

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

MOŽNOSTI VYUŽITÍ STATICKEHO MĚŘENÍ SIL A KINETICKÉHO MĚŘENÍ  
RYCHLOSTI A ZRYCHLENÍ PRO ANALÝZU PLAVECKÉ TECHNIKY  
KRAUL

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Michaela Bátorová, Aplikované pohybové aktivity,

Aplikovaná tělesná výchova

Vedoucí práce: PhDr. Zbyněk Janečka, Ph.D.

Olomouc 2012

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Michaela Bátorová

**Název diplomové práce:** Možnosti využití statického měření sil a kinetického měření rychlosti a zrychlení pro analýzu plavecké techniky kraul

**Pracoviště:** Katedra aplikované tělesné výchovy

**Vedoucí diplomové práce:** PhDr. Zbyněk Janečka, Ph.D.

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2013

### **Abstrakt:**

Tato DP se zabývá analýzou kraulové techniky s využitím možností metody statického měření sil a metody kinetického měření rychlosti a zrychlení. V úvodní části práce řeší teorii plaveckého způsobu kraul a biomechaniku pohybu ve vodním prostředí. Dále formuluje cíle a metodiku pro měření, zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot pro obě metody.

V praktické části práce jsou zpracovány výsledky měření deseti probandů statickou metodou měření sil s nulovou rychlostí plavání pomocí digitální siloměru IMADA ZP na nepružném závěsu a deseti probandů kinetickou metodu měření rychlosti a zrychlení pomocí tachografu. V další části jsou grafiky zpracované výsledky vyhodnoceny a je provedena analýza průběhů silových působení u statické metody a průběhů okamžité rychlosti a zrychlení u kinetické metody. V závěru jsou uvedeny přínosy pro trenérskou praxi.

**Klíčová slova:** Plavecká technika, kraul, síla, rychlost, zrychlení, střední rychlost, účinnost

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Michaela Bátorová

**Title of the master thesis:** The possibilities of application of static measuring of powers and kinetic measuring of speed for the analysis of the swimming technique crawl

**Department:** Department of Adapted Physical Activities

**Supervisor:** PhDr. Zbyněk Janečka, Ph.D.

**The year of presentation:** 2013

**Abstract:**

This diploma thesis covers the analysis of the crawl technique with the application of possibilities of the method of the static measuring of the powers and the method of kinetic measuring of the speed and acceleration. In the introductory part the thesis deals with the theory of the swimming technique crawl and the biomechanics of the movement in the water. Next, it forms the object and methodology for the measuring, processing and evaluation of measured values for both of the methods.

In the practical part of the thesis the results of the measuring of 10 probands using the static method of measuring the powers with the zero swimming speed with the help of digital dynamometer IMADA on inflexible haul and 10 probands using the kinetic method of measuring the speed and acceleration with the help of tachograf are put together. In the next part the graphically processed results are evaluated and the analysis of the progress of the force impact at the static method and the progress of the instant speed and acceleration at the kinetic method are carried out. In the conclusion the contribution for the training practice is introduced.

**Keywords:** Technique of swimming, crawl, power, speed, acceleration, medium speed, efficiency

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

**Prohlašuji:**

Tuto práci jsem vypracovala samostatně na základě veškerých literárních pramenů a zdrojů uvedených v Referenčním seznamu.

V Olomouci 30. listopadu 2012

.....

## ***Poděkování***

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu práce PhDr. Zbyňku Janečkovi, Ph.D. za jeho vstřícné jednání a pomoc nejen při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych chtěla vyjádřit svoji vděčnost panu prof. PhDr. Jaroslav Motyčka, DrSc. za jeho odborné rady, cenné připomínky a poskytnutý materiál pro tvorbu této práce.

A největší poděkování patří mému nebeskému Otci a jeho Synu Ježíši Kristu za prokazovanou lásku v celém mém studiu spolu s mým manželem, rodinou a přáteli, kteří mi byli velkou oporou.

# Obsah

<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>1 PLAVECKÝ ZPŮSOBU KRAUL</b>	<b>9</b>
Historie plavání a plaveckého způsobu kraul	9
1.2 Teoretická analýza plavecké techniky kraul	10
1.2.1 <i>Poloha těla</i> .....	10
1.2.2 <i>Pohyby horních končetin</i> .....	11
1.2.3 <i>Pohyb dolních končetin</i> .....	17
1.2.4 <i>Dýchání</i> .....	20
1.2.5 <i>Parametry lokomoce plavce</i> .....	22
<b>2 BIOMECHANIKA PLAVÁNÍ</b>	<b>23</b>
2.1 Pohyb plavce za působení hydrostatických sil	23
2.1.1 <i>Hydrostatický tlak</i> .....	24
2.1.2 <i>Hydrostatický vztlak</i> .....	25
2.2 Pohyb plavce za působení hydrodynamických sil	27
2.2.1 <i>Proudění kapalin</i> .....	27
2.2.2 <i>Hydrodynamický vztlak</i> .....	29
2.2.3 <i>Síly působící na plavce při pohybu</i> .....	30
2.3 Odpor vodního prostředí proti pohybu plavce	32
2.3.1 <i>Odpor vody proti pohybu plavce na hladině</i> .....	32
2.3.2 <i>Laminární proudění</i> .....	33
2.3.3 <i>Turbulentní proudění</i> .....	34
2.4.4 <i>Tvarový odpor</i> .....	36
2.4.5 <i>Vlnový odpor</i> .....	37
<b>3 DOSAVADNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b>	<b>39</b>
3.1 Vývoj experimentálního měření sil	39
3.2 Metoda statického měření sil – dosavadní stav řešené problematiky	40
3.2.1 <i>Kinetického měření rychlosti a zrychlení dosavadní stav řešené problematiky</i> .....	42
3.2.2 <i>Matematické vyjádření výpočtů k vyhodnocení měření dynamickou a kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení</i> .....	44
<b>4 CÍLE A HYPOTÉZY</b>	<b>49</b>
4.1 Hlavní cíl práce	49
4.2 Dílčí cíle práce	49
4.3 Hypotézy	49
<b>5 METODIKA VÝZKUMU</b>	<b>50</b>
5.1 Kritéria pro výběr měřených osob	50

5. 2 Podmínky získávání dat při statické metodě měření sil	51
5. 2. 1 Prostředí měření při statické metodě měření sil.....	51
5. 2. 2 Prostředky k realizaci měření statickou metodou .....	51
5. 2. 3 Realizace měření statickou metodou měření sil .....	52
5. 2. 4 Obsah měření - Statická metoda měření sil .....	56
5. 2. 5 Průběh měření statickou metodou měření sil.....	56
5. 2. 6 Metody zpracování dat statické metody měření sil .....	57
5. 3 Podmínky získávání dat kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení	57
5. 3. 1 Prostředí měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení.....	57
5. 3. 2 Prostředky k realizaci měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení .....	58
5. 3. 3 Realizace měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení .....	59
5. 3. 4 Obsah měření - kinetická metoda.....	60
5. 3. 5 Průběh měření kinetickou metodou.....	61
5. 3. 6 Metody zpracování dat kinetické metody měření rychlosti a zrychlení ..	61
<b>6 VÝSLEDKY A DISKuze</b>	<b>62</b>
6.1 Statická metoda měření	62
6.2 Kinetická metoda	75
6.3 Srovnání statické a kinetické metody měření	84
<b>Závěr</b>	<b>88</b>
<b>Souhrn</b>	<b>90</b>
<b>Summary</b>	<b>91</b>
<b>Referenční seznam</b>	<b>92</b>
<b>Přílohy</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

Ve své trenérské praxi jsem se setkala s mnohými talentovanými plavci, kteří jen díky chybám ve své plavecké technice neměli možnost zlepšovat své výkony adekvátně k absolvovanému tréninku. Tato skutečnost mě vedla k zvolení si tématu mé diplomové práce: Možnosti využití statického měření sil a kinetického měření rychlosti a zrychlení pro analýzu plavecké techniky kraul.

Hlavním cílem práce je analyzovat plaveckou techniku kraul pomocí statického měření sil a metody kinetického měření rychlosti a zrychlení a na měřených souborech ověřit předem zvolené hypotézy.

V teoretické části práce se budeme zabývat technikou plaveckého způsobu kraul, biomechanikou plavání a v neposlední řadě dosavadním stavem řešené problematiky spolu s teoreticko-matematickým vyjádřením kinetické metody měření.

V praktické části práce budeme analyzovat plaveckou techniku dvaceti probandů rozdělených do dvou výkonnostních kategorií. Naměřené hodnoty silového působení probandů u metody statického měření sil budeme vyhodnocovat graficky vyhodnocovat a výpočtem aritmetického průměru maxim sil a celkového průměru distribuce sil budeme ověřovat stanovenou hypotézu H1. U kinetické metody měření rychlosti a zrychlení budeme graficky zobrazovat průběh rychlosti a zrychlení a pomocí programu SwimDataViewer vypočítáme střední rychlost probanda a účinnost jeho plavecké techniky čímž ověříme H2 a H3. Komparací obou metod budeme ověřovat hypotézu H4.

Výstupem práce bude ověření možností využití obou zvolených metod pro analýzu plavecké techniky kraul a její využitelnosti v trenérské praxi.



# 1 PLAVECKÝ ZPŮSOBU KRAUL

V této kapitole se pouze okrajově dotkneme historického vývoje kraulové techniky a podrobněji se budeme zabývat technikou plaveckého způsobu kraul.

## *Historie plavání a plaveckého způsobu kraul*

Snad žádný jiný sport není pro člověka tak specifický jako plavání. Dochovaly se nám záznamy již z období starého Egypta, z nichž můžeme usuzovat, že člověk byl schopen pohybu ve vodním prostředí již před více než čtyřmi tisíci lety. Důkazem toho jsou nejen malby na stěnách a na různých předmětech, ale i sošky znázorňující plavajícího člověka.

Plavání mělo své významné místo také v antickém Řecku jako samozřejmá součást výchovy a výuky na antických gymnáziích. I přes úpadek středověké tělesné kultury se plavání zařadilo mezi sedm rytířských ctností. Díky vlivu humanismu, renesance, osvícenství a významných propagátorů tělesné výchovy, jimiž byly J. J. Rousseau a F. Rabelais se plavání znovu dostalo mezi respektované a provozované pohybové aktivity.

Vývoj plavecké techniky můžeme sledovat ze starověkých písemných a obrazových záznamů, kde se plavalo střídavým způsobem, podobajícím se dnešnímu prsařskému způsobu. Předchůdce kraulu tzv. trudgeon, se vyvinul z indiánského stylu, při němž Jihoameričtí a Severoameričtí indiáni plavali rukama střídavě a nohama současně. Angličan Trudgeon tento styl zdokonalil o přenosovou fázi nad hladinou. Dalším směrem ve vývoji kraulové techniky byl tzv. australský kraul se střídavým pohybem paží i nohou ve vertikální rovině.

Modernímu kraulu (tzv. americký kraul) dal základ americký trenér Bacharach převzetím kraulového kopu vycházejícího z kyčlí. Předchůdce měl u havajských domorodců.

U australských trenérů v padesátých letech minulého století se začal prosazovat racionální přístup k plavecké technice s preferováním přirozeného vývoje stylu plavce. Trenéři do techniky zasahují až při hrubých chybách a nedostatcích, což podává vysvětlení individuálních odlišností v plavecké technice vrcholových plavců (Motyčka, 2001).

## ***1.2 Teoretická analýza plavecké techniky kraul***

Techniku plaveckých způsobů můžeme označit jako pohybový úkol plněný na základě biomechanických zákonitostí, pohybových a výkonnostních možnostech plavce ve shodě s pravidly sportu (Dovalil, 2002).

Srovnáme-li z biomechanického hlediska čtyři plavecké styly, můžeme kraul označit za nejrychlejší plaveckou techniku. Díky snaze plavce zachovat si téměř vodorovnou polohu těla, a to i při nádechové fázi, spolu s cyklickým střídavým pohybem paží a nohou, má plavec možnost si udržet relativně rovnoměrnou dopřednou rychlost pohybu s minimálním odporem, k čemuž mu taktéž dopomáhá minimalizování brzdivých účinku přenášením paží vzduchem.

