinnost pádla při přímém záběru na celkový výsledek závodu. Zároveň je nutné prozkoumat i vztah mezi závodníkem a účinností pádla na delších tratích, protože z dostupných zdrojů je možné vyčíst, že ve většině případů je pádlo, které má větší plochu listu, účinnější. Větší plocha listu může mít negativní účinky na celkový výkon kajakáře, které se projeví v podobě horší manévrovatelnosti a fyzickou náročností (vynaložení větší síly k provedení správného záběru).

Rád bych se problematikou účinnosti kajakářských pádel zajímal i ve své diplomové práci, která by na rešeršní práci navázala. V diplomové práci by bylo nutné provést praktický výzkum dle připravené předlohy.

Pro následující vývoj kajakářských pádel vodního slalomu by bylo vhodné se zaměřit také na výzkum dalších záběrů při pádlování, zejména těch, které mění směr lodě. Bylo by vhodné se také zaměřit na vztah mezi účinností a fyzickou dispozicí sportovce.

6 Seznam literatury

Bibliografické zdroje

[1] *100 let kanoistiky v českých zemích*. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2013. ISBN 978-80-7376-349-7.

[2] MOHOUT, Ondřej. *Rozbor jednotlivých druhů kajakářských pádel s využitím některých prvků biomechanické analýzy*. Praha, 1992. Diplomová práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze. Vedoucí práce PhDr. Milan Bílý, PhD..

[3] GOMEZ, Beatriz B., Nuno V. RAMOS, Filipe A. V. CONCEIÇÃO, Ross H. SANDERS, Mário A. P. VAZ a João Paulo VILAS-BOAZ. *Paddling force profiles at different stroke rates in elite sprint kayaking*. *Journal of Applied Biomechanics*. 2015, 31, 258-263. ISSN 10658483.

[4] PAVLÍK, Matouš. *Kanoistika v ČR 2004-2013*. Praha, 2015. Diplomová práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze. Vedoucí práce PhDr. Milan Bílý, PhD.

[5] HELMER, R.J.N, A. FAROUIL, J. BAKER a I. BLANCHONETTE. *Instrumentation of a kayak paddle to investigate blade/water interaction*. *Procedia Engineering* [online]. 2011, (13), 501 - 506 [cit. 2019-04-03]. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.05.121. ISSN 1877-7058.

[6] HOFFMAN, P. *Akcelerometrický systém pro měření dynamiky pohybu veslařské lodě*. Realizační výstup č. 19.07 7. etapy 4 DÚ výzkumného úkolu SPTR N – 01 – 333 – 801. Praha, 1989

[7] *Kanoe a kajak*: časopis Svazu kanoistů RČS. V Praze: Český svaz kanoistů, 1948

[8] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 3., přeprac. vyd. Praha: Portál, 2009. ISBN 978-80-7367-482-3.

Elektronické zdroje

[9] MORGOCH, Dana, Cameron GALIPEAU a Stephen TULLIS. *Sprint Canoe Blade Hydrodynamics - Modeling and On-water Measurement. Procedia Engineering* [online]. 2016, (147), 299 - 304 [cit. 2019-04-03]. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.295. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://doaj.org/article/45ae0c3db7814faca417a32dcfabab92>

[10] *Aerodynamický stred křídla* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://buteo.szm.com/aero_zk/a04.htm

[11] *Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK. Newtonův odporový vzorec.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/4_6

[12] *Fyzika 007. Výkon a účinnost.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/mechanika/vykon-a-ucinnost>

[13] GALUŠKA, Vladislav. *Galasport MEG L ELITE.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.galasport.com/cs/product/meg-l-elite-pair-blades#.XKR6ipgzY2x>

[14] GALUŠKA, Vladislav. *Galasport. NAJA MAXI ELITE.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.galasport.com/en/product/naja-maxi-elite-pair-blades>

[15] ČSK. *Český kanoistický server* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.kanoe.cz/>

[16] *Converter Beaufortova stupnice.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/beaufortova-stupnice.htm>

[17] *IT slovník. Akcelerometr.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/akcelerometr>

[18] *IT slovník. Offset.* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/offset>

[19] *Khan Academy* Node voltage method. [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-dc-circuit-analysis/a/ee-node-voltage-method>

[20] . *Brookly college* EQUILIBRIUM OF MOMENTS. [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/physics/sobel/Phys1/eqm.html>

[21] *ScienceDirect* Pitching Moment Coefficient. [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pitching-moment-coefficient>

[22] *Galasport composites* [online]. CTECH, 2012 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://www.galasport.com/>