### ***1.2.1 Poloha těla***

Podle Hofera et al. při plaveckém způsobu Kraul;

Tělo zaujímá na hladině mírně šikmou polohu, při níž jsou ramena poněkud výše než boky. Nejnižší je spodní část hrudníku. Při výdechu hledí plavec pod hladinou vpřed dolů a hlava rozráží vodní hladinu svým temenem. Úhel náběhu mezi hladinou a podélnou osou těla tzv. úhel polohy se mění v závislosti na rychlosti plavání (2003, 48).

Při plavání volným tempem se pohybuje tento úhel mezi 5-10°. Se stoupající rychlostí se úhel zmenšuje, v některých případech až na 0°. V případě vyvinutí velké rychlosti záda spolu s hýžděmi vystupují nad hladinu z důvodu

působení dvou vln, které vznikají před hlavou a v blízkosti pánve. Působením jednotlivých záběrů se horní část trupu vychyluje kolem podélné osy těla.

Maximální vychýlení zapadá do první části záběrové fáze, při čemž ramenní osa svírá s hladinou úhel 40-50°. Na vdechové straně je rozkvy o něco větší. Vychýlení na stranu zabírající ruky umožňuje plavci zabírat ve výhodné poloze. V této poloze může plavec lépe využívat svých silových schopností (Hofer, 2011, 48)

Jak uvádí Hofer, takto zvolená poloha umožňuje plavci efektivněji využívat své silové schopnosti. V případě přiměřeného rozkvy se vytváří příhodné podmínky pro přenos druhé paže i nádech, při čemž má hlava možnost natočit se do strany částečně ve spojení s trupem plavce.

### **1.2.2 Pohyby horních končetin**

Nejúčinnější hnací sílu pohybu vpřed vytváří pohyb horních končetin. V rámci jednoho plaveckého cyklu učiní sportovec jeden záběr pravou a jeden záběr levou paží. Cyklus jedné paže můžeme rozdělit na přípravnou, přechodnou a záběrovou fázi.

#### ***Přípravná fáze***

Přípravná fáze je nejvariabilnější fází z celého cyklu, a to dle intenzity plavání a individuálních stylových odchylek. Tato fáze trvající 0,1-0,3 s začíná protnutím hladiny rukou po přenosu vpřed a končí bodem na dráze ruky a na tečně svírající s hladinou 45°. Ruka vstupuje do vody na šířku ramen v pořadí: prsty, předloktí, loket s postupným natahováním vpřed. V průběhu této fáze se celá končetina pohybuje ve směru lokomoce s dlaní obrácenou dolů. Pro pozitivní hydrodynamický tvar a vhodnou polohu jsou prsty nataženy a směřují vpřed. Na konci přípravné fáze začíná nad dopředným pohybem převažovat pohyb směřovaný dolů a voda začíná proudit směrem ke hřbetu ruky (Hofer, 2011).

### ***Přechodná fáze***

V krátkém časovém úseku přechodné fáze trvajícím pouze 0,1 s je třeba zvládnout řadu úkolů, bez nichž by nebylo možné realizovat efektivní záběr. V této fázi přechází ruka z brzdící polohy do polohy záběrové v hloubce téměř 50-70 cm. Záběrové úsilí je zahájeno změnou úhlu relaxované ruky tzv. uchopením proudu vody směřujícím od prstů přes hřbet ruky a z části přes malíkovou stranu ruky (Hofer, 2011).

K vytváření propulzních sil, znásobených plavcovým tzv. „citem pro vodu“, dochází k působení hydrodynamického vztlaku, v první propulzní fázi záběru, stlačením paže pod vodu dozadu a dolů. Tato část záběru může značně ovlivnit účinnost záběru (tzv. vyhmátnutí záběru, vyhmátnutí vody) (Hofer, 2011).

Maglischo ve své publikaci uvádí tři různé styly přechodové fáze. Na fotografii plavců během daného okamžiku (Maglischo, 2003, 105 – 108), názorně instruuje klady a zápory použité fyziologie záběru (Obrázek 1.1, 1.2 a 1.3).

### **Přechodové fáze dle Maglischo (2003)**

#### **1. První styl přechodové fáze:**

Paže je vychýlena ven od těla – není příliš ponořená. Krátký časový interval této fáze je odvozen od rychlého pokrčení lokte při chycení záběru.

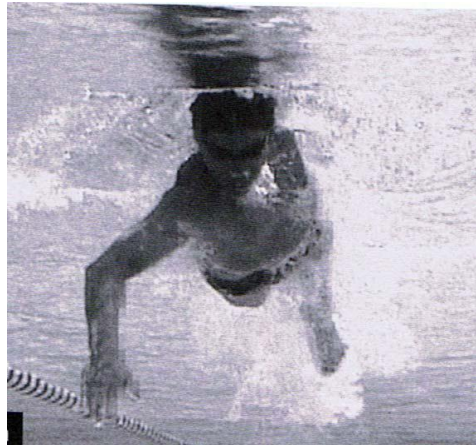
#### ***Výhody***

- díky rychlému uchopení záběru se zkracuje perioda mezi záběrem pravé a levé paže,
- odpor vody je menší z důvodu menšího ponoření nadloktí do hloubky,

- zvýšení hnací síly, při přitahování, může kladně ovlivnit směřování nadloktí téměř přímo vzad,

### ***Nevýhody:***

- ramenní kloub, v začátku propulzní fáze, je ve velké vzdálenosti mimo osu těla a tím dochází k jeho nadměrnému namáhání.



Obrázek 1.1 První způsob chycení záběru (Maglischo, 2003)

## **2. Druhý styl přechodové fáze:**

Tato fáze disponuje charakteristickým větším vytočením těla spolu s větší mírou ponoření paže oproti prvnímu stylu – taktéž ani zde není paže pod ramenem. Při uchopení záběru loket směřuje hlouběji a ruka se nalézá jen mírně mimo rameno.

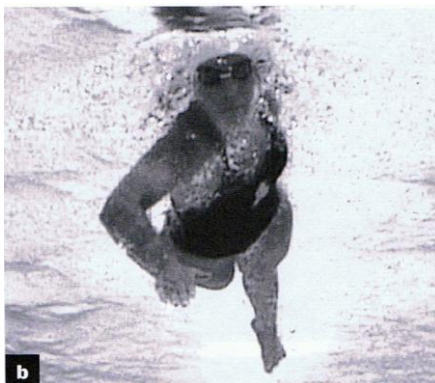
### ***Výhody***

- Záběrová fáze se nachází blíže ose těla, při čemž dochází k menšímu namáhání šlach a větší dopředné akcelerační rychlosti.

### ***Nevýhody***

- dochází k pomalejšímu uchopení záběru,

- prodlužuje se doba mezi koncem záběru první a začátkem záběru druhé ruky,
- změna polohy nadloktí způsobuje menší hnací sílu,
- v pozdější fázi záběru má ruka delší cestu k hladině, což je způsobeno větší hloubkou záběru paže, a proto může dojít ke ztrátě hnací síly.



Obrázek 1.2 Druhý způsob chycení záběru (Maglischo, 2003)

Oba již zmiňované styly přechodové fáze využívají plavci vrcholové úrovně a záleží na jejich zvážení kladů i záporů těchto technik a na jejich volbě mezi nimi.

### 3. Třetí styl přechodové fáze:

Tento styl je příznačný chycením záběru s téměř napnutou paží s rukou velmi hluboko pod vodou. Toto provedení zvyšuje odpor sil a v záběrové fázi přitažení snižuje propulzní sílu. Propulzní síla má snižující se tendenci z důvodu nutnosti téměř nataženou paži, v průběhu přitažení, náhle ohnout. Než se paže dostane do požadované polohy mířící vzad, musí plavec tlačit předloktí a nadloktí příliš dlouhou dobu směrem dolů. Tento tlak dolů nadzvedává tělo a způsobuje dalších ztráty rychlosti spolu s nutností v záběrové fázi vytlačit ponořenou ruku zpět nahoru.

Kvůli těmto nevýhodám Maglischo tento styl nedoporučuje.



Obrázek 3. Uchopení s málo pokrčenou paží (Maglischo, 2003)

### **Záběrová fáze**

Tuto pracovní fázi můžeme rozdělit na fázi přitahování a odtlačení.

#### **- *Fáze přitahování***

Pro dosažení maximální hloubky ruky je její pohyb směřován převážně dolů (ruka je poněkud vně od podélné osy těla plavce), přičemž dochází k proudění vody od prstů přes hřbetní stranu ruky. V této záběrové fázi je končetina téměř natažená a ramenní osa svírá s hladinou maximální sklon v rozmezí 40-50°.

Následně se končetina ohýbá v loketním kloubu (ve chvíli dosažení maximální hloubky) a záběr ruky je směřován vzad k podélné ose plavce. Dochází k ohýbání loketního kloubu a vnitřní rotaci ramenního spolu s elevací lopatky. (tzv. vysoká poloha lokte, nebo ruka předbíhá loket).

Největší ohnutí paže v rozmezí 90-120° je ve chvíli, kdy „ruka protíná svislou rovinu proloženou ramenní osou“ (Hofer, 2011, 51).

V druhé části záběru se končetina začíná opětovně natahovat a následkem tohoto působení směřuje ruka pod břicho a pokračuje od podélné osy nazad. Záběr je ukončen v oblasti kyčelního kloubu s rukou směřující k hladině. Náběžnou hranou ruky se stává malíková strana.

## - ***Odtlačování***

Druhá část záběru nazývaná se odtlačování začíná opětovným natažením paže. Ruka směřující pod břicho směřuje nazad vně osy těla. Dlaň spolu s vnitřní stranou předloktí tlačí proti vodě. Fáze odtlačení končí v oblasti kyčelního kloubu s rukou směřující k hladině, je fáze záběru, v níž bylo zjištěno, kupříkladu právě Maglischem (2003), že nejvíce plavců dosahujících nejvyššího bodu rychlosti křivky záběrového cyklu. V průběhu plavání má plavec snahu o co největší usměrnění pohybu ruky a předloktí, aby výslednice hydrodynamických sil, směřující do směru plavání, byly co největší.

Srovnáme-li polohu ruky vzhledem k předloktí na začátku a na konci záběru, je zřejmé, že plavec je nucen provést extenzi v zápěstním kloubu z důvodu působení hydrodynamických sil, které působí ve směru plavání. Hydrodynamické síly působí ve směru extenze a plavec je nepřemáhá (povoluje působením sil).

Prsty ruky jsou mírně rozevřené a lehce pokrčené, což je výhodné i hledisky hydrodynamiky. V mnoha videozáznamech podvodními kamerami můžeme vidět měnící se polohu palce ruky spolu s tvarem ruky. Vysvětlení tohoto jevu není zcela prokázáno, ale je zřejmé, že jde o snahu, o co nejefektivnější „uchopení vody“ (vyhmátnutí záběru) a její udržení v průběhu celého záběru s kladným využitím vířivých proudů a hydrodynamických sil pro dopředný pohyb.

## **Fáze vytažení**

Svalové skupiny podílející se na záběru jsou již v této fázi relaxované. Brzdící síly vznikají pohybem ruky vpřed nahoru. Poloha ruky a předloktí ve fázi vytažení, trvající méně než 0,1 s, je usměrňována okolní proudící vodou (Hofer, 2011).

## **Přenos paže**

Relaxované a uvolněné svaly při přenosu paže jsou důležitou součástí této fáze, jako optimální příprava pro další pohybový cyklus. Z důvodu malé pohyblivosti



v ramenním kloubu někteří plavci přenáší paži téměř nataženou poměrně nízko u hladiny. Plavci s dostatečně uvolněným ramenním pletencem přenáší paži způsobem tak zvané „vlající vlajky“. Tento způsob přenosu paže je charakteristický snahou o vysoký přenos lokte (loket je veden po nejvyšší možné dráze). Téměř ve svislé rovině je vykonáván pohyb uvolněného předloktí a ruky, při čemž je vykonáván kyvadlovitý pohyb vpřed. Přenos je uvolněný a zároveň kontrolovaný trvající 0,4-0,6 s. (Hofer, 2011).

### **Souhra horních končetin**

V okamžiku, kdy jedna paže prochází při záběru svislou rovinou prodloužené ramenní osy, je druhá paže zasouvána do vody. Při bočním pohledu končetiny svírají jakoby pravý úhel. S prodlužující se dobou přípravné fáze se tento úhel zmenšuje. V délce trvání přípravné fáze jsou značné individuální rozdíly. Obecně můžeme říci, že s narůstající délkou tratě se prodlužuje doba přípravné fáze.

Ve chvíli přípravné fáze jedné ruky je zpravidla záběr druhé ruky již ukončen. Pře začátkem záběru druhé ruky rychlost plavání klesá (mezi-záběrová přestávka – 0,2 s).

Dle Hofera (2011) je kraul považován za nejrovnoměrnější plaveckou techniku i přes kolísání okamžité rychlosti během cyklu. Kolísání rychlosti u řady plavců se pohybovalo v rozmezí  $0,6 - 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  z čeho lze usuzovat, že plavec je nucen překonávat nejen hydrodynamické síly, ale také velké setrvačné síly.

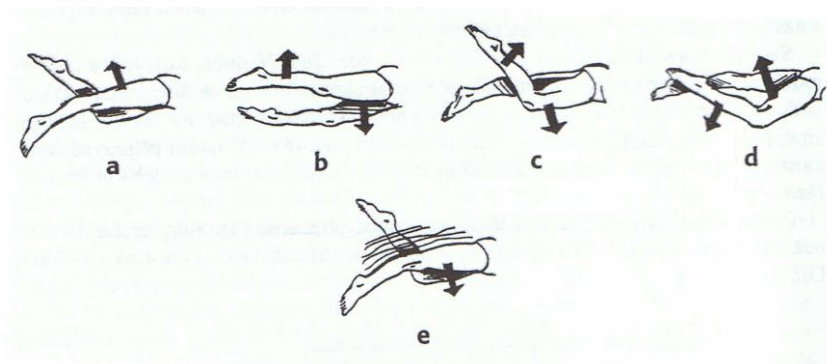
### **1.2.3 Pohyb dolních končetin**

Pohyb dolních končetin vycházející z kyčelního kloubu je postupně přenášen až na hlezenní kloub. Z tohoto důvodu jsou cyklické pohyby bérců vždy mírně opožděny za pohyby stehů. Analogií vlnivých pohybů ryb není člověk plně schopen z důvodů anatomické stavby dolních končetiny. Díky tuhosti stehů i bérců a omezenému pohybu v kolenním kloubu, lze tento rybí pohyb v plavecké technice

napodobit jen z části. Tato charakteristická vlna probíhá jen ve směru extenze v kolenním kloubu a je nazývána kroulový kop.

Popis kroulové techniky nohou, zpracováno dle Hofera, (2011, 53-56) bude zaměřen pouze na cyklus jedné končetiny. Začátek cyklu bude v našem případě dolní krajní poloha nohy (Obrázek 1.4a). Natažená dolní končetina mírně přesahuje podélnou osu těla (přesah v sagitální rovině). Inverzí v hlezenním kloubu je nárt otočen co nejvíce dovnitř a celá končetina se pohybuje směrem nahoru. Česka již další pohyb nedovoluje proto je celá končetina v natažení. Působením tlaku proudící vody se noha natáčí do polohy kladoucí co nejmenší odpor (do tzv. everzní polohy). V této fázi jsou svaly bérce a nohy relaxovány. Kroulový kop vychází z kyčelního kloubu, přičemž impulzem k extenzi v kyčelním kloubu je reakce na kop končetiny směřované dolů. Při pohybu směřovaném nahoru vyvíjí plavec relativně malé úsilí.

Pohyb dolů začíná flexí v kyčelním kloubu. V počáteční fázi je svalstvo ovládající bérce a nohu uvolněné, a proto pohyb bérce a nohy pokračuje nahoru a končetina se ohýbá v kolenním kloubu (Obrázek 4c) a následuje silná extenze v kolenním kloubu. Vlivem tlaku vody se natáčí relaxovaný nárt do inverzní polohy (dovnitř). Rozsah pohybu hlezenního kloubu je omezen jeho fyziologickou pohyblivostí. Hnací síla kroulových nohou je vytvářena plochou nártu a dolní částí bérce. Další cyklus začíná při dalším pohybu stehna nahoru.



Obrázek 1.4 Kroul – pohyby dolních končetin (Hofer, 2011)

Hydrodynamickým působením okolní proudící vody je vyvolán pohyb v hlezenním kloubu. Na základě zkoumání bylo zjištěno, že plavce vrcholové úrovně

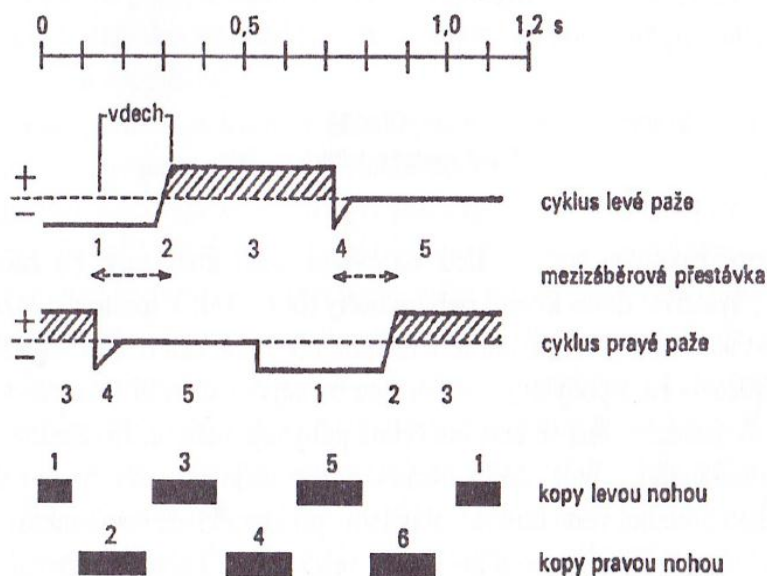
charakterizuje velký rozsah pohybu v hlezenním kloubu a jejich schopnost zcela uvolnit svalstvo bérce. Neméně důležité je využití reakčních sil působících vertikálním směrem zvládnutím rytmizace zatížení jednotlivých svalových skupin (Hofer, 2011). Předpokládaný ideální rozkmit nohou je v rozmezí 50-80cm. Ideální kop není prováděn ani ve velké hloubce ani příliš blízko hladiny pro ideální využití propulzních sil a k stabilizaci těla. Při hlubokém kopu se zvyšuje celkový čelní odpor těla. Ve fázi dokončení pohybu by se měla noha nacházet těsně pod osou těla (Frantová, 2010). V technice kopu se projeví i účinnost plaveckého kopu. Zde dělá mnoho plavců chybu, že jejich pohyb není veden z kyčlí, ale spíše ok kolen dolů (Cecil, 1999).

### **Šesti-úderový kraul**

Časový interval pohybového cyklu dolních končetin je 1/3 doby cyklu horních končetin. V tomto intervalu je proveden jeden kop pravou a jeden kop levou končetinou, tudíž na jeden cyklus paží připadá 6 kopů. V ideálním provedení šesti úderového kraulu zapadají jednotlivé kopy nohou do určité fáze jedné z paží.

Jak uvádí Hofer (2011, 55)

Budeme-li považovat kop souhlasnou nohou při zasunutí dlaně do vody jako první, pak druhý kop nesouhlasnou nohou zapadá do konce přípravné fáze, třetí souhlasnou do začátku záběru, čtvrtý nesouhlasnou do záběru, pátý souhlasnou do vytažení a začátek přenosu a šestý nesouhlasnou do přenosu. Šest kopů vytváří tři dvojice, které mají vzhledem k pohybům paží stejný význam. Jsou to první a čtvrtý kop, druhý a pátý, třetí a šestý kop (Obrázek 1.5).



Obrázek 1.5 Kraul – časový sled pohybů

(Fáze: 1- přípravná, 2 - přechodná, 3 - záběrová, 4 – vytažení, 5 – přenosu)

Pro udržení rovnováhy na hladině je souhra horních a dolních končetin nutná. Podle Maglischa (2003) je šesti-úderový rytmus pro většinu plavců přirozeným rytmem. Využití šesti-úderového kopu se uplatňuje na tratích 50-200m. Na delších tratích plavci využívají dvou-úderový či čtyř-úderový kraul. Ve snaze zefektivnit propulzní práci nohou, bylo experimentováno s osmi i deseti úderovým kopem. Nebyl zjištěn pozitivní vliv na účinnost plavecké techniky, a proto bylo od těchto pokusů upuštěno.

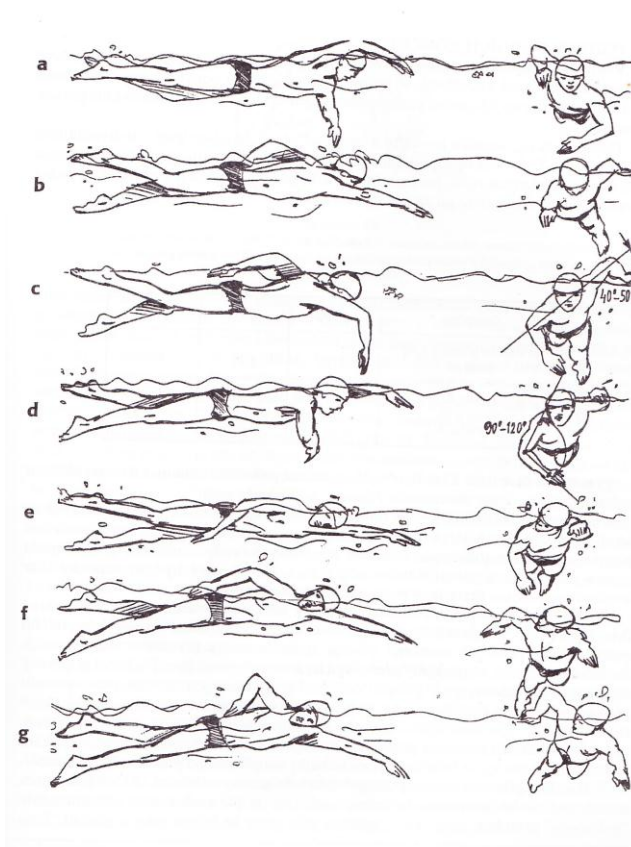
V letech 1964 a 1967 byly realizovány experimenty Gordona zabývající se propulzní silou dolních končetin, a bylo při nich zjištěno, že až do rychlosti 2,38 m/s přispívali nohy propulzní silou. Při vyšší rychlosti měli nohy již brzdivou tendenci (Verner, 2010).

#### 1.2.4 Dýchání

Dýchání při plaveckém způsobu kraul je v nemalé míře závislé na poloze hlavy a pohybu paží. Dýchání musí být pravidelné a rytmické. Nádech provádíme na

pravou nebo levou stranu po ukončení záběru a na začátku přenášení paže (Jursít, et al. 1983).

Práce paží a dýchání je v těsné závislosti. Nádech je prováděn ve chvíli, kdy paže na nádechové straně ukončila záběr a vynořuje se z vody. Druhá paže v této fázi provádí přípravnou eventuálně přechodnou fázi, tudíž ještě nezabírá. Což Hoch v kinogramu kraulové techniky názorně zobrazuje v Obrázku 1.6. Krátký vydatný nádech ústy je prováděn těsně u hladiny s mírným otočením hlavy k souhlasné paži (1983, 41).



Obrázek 1.6 Kraul - kinogram plavce (Hoch, 1983)

Pomocí sestupné části vlny, tvořící se před hlavou plavce, je možné uskutečnit vdech v těsné blízkosti hladiny. Při zvyšující se rychlosti plavání se rovněž zvyšuje výška a hlavy a vytváření tzv. „důlu“ vlny. Mírný příklon brady k rameni zajistí větší jistotu vdechu. Po dokončení nádechové fáze následuje výdech nosem a částečně i ústy do vody (Hofer, 2011).