Seznam Obrázků

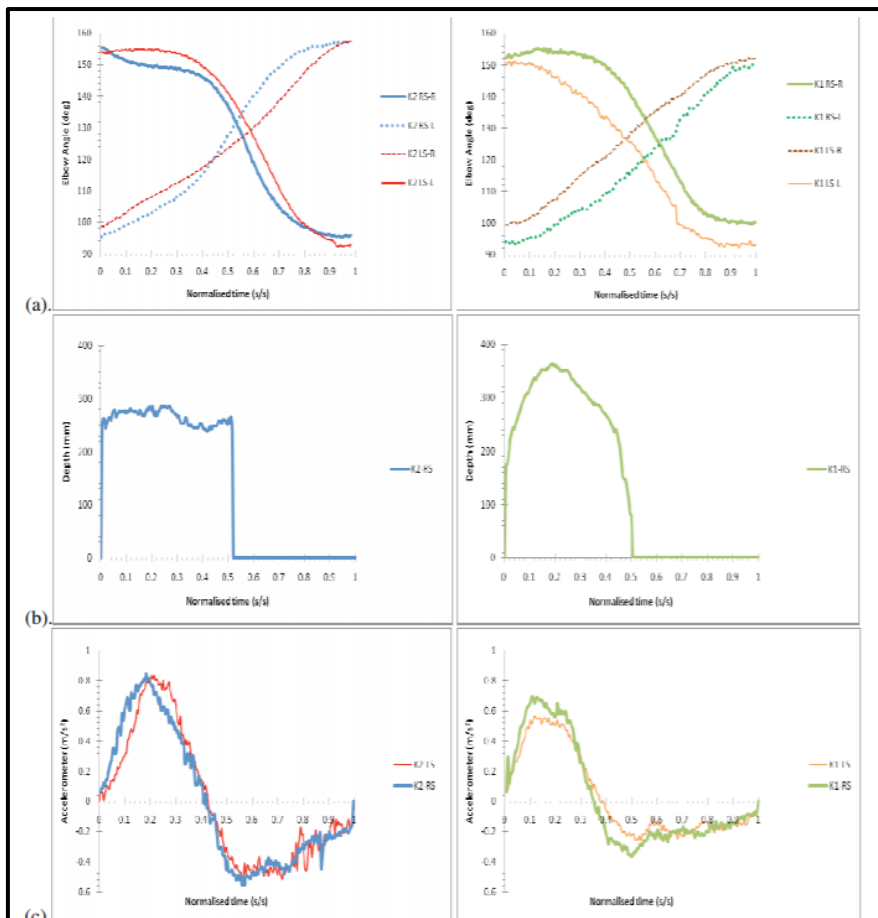
Obrázek 1- Průběh působení síly na listu pádla [8].	7
Obrázek 2 - Průběh záběrové fáze a fáze přenesení listu pádla [8]	10
Obrázek 3 - Sním záběrové fáze pořízený z videoanalýzy [9]	11
Obrázek 4 - Nestrukturovaná čtvercová síť s hexahedrální buněčnou vrstvou okolo listu [9].	13
Obrázek 5 – Výsledek modelu CFD [9].	13
Obrázek 6 - Působení tlaku na list pádla[9].	13
Obrázek 7 - Výsledky měření na vodě [9].	14
Obrázek 8 - Měřicí systém měření na vodě při testování amatérského kajakáře [5].	17
Obrázek 9 – Přístrojové vybavení listu pádla [5].	18
Obrázek 10 - Přístrojové vybavení listu pádla [5].	18
Obrázek 11 - Stabilita senzorů při různých teplotách a hloubce ponoření listu [5].	19
Obrázek 12 - Kalibrace senzorů ve vodě [5].	19
Obrázek 13 - Průběh měření na vodě [5].	19
Obrázek 14 - Tlak působící na senzor listu pádla při pádlování [5].	20
Obrázek 15 - Průběh levého (LS) a pravého (RS) záběru[5].	20
Obrázek 16 - Znázornění hybné sestavy na reprezentantovi ve vodním slalomu	26
Obrázek 17 - Rovná žerď z nabídky Galasport composites [21].	31

Obrázek 18 - Tvarovaná, zahnutá žerd' (klika) z nabídky Galasport composites[21].	31
Obrázek 19- Části slalomového kajakářského pádla[21].	31
Obrázek 20 - Porovnání výsledků měření mezi elitním) a amatérským kajakářem[5].	40
Obrázek 21 – Tvar listu NAJA MAXI [14].	40
Obrázek 22 – Tvar listu NAJA MAXI [14].	40
Obrázek 23 - Tvar listu MEG XL [13].	41
Obrázek 24 - Tvar listu MEG XL [13].	41

Seznam tabulek

Tabulka 1- Základní údaje při CFD modelu a měření na vodě[8].	11
Tabulka 2- Přehled testujících závodníků a jejich pádel. [2]	23
Tabulka 3 Přehled vlastností vybraných typů pádel	32

7 Příloha



Obrázek 20 - Porovnání výsledků měření mezi elitním a amatérským kajakářem [5].



Obrázek 21 – Tvar listu NAJA MAXI [14].



Obrázek 22 – Tvar listu NAJA MAXI [14].



Obrázek 24 - Tvar listu MEG XL [13].



Obrázek 23 - Tvar listu MEG XL [13].