Dýchání na tzv. **jedenapůl cyklu** – vdech je prováděn stejně jako v prvním případě, ale po záběru pravou na nádechové straně následuje záběr levou a pravou se zatajeným dechem a na konci záběru levé paže vydechnou – ihned následuje nádech vlevo. Z výsledků měření víme, že největší sílu záběru dokáže vyvinout plavec při zadrženém dechu a nejmenší při nádechu. Proto je z hlediska vynaložení sil výhodné nadechovat se v mezi-záběrové přestávce trvající 0,2-0,3 s. Výdech však z velké většiny zapadá do záběru jedné z paží a tím je záběr poněkud oslaben. Při maximální intenzitě plavání na krátkou vzdálenost (50m), nebo při závěrečném sprintu, překonávají plavci delší úseky bez dýchání. Díky fixaci hrudníku je vytvořena opora pro záběrové svalstvo a plavec má možnost více využít svých silových schopností.

Plavci nadechující se na každý pohybový cyklus oslabují vždy záběr stejné paže a jejich poloha bývá v některých případech stále vychýlená na nádechovou stranu. Při jeden a půl cyklovém dýchání je záběr oslaben střídavě pravou i levou rukou. Poloha plavce má vyrovnanější charakter, avšak frekvence dýchání je nepatrně snížena. Plavci vrcholové úrovně dokážou kombinovat všechny tři varianty dle potřeby i v průběhu závodu (Hofer, 2011).

### ***1.2.5 Parametry lokomoce plavce***

Parametry lokomoce plavce nám mohou přispět k hodnocení účinnosti plavecké techniky. V devadesátých letech bylo zjištěno, že plavci, kteří dosahovali lepší výkonnosti, překonávali vzdálenost delším krokem: 1. - 8. místo 2,181m, 25. - 32. místo 1,914m na 50m a v souvislosti s délkou tratě se délka kroku prodlužovala: 1. - 8. místo na 200m – 2,333m. Dalším parametrem byla doba jednoho cyklu. Zjistilo se, že v souvislosti s délkou tratě se doba cyklu prodlužovala. Z toho můžeme usuzovat, že přibližně stejného výkonu lze dosáhnout různým způsobem. Někteří z plavců zvolí vyšší frekvenci s kratší délkou kroku, jiní naopak dlouhý krok s nižší frekvencí. K dosažení nejlepších výkonů je ale nutné vyniknout stabilitou kroku a frekvencí po celé trati (Hofer, 2011). Hlavatý ve své publikaci uvádí, že antropometrické ukazatele spolu s kinematickými významně ovlivňují plavecký výkon a to až s 1% statistické významnosti (2010).

## 2 BIOMECHANIKA PLAVÁNÍ

U plavecké techniky jde o největší snahu realizovat strukturu pohybů tak, aby bylo dosaženo co nejlepšího výkonu daným plaveckým způsobem při co nejmenších ztrátách. Proto je na techniku kladen požadavek o co největší racionálnost, ekonomii pohybu a účinnost.

Dle Hocha (1983), jeden z pohledů chápání účinnosti sportovní techniky je podíl plaveckého výkonu a stupně rozvoje některé pohybové dovednosti související s výkonem. Účinnost plavecké techniky můžeme posoudit podle odchylky získaného výsledku od vypočteného nomogramu.

Chceme-li studovat mechanické podmínky plavání, musíme vycházet z hydromechaniky. Z hydrostatického hlediska posuzujeme jevy související se vznášením se člověka ve vodě a jeho vodorovnou polohou v klidu na hladině.

### *2.1 Pohyb plavce za působení hydrostatických sil*

#### **Základní fyzikální vlastnosti vody**

Kapaliny, mezi které můžeme zahrnout i vodu, jsou homogenní látky, vyznačující se malou soudržností a nepatrnou změnou objemu s tlakem jen s nepatrným vlivem teploty.

Fyzikální stav vody je určován dvěma veličinami: tlakem  $p$  a hustotou  $\rho$ . Hustota vody je definována poměrem hmotnosti  $m$  a objemu  $V$ .

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$$

### 2.1.1 Hydrostatický tlak

Ponoříme-li těleso do vody, bude na jeho povrch působit *hydrostatický tlak* směřující kolmo na povrch tělesa. Velikost tohoto tlaku  $p$  je určováno hloubkou vody, neboť s větší hloubkou roste i tíže vodního sloupce. Při nádechu je plavec nucen překonávat tlak silou dýchacích svalů, čímž se zvyšuje úroveň dechové funkce plavců.

$$(Pa = kg \cdot Pa = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2})$$

Hlavní jednotkou tlaku pascal  $Pa = N \cdot m^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$

Hustotu  $\rho$  nesmíme zaměňovat s tíhou měrnou  $\gamma$ .

Ta je vyjádřena rovnicí:

$$\gamma = \frac{F}{V} = m \frac{g}{V} = \rho \cdot g \quad (N \cdot m^{-3} = kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-2})$$

Na rozdíl od hustoty  $\rho$  je měrná tíha  $\gamma$  závislá na místě, kde je určována (Hofer, 2011).

Pascalův zákon hovoří o rovnoměrném šíření tlaku v kapalině a dokazuje,

že tlak v kapalině se šíří všemi směry aniž by se někde ztrácel. Tento zákon hydromechaniky můžeme definovat slovně: Jestliže na kapalinu (v našem případě vodu), působí vnější síla, pak tlak v každém místě kapaliny vzroste o stejnou hodnotu, nebo pomocí vzorce:

$$p_2 - p_1 = \rho \cdot g (h_2 - h_1)$$



### 2.1.2 Hydrostatický vztlak

Rozdíl tlaků působících na ponořené části těla v různých hloubkách, se projevuje hydrostatickým vztlakem. Působení této síly je soustředěno v působišti vztlaku  $M$  tedy na geometrický střed těla. Tato síla působí proti gravitaci její velikost je určována Archimédovým zákonem. Opačným směrem v těžišti  $T$  působí tíha  $G$ . Stojí-li plavec ve vzpřímeném postoji jeho těžiště je v oblasti pánve (Hoch, 1983).

Vznáší-li se těleso u hladiny či klesá ke dnu je závislé na poměru sil hydrostatického vztlaku a sil a tíhy, jenž je definován vztahem hustoty lidského těla a hustoty vody.

**Hustota** (měrná hmotnost) vody je definována podílem hmotnosti  $m$  a objemu  $V$ .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

Hustota sladké vody při teplotě 20°C je 998  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a hustota lidského těla v závislosti na dýchání je kolem 1000  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Zda se tělo bude ve vodě vznášet (vdech Obrázek 1.1b) či bude klesat (výdech Obrázek 1.2c) úzce závisí na dýchacím cyklu. Jen malý rozdíl mezi hustotou těla a vody má za následek, že jen malá část těla respektive hlavy se nachází nad hladinou. Zvedneme-li horní končetinu nad hladinu, naruší to rovnováhu a tělo poklesne do větší hloubky (Obrázek 1.1d).

Jak uvádí již Hoch (1983), lidské tělo nemá homogenní charakter a má různou hustotu tkání jako např. tuková tkáň 920-940  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , svalstvo 1040-1050  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a kosti 1700-1900  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Poměr mezi jednotlivými složkami se mění s věkem a liší se dle pohlaví. Bylo prokázáno, že ženy mají lepší schopnost vznášení se než muži. Dokonce někteří muži se silnou kostrou, mohutným svalstvem a menší vitální kapacitou plic nejsou schopni se na hladině vznášet ani při plném nádechu.

V závislosti na teplotě vody a poměru minerálu v ní se mění hustota vody. Vhodnější podmínky pro vznášení lidského těla na hladině nabízí mořská voda s hustotou 1010-1030  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Čím větší obsah soli ve vodě s tím se pojí zvyšující se hustota vody, tím jsou vztlakové síly působící na tělo plavce větší.

Ponoříme-li hranol pod vodní hladinu s obsahem základen  $S$  a výškou  $h = h_2 - h_1$ , síly působící ve vodorovném směru se budou zřejmě rušit. Na horní základnu bude působit síla,

$$F_1 = p_1 \cdot S$$

kteřá se rovná tíže vodního sloupce nad základnou, tedy:

$$F_1 = \gamma \cdot h_1 \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

Obdobně na dolní základnu bude působit síla:

$$F_2 = p_2 \cdot S = \gamma \cdot h_2 \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot S$$

Jejich rozdíl:

$$F_{st} = F_2 - F_1 = \gamma \cdot h_2 \cdot S - \gamma \cdot h_1 \cdot S = (h_2 - h_1) \cdot S \cdot \gamma = V \cdot \gamma = V \cdot \rho \cdot g$$

je dán tíhou kapaliny o objemu hranolu  $V$ , má směr vzhůru, tedy hranol nadlehčuje a nazývá se hydrostatickým vztlakem.

Rovnice představuje Archimédův zákon, těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, rovnající se tíže kapaliny tělesem vytlačené. Působíště hydrostatické vztlakové síly je v těžišti objemu (geometrickém středu objemu) vytlačené kapaliny.

Při vdechu musí plavec překonávat hydrostatický tlak působící na hrudník silou dechových svalů, přičemž rozvíjí své dechové funkce. Hydrostatický vztlak snižuje účinek tíže na jednotlivé části lidského těla, čehož využívá medicína i řada rehabilitačních procesů.

Každým metrem zanoření se zvyšuje hydrostatický tlak na tělo plavce asi o 9800 Pa, což může způsobovat nepříjemný až bolestivý tlak v uších. Při průměrné ploše lidského těla dospělého muže ( $S = 2,0\text{m}^2$ ), dosahuje tato tlaková síla až 2 tun (Hofer, 2011).

## 2.2 Pohyb plavce za působení hydrodynamických sil

### 2.2.1 Proudění kapalin

Vzhledem k tomu, že o kapalinách předpokládáme, že jsou nestlačitelné a vazké pro snazší popis vlastností proudící kapalin si zavedeme pojem ideální kapalina (nevazká a bez tření) a ideální proudění. Dále pro snazší vysvětlení jevů otočíme vzájemný vztah mezi pohybujícím se plavce a neproudící vodou. Tedy plavec zůstane na místě a voda bude proudit na plavce. Stejně, jako Hofer (2011, 20) se dále budeme zmiňovat o **proudnicích**, která je předpokládanou trajektorií jednotlivých částic vody (Obrázek 2.6a) jejíž tečna v libovolném bodě proudnice určuje směr proudících částic a o **proudové trubici** (Obrázek 2.6b), což je myšlená trubice v proudící vodě, jejíž plášť je tvořen proudnicemi (2011, 20).



Obrázek 2.6a

Proudnice ( $v_1$ ,  $v_2$  okamžité rychlosti proudění částice) (Hofer, 2011)



Obrázek 2.6b

Proudnicová trubice (Hofer, 2011)

### ***Rovnice spojitosti proudění***

Vyjádříme-li hmotnost proteklé kapaliny za jednotku času, vztahem:

$$\frac{m}{t} = S_1 \cdot \rho \cdot v_1$$

trubicí o průřezu  $S_1$  proudí kapalina o hustotě  $\rho$  a rychlostí  $v_1$ .

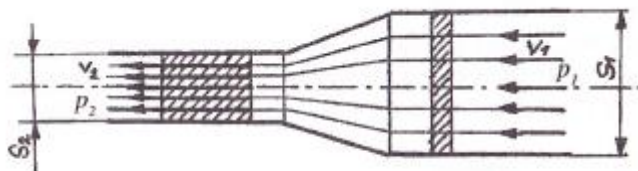
Při proudění kapaliny trubicí různého průřezu protéká každým průřezem za stejnou dobu stálá hmotnost kapaliny, nemá-li dojít k přerušení spojitosti proudění, jež můžeme vyjádřit rovnicí spojitosti (kontinuity) proudění, která je ve své podstatě zákonem o zachování hmoty a můžeme ji vyjádřit jako:

$$S_1 \cdot \rho \cdot v_1 = S_2 \cdot \rho \cdot v_2 = \text{konst.}$$

Proudění můžeme pro kapaliny zjednodušit:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \text{konst.}$$

Z čehož můžeme vyvodit, že čím je průřez trubice větší, tím je rychlost proudění menší a naopak. Proudění v proudové trubicí je podmíněno stejným zákonem, jenž platí i pro proudění kapalin v technickém potrubí. (Obrázek 2.7).

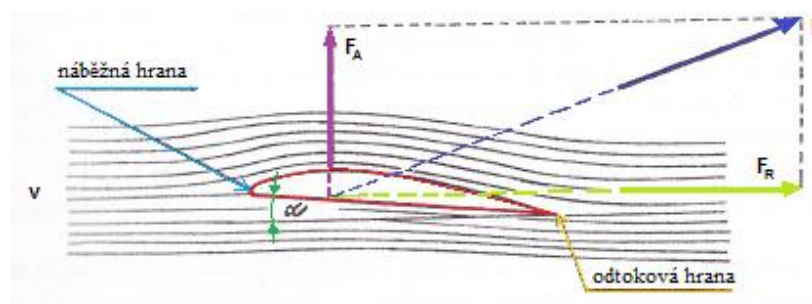


Obrázek 2.7 Proudění kapalin trubicí různého průřezu (Hofer, 2011)

### 2.2.2 Hydrodynamický vztlak

Vznik tohoto tlaku můžeme popsat aplikací rovnice spojitosti a Bernoulliovy rovnice při obtékání křídla. Jestliže je křídlo zobrazeného profilu (Obrázek 8) umístěné v proudu kapalin pod určitým úhlem náběhu  $\alpha$ , částice kapaliny na jeho spodní straně jsou povrchem tělesa brzděny a část svojí energie přeměňují na statický tlak (dle zákona o zachování energie), přičemž vzniká přetlak vůči tlakovým poměrům v okolí. Díky tomuto působení se spodní straně křídla říká tlaková.

Částice kapaliny proudící kolem horní strany křídla se pohybují po delší dráze, než částice kapaliny, která obtéká tlakovou stranu (Obrázek 2.8). Zároveň dochází k zhuštění jejich proudnic, a to zejména nad profilem v oblasti maximální tloušťky profilu, což má za následek zmenšení průřezu proudových trubic. Na základě rovnice spojitosti proudění bylo zjištěno, že v těchto místech dochází ke zvýšení rychlosti a ke zvýšení dynamického tlaku  $q$  a zároveň ke snížení statického tlaku  $p$  (dle Bernoulliho rovnice). Snížením statického tlaku  $p$ , který poklesl na nižší hodnotu, než je úroveň tlaku v okolí, vzniká "podtlak". Díky tlakovému rozdílu vznikají sací síly na horní straně křídla – sací strana křídla (Hofer, 2011).



Obrázek 2.8 Vznik hydrodynamického vztlaku na křídle (Hofer., 2011)

Některé jevy v plavání se již nově zdůvodňují ne Bernoulliho rovnicí, ale třetím Newtonovým zákonem akce a reakce.

Výslednou hydrodynamickou sílu  $F$  vznikající podél celého křídla integrací elementárních tlaků (přetlaků i podtlaků) můžeme rozložit do složky rovnoběžné se směrem přítokové rychlosti kapaliny  $v$  a nazýváme ji *odporem*  $F_R$  a do směru kolmého na směr přítokové rychlosti a tu nazýváme *hydrodynamickým vztlakem*  $F_A$ .

Velikost hydrodynamického vztlaku  $F_A$  můžeme vyjádřit vztahem:

$$F_A = \frac{C_A \rho}{2} v^2 S$$

$C_A$  - součinitel vztlaku,  $\rho$  - hustota kapaliny ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $v$  - přítoková rychlost kapaliny ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $S$  - charakteristická plocha ( $\text{m}^2$ )

Hodnota součinitele vztlaku  $C_A$  závisí zejména na geometrickém tvaru profilu obtékaného křídla a na jeho úhlu náběhu  $\alpha$ , který svírá spojnice náběžné a odtokové hrany tělvy profilu křídla se směrem přítokové rychlosti  $v$ . Empiricky bylo zjištěno, že s rostoucím úhlem náběhu  $\alpha$  se po určité hodnotě lineárně zvyšuje i  $C_A$  a poté nabývá klesající tendence.

### ***2.2.3 Síly působící na plavce při pohybu***

Pohyb plavce ve vodě výrazně ovlivňují již zmiňované hydrodynamické síly vznikající prouděním vody a jejím účinkem na předmět, což se projevuje množstvím důležitých funkcí:

- Působení v průběhu záběrové fáze na distální části horních a dolních končetin, které jsou zdrojem propulze (pohonné = složky pohybu)
- Části těla nepodílející se aktivně na lokomoci (hlava, trup a části horních a dolních končetin), které během záběrové fáze nevytváří hnací sílu, jsou zdrojem odporu proti pohybu. Pro jednotlivé plavecké styly je nutné vyhodnocovat funkci jednotlivých segmentů. Zda se jednotlivé segmenty těla podílejí na propulzi či odporu proti pohybu, je nutné vyhodnocovat pro každou plaveckou techniku a danou fázi samostatně.

- Polohu těla při plavání ovlivňuje působení odporu, hydrostatického a hydrodynamického vztlaku na trup a na horní a dolní končetiny

Při plavání v průběhu pohybového cyklu se vyskytují fáze, při nichž dochází k zvýšení hnací síly a fáze, kdy se hnací síla sníží případně je rovná nule. Poklesne-li hnací síla, dojde tím ke snížení rychlosti a začnou být v převaze síly odporu. Pokud plavec nevytvoří žádnou hnací sílu, pohybuje se pouze působením setrvačné síly. Do chvíle než plavec vytvoří další hnací sílu, je jeho pohyb neustále brzděn, a to až do úplného zastavení. Pokud dojde k nárůstu hnací síly, rychlost plavce se zvýší, a však zrychlení je zpomaleno zvyšujícím se odporem i setrvačnými silami (Hoch, 1983).

Lokomočními pohybem končetin ve vodním prostředí vytváří plavec hydrodynamické síly, kterých využívá k vytvoření propulzních sil. Zároveň však tyto síly plavce rozhodujícím způsobem brzdí. Proto hydrodynamické síly rozlišujeme na síly hnací a brzdivé (Obrázek 2.9)



Obrázek 2.9 Zobrazení determinant vlivů na plavecký výkon plavce

### *Newtonovy zákony o pohybu těles*

- **Zákon setrvačnosti:** Každé těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno tento stav změnit působením jiné síly nebo jiného tělesa.

- **Zákon síly:** Zrychlení tělesa je přímo úměrné síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.
- **Zákon akce a reakce:** Pro zjednodušení můžeme říci, že každá akce vyvolává stejnou reakci opačného směru (tj. dvě tělesa na sebe působí silami stejné velikosti, ale opačného směru).

Pokud chce plavec stupňovat svoji rychlost a dosáhnout co možná nejlepšího výkonu, je to možné jen v případě, že se mu podaří zvyšovat hnací síly paží, nohou a trupu a současně zmenšovat odpor vody vhodným tvarem a polohou těla. Nebudeme-li brát v potaz fyziologické, biologické a biomechanické a jiné determinanty podmiňující výkon plavce.

### ***2.3 Odpor vodního prostředí proti pohybu plavce***

Působení sil proti pohybu plavce nazýváme hydrodynamickým odporem, nebo pouze odporem. Vznik této síly i její velikost záleží na tom, zda plavec vykonává lokomoci na hladině, či pod hladinou.

#### ***2.3.1 Odpor vody proti pohybu plavce na hladině***

Stanovení celkového odporu působícího proti pohybu plavce na povrchu vodní hladiny můžeme stanovit pomocí:

$R_T$  - odporu tření – síly vznikající důsledkem tečných smykových napětí částic vody

$R_{VL}$  - odporu vlnového – je dán kolmým tlakem vody na povrch těla plavce

$R_{TV}$  - odporu tvarového – vzniká z rozdílu, jenž působí na přední či zadní obtékanou část těla plavce.

Vyjádřit jej můžeme rovnicí:  $R = R_T + R_{VL} + R_{TV}$



Díky teorii fyzikální podobnosti můžeme vyjádřit celkový odpor kapaliny proti pohybu tělesa vztahem:  $R = \frac{C_R \rho}{2} v^2 S$

Kde značí:

R - celkový odpor (N),  $C_R$  - součinitel celkového odporu (bezrozměrné číslo)

P - hustotu vody ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), v - okamžitou rychlost pohybujícího se tělesa ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

S - smočený povrch těla ( $\text{m}^2$ )

Velikost třecího odporu  $F_t$  je definován vzorcem:

$$F_t = C_t S_t \frac{\rho v^2}{2}$$

$C_t$  - součinitel třecího odporu,  $S_t$  - obsah plochy omočeného povrchu těla,  $\rho$  - hustota vody, v - rychlost pohybu.

Hodnota součinitele třecího odporu  $C_t$  je ovlivňována řadou činitelů, jako je proudění kolem tělesa atd. Obtéká-li proud vody ve vrstvách, které jsou rovnoběžné s povrchem těla plavce, je proudění laminární (Hoch, 1983).

### **2.3.2 Laminární proudění**

Laminární proudění je ustálené proudění kapalin, při kterém procházejí mezi sousedními vrstvami jen molekuly (mikroskopické částice), kdežto shluky molekul (makroskopické částice) se vůči sobě pouze posouvají ve vrstvách rovnoběžných se směrem proudu, nenarážejí na sebe a nepřecházejí z jedné vrstvy do druhé. Důsledkem laminárního proudění jsou menší brzdící síly na styku kapalin s povrchem tělesa a tedy menší odpor tření.

Při zvyšující se rychlosti pohybu se začne voda odtrhávat a vytváří se víry tzv. turbulence. Mezi sousedními vrstvami kapaliny se mísí, jak izolované molekuly, tak shluky molekul. Z důvodu mnohonásobně vyšší hmotnosti těchto

makroskopických částic, než je hmotnost jednotlivých molekul, je i podstatně větší vzájemně předávaná kinetická energie z jedné vrstvy do druhé, což se projevuje zvýšením tečného napětí v kapalině a zvětšením tvaru gradientu rychlosti. Větší odpor tření je důsledkem turbulentního proudění, při němž vznikají větší brzdící síly na styku kapaliny s tělesem (Hofer, 2011).

### 2.3.3 Turbulentní proudění

Pokud kapalina proudí vyšší rychlostí dochází k turbulentnímu proudění při němž dochází k promíchávání jednotlivých vrstev kapaliny, přičemž se kapaliny kromě posuvného pohybu také otáčejí kolem své osy (Kalichová, Baláž, bedřich, Zvonař 2011). Turbulentní proudění zvětšuje hodnotu součinitele třecího odporu  $C_t$ . Ve chvíli kdy laminární proudění přechází v turbulentní, jedná se o takzvanou kritickou rychlost, kterou udává Reynoldsovo číslo  $R_e$ , řídí se vzorcem:

$$R_e = \frac{vb}{\nu}$$

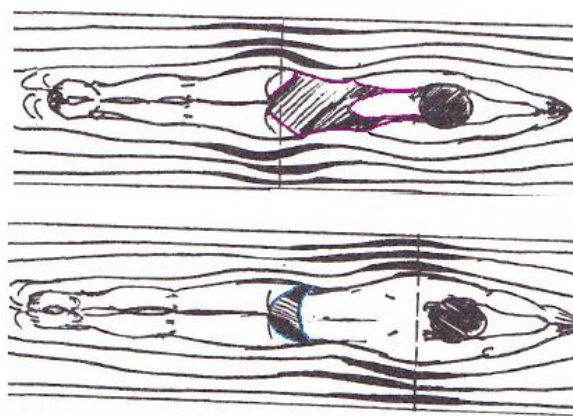
$v$  = rychlost pohybu,  $b$  = charakteristický rozměr tělesa,  $\nu$  = viskozita vody

Dosadíme-li do vzorce za  $b$  – tělesnou výšku plavce, můžeme vyvodit, že vyšší sportovec je za stejných podmínek oproti menšímu ve výhodě.

U turbulentního proudění dochází mezi sousedními vrstvami kapaliny k mísení izolovaných molekul a ke shluku molekul. Vzájemné předávání kinetické energie z jedné vrstvy do druhé je mnohonásobně větší díky podstatně vyšší hmotnost makroskopických částic oproti jednotlivým molekulám, což se významně projeví na zvýšení tečného napětí v kapalině a zvětšení i tvaru gradientu rychlosti. Působení brzdících sil při styku kapaliny s tělesem roste s vlivem turbulentního proudění, přičemž se zvyšuje třecí odpor. Z čehož můžeme vyvodit, že na velikost odporu tření má rozhodující vliv druh proudění vyskytující se v mezní vrstvě ten je zase závislý na tvaru tělesa, jeho rozměrech a přítokové rychlosti vody.

U tělesa příznivého tvaru, z hlediska obtékání (tzv. proudnicový tvar) je mezní vrstva v přední části velmi tenká. Díky tomuto jevu zůstává laminární proudění na určité části tělesa až do chvíle místa přechodu, kdy se laminární proudění mění na turbulentní stav. Se zvětšující se vzdáleností od přední náběžné hrany obtékaného tělesa se zvyšují jak laminární tak turbulentní vrstvy. Je prokázáno, že oblast laminární mezní vrstvy se zvětšuje s posouváním maximálního průřezu tělesa od náběžné hrany směrem na zád' (Hofer, 2011).

Velký vliv na tento jev má umístění největšího průřezu těla v jeho délce. Za tímto místem se budou se větší pravděpodobností vytvářet víry zvětšující odpor. Pro dosažení co nejmenšího součinitele třecího odporu je důležité, aby k tvorbě vírů docházelo na co nejmenší ploše povrchu těla plavce, čemuž nejvíce vyhovuje klínovitý tvar tělesa s jeho největším průřezem umístěným v druhé třetině jeho délky. Tímto můžeme zdůvodnit proč, se ženy střetávají s menšími brzdícími silami než muži za stejných podmínek. Porovnáme-li tvar mužského a ženského těla, zjišťujeme, že ženské tělo má ve více případech lepší předpoklady k laminárnímu proudění pro větší obvod v gluteální oblasti (v oblasti hýždí), tedy i příčný profil v této oblasti je větší, nebo alespoň stejný jako obvod hrudníku (Obrázek 2.10). Naopak u mužů na základě antropologických vyšetření vyplývá, že jejich největší příčný profil těla je v oblasti hrudníku (Hofer 2010, 27).



Obrázek 2.10 Porovnání tvaru ženy a muže při splývání (Hofer, 2011)

### 2.4.4 Tvarový odpor

Tento odpor je důležitou součástí jak hnacích, tak brzdících sil. Jeho hlavním významem spočívá v možnosti ovlivnění velikosti tohoto odporu změnami tvaru i náběhových úhlů. Nejmenší tvarový součinitel odporu zaujímá těleso ve tvaru kapky, proto je snaha za ujmoutí takzvaného doutníkového tvaru těla, při němž je tělo plavce nejlépe obtékáno a o co nejhodnější nastavení záběrových ploch.

Při pohybu ve vodě tělo plavce naráží na částice vody, které odstraňuje ze své cesty, a tím vzniká tlak na náběhovou stranu. Díky vznikajícím vírům se za plavcem tvoří podtlak. Tyto síly brání pohybu plavce a označují se jako tvarový odpor  $F_d$

$$F_d = C_d S_d \frac{\rho v^2}{2}$$

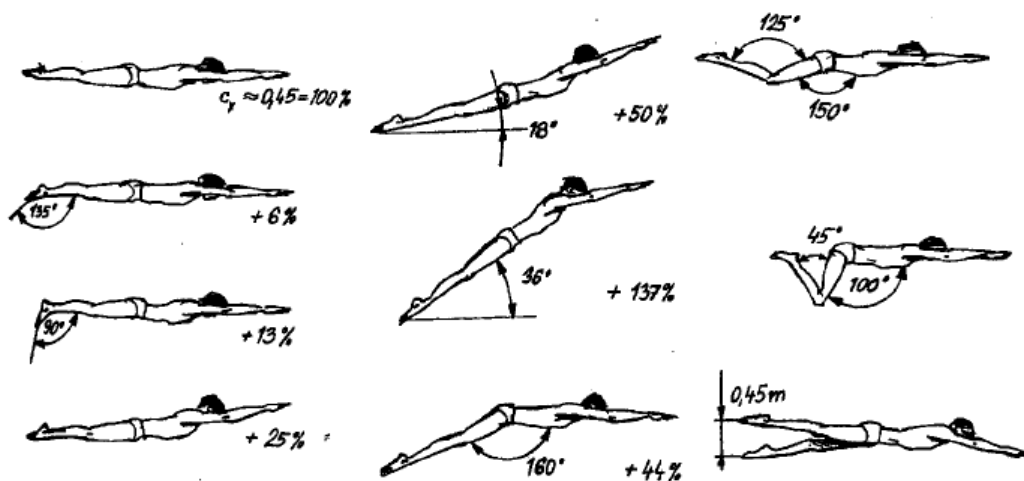
řídící se vztahem:

$C_d$  - součinitel tvarového odporu-závisející na tvaru náběžné a odtokové strany tělesa

$S_d$  - plocha průmětu tělesa do roviny kolmé na směr pohybu,  $\rho$  = hustota vody,

$v$  = rychlost pohybu

Vodorovnou polohou těla a minimálním ponořením zmenšující průmět, může plavec minimalizovat tvarový odpor těla (Obrázek 2.11), avšak je nutné si uvědomit, že na hladině vzniká nemálo významný vlnový odpor.



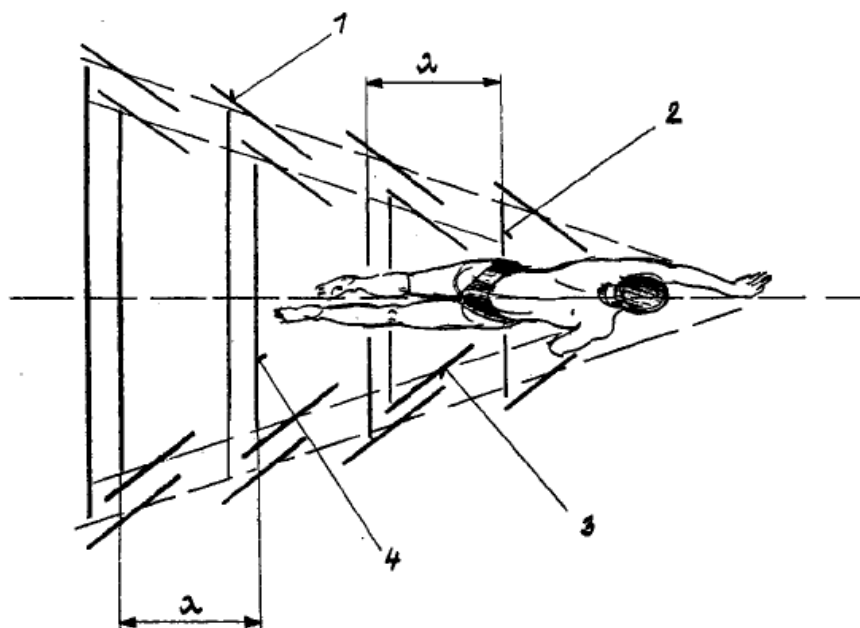
Obrázek 2.11 Závislost celkového odporu na úhlu náběhu těla plavce a polohách jeho segmentů při rychlosti  $v = m \cdot s^{-1}$  (Onoprienka, 1979).

Vzrůstem tvarového odporu dochází ke zvýšení celkového odporu (součinitel  $C_R$ ). Ve fázi skrčení nohou, zejména u plaveckého způsobu prsa, nebo při hyperextenzi v kolenním kloubu u ostatních plaveckých technik, se tvarový odpor taktéž významně projeví svým nárůstem. Při zvětšeném náběhovém úhlu, což je úhel mezi osou tělesa a směrem jeho pohybu, nebo šikmou či jinak špatnou polohou těla ve směru plavání, taktéž dochází k zvýšení velikosti tvarového odporu (Hofer, 2011)

#### ***2.4.5 Vlnový odpor***

Tento odpor vzniká při pohybu těles na vodní hladině nebo v její blízkosti. Vlivem vln dochází k většímu či menšímu ponoření některých částí těla a tím k nerovnoměrnému rozložení tlaku, takže výslednice tlakových sil není kolmá k podélné ose, ale je skloněna pod určitým úhlem. Tudíž vlnovým odporem nazýváme průmět podélné osy, jenž má opačný směr než je pohyb plavce.

jak Hofer uvádí, pokud není dynamický tlak roven nule na některé z části těla povrchu plavce, vytváří plavcova hlava a ramena tzv. přední vlnu a boky případně stehna tzv. zadní vlnu, přičemž vlnění můžeme dále rozlišit na rozbíhající se a příčné vlny (Obrázek 2.12). Čelo vrcholů rozbíhajících se vln svírající s mediánní rovinou úhel 36-40°. Tento úhel je prakticky nezávislý na hloubce vody, rychlosti pohybu tělesa i jeho tvaru. (2011, 28)



Obrázek 2.12.

Schéma vlnového systému, který vzniká za vlnového pohybu plavce na hladině

(1 – přední rozbíhající se vlny, 2 – přední příčné vlny, 3 – zadní rozbíhající se vlny, 4 – zadní příčné vlny  $\lambda$  – délka vlny) (Hofer, 2011)

Čím bude plavec plavat hlouběji pod hladinou, tím bude jeho vlnový odpor menší. Při plném ponoření plavce pod hladinou bude jeho vlnový odpor nulový, tudíž můžeme říci, že plavání pod hladinou je rychlejší než plavání na hladině.

Froudeho definuje závislost vlnového odporu na velikosti a rychlosti plavce.

$$F_r = \frac{v}{g L}$$

Kde je:  $v$  – rychlost pohybujícího se tělesa ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $g$  – gravitační zrychlení ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ),  $L$  – délka tělesa - výška plavce (m) (Hoch, 2011).

### ***3 DOSAVADNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY***

V této kapitole se pokusíme nastínit vývoj dosavadního stav řešení problematiky v ČR i v zahraničí a zaměříme se na teoretický rozbor statické měření sil matematické vyjádření metody kinetického měření rychlosti s využitím měřícího zařízení Tachofraf jehož autorem je Motyčka.

#### ***3.1 Vývoj experimentálního měření sil***

V letech 1955 -1977 byl vývoj experimentálního zkoumání sil, působících při plavání, směřován dvěma směry. Autoři jednoho z těchto směrů považují odpor vody, který je kladen plavci při pohybu ve vodě, za rovný síle plavce a zaměřili svůj výzkum na zkoumání tohoto odporu. Ve druhé skupině autorů se zaměřili na přímě experimentální měření a to připoutáním plavce k dynamometru. Plavecký dynamometr je zařízení pro měření sil na pevném závěsu při nulové dopředné rychlosti pohybu. Později bylo toto zařízení zdokonaleno tak, aby velikost sil při brzděném plavání.

V roce 1962 Kawabori aplikoval pružný závěs spolu s dynamometrem a s měřením času k určování plavecké techniky.

Moster-Jungbloed (1964) měřil skupinu 19 žen a 11 mužů olympijské úrovně. Měřené osoby byly k dynamometru připojeny pružným nylonovým lanem a plavaly na místě po dobu jedné minuty souhrou a 20s pouze nohami a pouze pažemi všemi čtyřmi způsoby. Do výsledků byly zaznamenány dosažené průměry z každého testu. Z těchto získaných výsledků byl odvozen názor, že hnací síla není jediným faktorem, který určuje rychlost plavání. Grafy získané z tohoto způsobu měření byly využity k analýze záběru. Goldfuss-Nelson 1971 znovu měří sílu plavce při nulové rychlosti plavání po dobu 2 min. Kopřiva (1954,1967) a Seireg-Baz v roce 1971 využívají dosud známé výsledky měření a na matematicko-fyzikálních a hydrodynamických zákonitostech usuzují závěry pro mechaniku plavání. Juřina ve své kompilační práci

v roce 1972 se pokouší srovnat výsledky měření sil a velikosti odporu vody při plavání a dokazuje, že se výsledky měření u jednotlivých autorů rozcházejí a to zejména ve vyšších rychlostech plavání (Motyčka 1971). Tyto rozdílnosti ve výsledcích můžeme zdůvodnit úrovní výkonnosti měřených jedinců, rozdílnou přístrojovou technikou, dále tím, že měření trvala v rozpětí 10-180s, byli měření plavci odlišných somatických parametrů i počty opakování byly různé, což byly výrazně zkreslující činitele (Motyčka, 1979).

Na Faculty of sports ve Fukuaku v Japonsku v roce 1999 experimentálním měřením Shuji Shimonagata, Masahiro Taguchi, Shouichirou Taba a Miyuki prokázali a v článku Estimation of propulsion and drag force in front crawl stroke publikovali, že plavec musí působit pro dopředný pohyb při brzděném plavání  $150,12 \pm 29,98$  N měřeno po dobu 20s. Magel, na něhož se japonští vědečtí pracovníci navazují, publikoval, že při brzděném plavání musí plavec pro dopředný pohyb vyvinout sílu  $131,3N \pm 12,7N$  (Shuji Shimonagata, Masahiro Taguchi, Shouichirou Taba & Miyuki, 1999).

Katedra športov v prírode a plávania, Fakulta telesnej výchovy a športu, Univerzity Komenského v Bratislavě v roce 2011 pořádala studentskou konferenci, kde Barták (2011) prezentuje článek, v němž se zabývá úrovní izokinetické síly, která byla monitorována plaveckým izokinetickým dynamometrem při brzděném plavání při rychlosti 0,6 m/s v časovém horizontě 10 sekund prsařskou souhru (Barták, 2011).

Od roku 1971 až do současnosti 2012 měří pomocí plaveckého tachografu rychlost a zrychlení plavců bez omezení plavcova dopředného pohybu (Viz kapitola 3.3).

### ***3. 2 Metoda statického měření sil – dosavadní stav řešené problematiky***

Motyčka se v začátcích svého experimentálního měření sil v letech 1963-1969 zaměřil na měření hnací síly u plavců. Probandi oblečeni do speciálních šlů byli připevněni na plavecký dynamometr pomocí nepružného závěsu (ocelového lanka 4 mm) a plavali na místě plavání po dobu 15s nohy, paže, souhra a v dalším testu



plavali probandi 1min souhrou. Byl prováděn zápis průběhu sil, tak i jejich přímá integrace s chybou měření +/- 3% po dobu 15s.

Motyčka připouští, že plavání na místě je nepřirozené provádění pohybů plavecké lokomoce, ale jinak nelze přímo síly vyvíjené při plavání změřit. Takto upevněný plavec, při nulové rychlosti plavání, nemusí překonávat odpor vody, ale zároveň vznikají kladné a záporné setrvačné síly, které se vytváří promáčknutím upevňovacích popruhů do měkkých částí ramen plavce. Další nepříznivě ovlivňující determinantou reálně vytvářených sil plavcem je to, že se plavec po celou dobu záběru opírá o vodu, která stojí a není v pohybu, jako v případě dopředného pohybu plavce při běžném plavání.

Dále Motyčka uvádí, že při nepřirozeném plavání s nulovou rychlostí dochází k ovlivnění plavcovi techniky např. narušení polohy těla a nepřiměřené zanoření plavce pod vodní hladinu, z důvodu klesání hydrostatického vztlaku při přenosu paží (zejména u motýlka), přičemž plavec nemá možnost pažemi eliminovat vztlakovou sílu pohybem vpřed. Naměřené hodnoty profesorem Motyčkou jsou uvedeny v Tabulce 3.1 (Motyčka, 2001).

Tabulka 3.1 Síly plavců. ČR při plavání na nepružném závěsu (15s) (Motyčka, 2011)

Způsob		Frekvence	A max (N)	$\tilde{A}$ max (N)	I. A (s) (kg/s)
<b>Kraul</b>	Nohy	40	148	98	50
	Paže	20	311	199	92
	<b>Souhra</b>	<b>19</b>	<b>403</b>	<b>270</b>	<b>113,3</b>

*Note:*

*A max – maxima sil při plavání na nepružném závěsu po dobu 15s*

*$\tilde{A}$  max – průměr všech maxim při plavání na nepružném závěsu po dobu 15 s*

*I. A – impuls síly síle násobené časem – tj. plocha pod křivkou násobené časem*

*F- frekvence záběru násobené časem*

Síly, které musí rekreační plavec vyvinout 80-120N proti odporu vody, se značně liší od sil vynakládaných závodním plavcem (Motyčka, 2011).

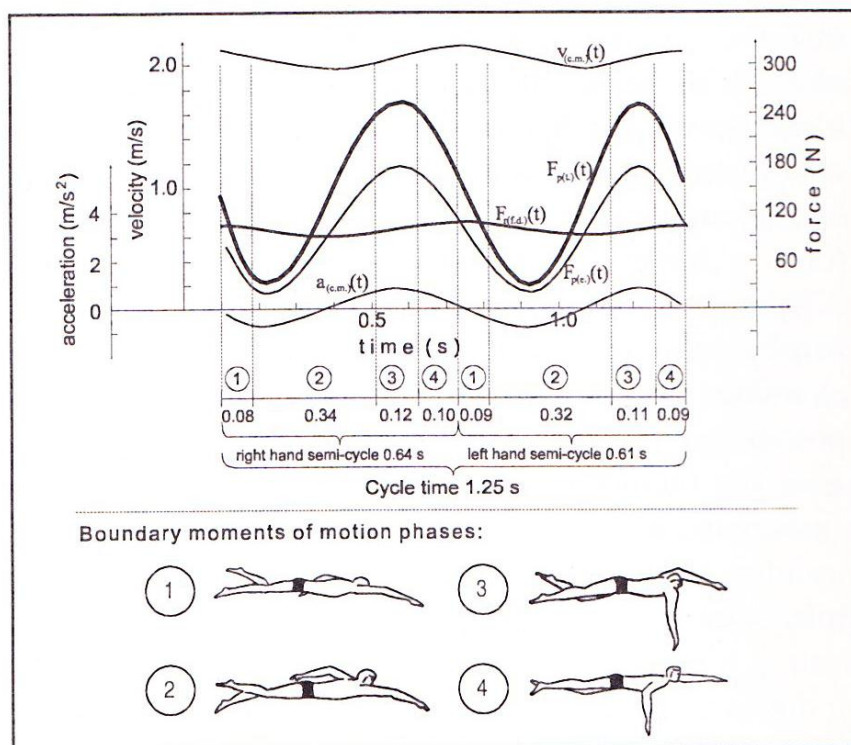
Na základě výsledku měření Motyčky (1979) uvádí, že velikost průměrné maximální síly je závislá na:

- Na plaveckém způsobu a hmotnosti měřeného jedince
- Na schopnosti uplatnit sílu při plavání pouze pažemi

Při měření plaveckých způsobů na pevném závěse, dochází k velkému kolísání rychlosti, a to zejména u prsou a motýlku a jejich průměrná maximální síla je výrazně vyšší než u plaveckých způsobů, při nichž je jejich rychlost více konstantní a při měření docházelo k dynamickému rázu. Profesor Motyčka uvádí důvod zpětného rázu pružnost měkkých částí ramene u měřené osoby. Z výše uvedených důvodů prof. Motyčka udává, že měřící metodou na statickém závěsu nelze spolehlivě posuzovat techniku plavání a však autor připouští, že za použití dynamometru při nulové rychlosti lze přínosně plaveckou techniku diagnostikovat (Motyčka, 1979).

### ***3.2.1 Kinetického měření rychlosti a zrychlení dosavadní stav řešené problematiky***

Vědečtí pracovníci z Pomor Univerzity z Ruska v roce 1999 představili svoji bio-hydro-dynamickou metodu (BHD-method) měření plavců. (Obrázek 3.1) Z grafického výstupu měření můžeme vidět, že jejich BHD metodou lze měřit jak rychlost, tak zrychlení a odečíst sílu kterou plavec vyvine v průběhu jednotlivých fází záběru (Kolmogorov & Lyapin 1999).



Obrázek 3.1 Hlavní charakteristika BHD-analýzy na kraulovém plaveckém cyklu

V současné době profesor Motyčka na Centru sportovních aktivit Vysokého učení technického v Brně, ve spolupráci s dalšími pracovišti VUT v Brně, řeší kinetickou a dynamickou analýzu přímočarých pohybů člověka a od roku 2008 do roku 2012 bylo provedeno přes dvacet měření jak české seniorské a juniorské plavecké reprezentace, tak plavců kondiční úrovně z řad studentů VUT v Brně.

Rychlost a zrychlení, čas nebo dráhu v plavání měříme dvěma tachografy, se synchronními videozáznamy pohybu plavce třemi videokamerami pod vodou. Plavec s pásem okolo boků, tak aby byl co nejbližší těžiště těla, byl spojen s tachografem tenkým ocelovým lankem, které je v současnosti nahrazenou tkaným lankem, aby nedocházelo k zamotávání a lámání ocelového lanka. (Motyčka, 2011)

Tachograf snímal odvinutou délku, rychlost a zrychlení, a tyto veličiny byly zaznamenávány vícekanálovým zapisovačem, později měřicím magnetofonem a úrovnovým čítačem. Tyto záznamy byly vyhodnoceny řadou ukazatelů: průměrnou rychlostí, rozsahem rychlostí, mechanickou účinností, statistickými ukazateli, nověji byla použita harmonická analýza,

protože časový průběh okamžité rychlosti je u dobrých plavců téměř periodický (Motyčka, 2001, 37).

Pro objektivní analýzu plavecké techniky byly naměřené a vyhodnocené ukazatele porovnány s výkonností plavců, čímž se potvrdil mechanický požadavek na co nejmenší kolísání rychlosti plavecké techniky. Pan prof. Motyčka udává, že pokud by byl plavec schopen plavat stálou a rovnoměrnou rychlostí, byla by jeho mechanická účinnost plavecké techniky rovna jedné.

S rostoucím kolísáním okamžité rychlosti klesá účinnost plavecké techniky, protože odpor vody roste s druhou mocninou rychlosti, a výdej energie při zvýšení rychlosti je větší, nežli úspora energie při snížení rychlosti. Účinnost se počítá jako podíl práce při rovnoměrné průměrné rychlosti a práce při kolísající rychlosti, která je vždy větší, a proto je účinnost vždy menší než jedna (Motyčka, Lepková, Šťastný & Pašek, 2011).

### ***3.2.2 Matematické vyjádření výpočtů k vyhodnocení měření dynamickou a kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení***

Rychlost a zrychlení, čas a dráha byla měřena dvěma tachografy, se synchronními videozáznamy pohybu plavce třemi videokamerami pod vodou. Zde si blíže podíváme na teoretickou analýzu výpočtů měření kinetickou metodou tachografu.

Střední hodnota rychlosti

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

nebo také

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$$

(Střední rychlost ovlivňuje všechny vypočítávané veličiny)

Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2$$

Směrodatná odchylka

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$$

$$s = +\sqrt{s^2}$$

Variační koeficient

$$V = \frac{s}{\bar{v}} 100 [\%]$$

Směrodatná odchylka

Software vyhodnocující směrodatnou odchylku, udávající velikost kolísání rychlosti plavce, a střední rychlost ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n}}$  lomená střední rychlostí udává bezrozměrnou poměrnou veličinu uváděnou v procentech – variační koeficient:

$$C = \frac{s}{\bar{v}} * 100 = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}}{\bar{v}} * 100 (\%)$$

Koeficient šikmosti (asymetrie)

$$A = \frac{\mu_3}{s^3}$$

Kde

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^3$$

Koeficient špičatosti (exces)

$$K = \frac{\mu'_4}{s^4} - 3$$

Kde čtvrtý centrální moment s uvažováním Sheppardovy korekce je:

$$\mu'_4 = \mu_4 - (v_2 - v_1^2) * \frac{h^2}{2} - \frac{7h^4}{240} \quad (h = \text{šířka třídy})$$

$$\mu_4 = v_4 - v_3 v_1 + 6 v_2 v_1^2 - v_1^4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^4$$

$$v_1 = \bar{v}$$

$$v_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2$$

$$v_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3$$

$$v_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^4$$

Relativní četnost

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$

$n_i$  = počet vzorků v dané třídě

$n = \sum_{i=1}^n n_i$  celkový počet vzorků

Práce při rovnoměrné rychlosti je rovna součinu síly a dráhy nebo součinu výkonu a času, kde síla nebo výkon jsou stálé:

$$F = k \bar{v}^2$$

A výkon:

$$P = F v = k \bar{v}^3$$

Práci při rovnoměrné rychlosti můžeme vypočítat pomocí vztahu pro práci - ze síly a dráhy

$$A_F = F L = k \bar{v}^2 L$$

nebo z výkonu a času:

$$A_P = P t = k \bar{v}^3 t$$

Účinnost byla stanovena z tachogramu (z průběhu okamžité rychlosti). Výpočet provádí počítač. Protože záznamy rychlosti, kterou provedly přístroje, má osu x čas a nikoliv dráhu, musíme použít rovnici z výkonu a času. Při proměnlivé rychlosti musíme ale práci integrovat nebo sumovat (Motyčka, 1979, 21).

Integrace by byla

$$A_p = \int_0^t P dt = k \int_0^t \bar{v}^3 dt$$

Prakticky se provádí sumace

$$A_p = k(v_1^3 + v_2^3 + \dots + v_n^3)\Delta t = k \cdot \Delta t \sum_{i=1}^n v_i^3$$

A účinnost plavecké techniky

$$\eta = \frac{A_{\text{rovnoměrná}}}{A_p} = \frac{k \bar{v}^3 t}{k (v_1^3 + v_2^3 + v_3^3 + \dots + v_n^3)} = \frac{k \bar{v}^3 t}{k \Delta t \sum_{i=1}^n v_i^3} = \frac{\bar{v}^3 t}{\Delta t \sum_{i=1}^n v_i^3}$$

**Účinnost** plavecké techniky je počítána jako poměr dvou prací. Práce, kterou by vykonal plavec, kdyby plaval zcela rovnoměrně, je vždy menší než práce při proměnlivé rychlosti a proto účinnost je vždy menší než 1.

$$\eta = \frac{\text{práce při rovnoměrné rychlosti (menší)}}{\text{práce při skutečné rychlosti (větší)}} = \frac{k \bar{v}^3 t}{k \Delta t \sum_{i=1}^n v_i^3}$$



## ***4 CÍLE A HYPOTÉZY***

### ***4.1 Hlavní cíl práce***

Hlavním cílem práce je analýza kraulové techniky pomocí metody statického měření sil a metody kinetické měření rychlosti a zrychlení.

### ***4.2 Dílčí cíle práce***

Prvním dílčím cílem je teoretický rozbor kraulové techniky a biomechanických zákonů vodního prostředí.

Dalším dílčím cílem je seznámení se s metodami pro měření a vyhodnocování plavecké techniky, vytvoření výzkumného souboru a navrhnutí a realizace praktického měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení a statickou metodou měření sil.

Posledním dílčím cílem je vyhodnocení realizovaných měření a posouzení možností obou metod pro analýzu plavecké techniky kraul.

### ***4.3 Hypotézy***

**H1:** Průměrná hodnota z naměřených hodnot sil a průměr maximálních amplitud sil naměřených statickou metodou měření bude u probandů z výzkumného souboru 1SM (závodní kategorie) vyšší než u probandů z výzkumného souboru 2SM (kondiční kategorie) u kraulové souhry plaváno na maximum a volně.

**H2:** Výzkumný soubor 1KM (nejvyšší výkonnostní úrovně) bude dosahovat vyšších maximálních hodnot amplitud sil, spočtených ze zrychlení než výzkumný soubor 2KM (střední výkonnostní úrovně) u kraulové souhry na maximum.

**H3:** Vyšší hodnoty střední rychlosti a účinnosti budou mít probandi s vyšším průměrem amplitud maximálních hodnot silového působení u kraulové souhry na maximum.

**VO1:** Bude silové působení probandů při měření metodou statického měření sil (bez dopředného pohybu), větší než nepřímo měřené silové působení měřené kinetickou metodou u kraulových nohou, kraulových paží a kraulové souhry?

## 5 METODIKA VÝZKUMU

### 5.1 Kritéria pro výběr měřených osob

Pro metodu statického měření sil bylo vybráno deset probandů z řad studentů Fakulty sportovních studií Masarykovy Univerzity včetně závodních plavců. Probandi byli vybráni dle úrovně plaveckých dovedností a byli rozděleni do dvou výkonnostních kategorií dle dosaženého osobního maxima na 100VZ (Tabulka 6.1).

Pro metodou kinetického měření rychlosti a zrychlení byli vybráni probandi z řad plavců vrcholové úrovně a z řad studentů Fakulty podnikatelské Vysokého učení technického v Brně oboru managementu v tělesné kultuře. Všichni probandi byli zařazeni do patřičné výkonnostní úrovně dle dosaženého osobního maxima na 100VZ (Tabulka 6.1.).

Metodou statického měření sil byli probandi měřeni v roce 2010 a metodou kinetického měření rychlosti a zrychlení byli probandi měřeni v období 2011 - 2012.

1. Skupina – závodní plavci Muži: 0:01-1:00, Ženy: 0:01-1:15  
(1SM-měřeno statickou metodou, 1KM-měřeno kinetickou metodou)
2. Skupina – kondiční plavci Muži: 1:01 - 1:37, Ženy: 1:16 - 2:05  
(2SM-měřeno statickou metodou, 2KM-měřeno kinetickou metodou)

Záměrný výběr jedinců pro měření byl vykonán podle následujících kritérií:

- stejný počet mužů i žen do dvou výkonnostních skupin pro vhodné grafické a statistické vyhodnocení výsledků u obou metod měření.
- rozřazení do skupin bylo určeno dle dosaženého osobního maxima na 100m VZ
- věkové rozpětí 20 až 30 let
- aktivní sportovci s předpokládanou vyšší výkonností než běžná populace
- odlišné sportovní zaměření, včetně závodních plavců
- morfologická charakteristikou probandů nebyla determinantou pro výběr probandů.

## **5. 2 Podmínky získávání dat při statické metodě měření sil**

Měření probíhalo ve dvou fázích. Fáze zkušební a fáze experimentálního měření síly na statickém závěsu s nulovou rychlostí plavání na plaveckém bazéne standardizovaných rozměrů v krajní dráze.

### **5. 2. 1 Prostředí měření při statické metodě měření sil**

- Měření probíhalo na 6 dráhovém 25m bazéne Brno Lesná.
- Teplota vody byla 26° – 27° C
- Měřicí systém byl nainstalován v krajní dráze bazénu dál od oken.
- Měření probíhalo za běžného provozu ve vyhrazené dráze pro měření.

### **5. 2. 2 Prostředky k realizaci měření statickou metodou**

Ve spolupráci s Vysokým učením technickým v Brně byl zapůjčen digitální siloměr IMADA ZP s ním bylo měření realizováno.

K realizaci měření byly použity následující prostředky:

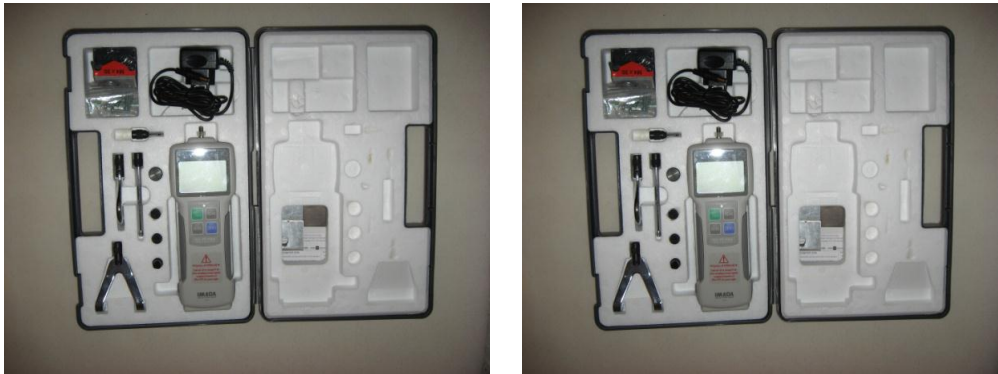
- Digitální siloměr IMADA ZP je siloměr s tenzometrickým snímačem. Dokáže naměřit a zaznamenat až 1000 hodnot za sekundu (Obrázek 5.1). To umožňuje detailně pozorovat i časově velmi krátké změny a přesně stanovit maxima a minima naměřených hodnot.

Vlastnosti digitálního siloměru:

- Měřicí rozsah: 0-500N
- Přetížitelnost až 200% měřicího rozsahu
- Kontrola přetížení pomocí LED kontrolky
- Zobrazení hodnoty síly v jednotkách N (Newton), lbf (libra), kgf (kilogram)
- Automatické spuštění měření při silovém působení

Pomocí USB konektoru a propojení s počítačem lze data online zobrazovat v analytickém programu ZP Recorder. Následně lze naměřené hodnoty exportovat a dál zpracovávat například v programu MS Excel.

- software pro zpracování a analýzu naměřených dat ZP-recorder
- notebook LENOVO R 60
- duralová tyč o průměru 18mm, tloušťka stěny 1m a délka tyče 2,5m
- popruhy k závěsu plavce (Obrázek 5.2)
- konstrukce k uchycení přístroje



Obrázek 5.1 a, b Digitální siloměr IMADA



Obrázek 5.2 Speciálně ušité popruhy k závěsu plavce

### ***5. 2. 3 Realizace měření statickou metodou měření sil***

Pro praktické měření sil statickou metodou měření bez dopředného pohybu s nulovou rychlostí plavání bylo nutno navrhnout a zrealizovat upevnění plavce na nepružný závěs a nepohyblivé uchycení měřicího přístroje na okraji bazénu Pro realizaci byl vypracován postup měření, viz níže.

## *Upevnění plavce*

Při prvních testovacích měření byl plavec k siloměru uchycen pomocí tenkého nepružného ocelového lanka izolací PVC, aby nedocházelo k přímému kontaktu ocelového materiálu s vodním prostředím. Po realizaci prvních měření bylo od tohoto způsobu upevnění plavce upuštěno z důvodu průvěsu lanka v nezáběrové fázi, přičemž následný záběr vyvolal zrychlení, které způsobilo dynamický silový ráz, což mělo za následek výrazné ovlivnění výsledků měření, a proto byl zvolen pevný závěsný mechanismus pomocí duralové tyče (Obrázek 5.3).



*Obrázek 5.3 Upevnění plavce na pevném závěsu*

Na konec duralové tyče byl upevněn měkký molitanový materiál, aby zpětným rázem, koncová hrana tyče, nezpůsobila odření plavce.

Měřený proband byl k závěsnému mechanismu uchycen pomocí speciálních nepružných textilních popruhů ušitých pro tento účel. Zapínání popruhů bylo řešeno dvoubodovým nastavitelným systémem zapínání na hrudníku a břiše s možností nastavení délky popruhů na hrudníku a břiše dle somatických parametrů měřených probandů. (Obrázek 5.4 a, b).

Upevnění závěsu měřicího mechanismu bylo umístěno v dolní části zad probanda připevněné k pasové a zadní části popruhů. Jako spojovacími komponenty mezi duralovou tyčí a popruhy se nejlépe osvědčily ocelové karabiny. Duralová tyč byla přichycena k siloměru ocelovým hákem, který byl součástí příslušenství k měřicímu přístroji IMADA ZP.



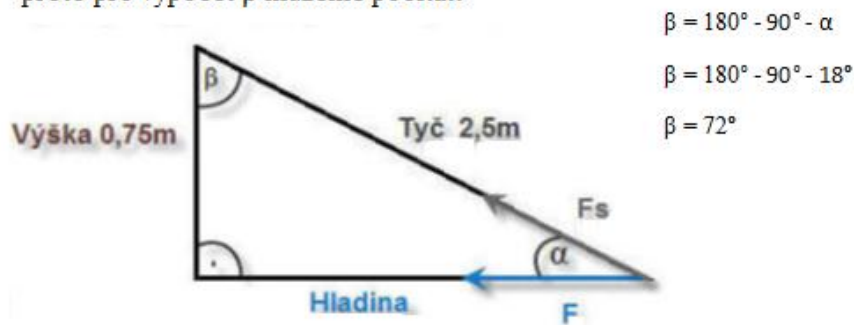
Obrázek 5.4 a, b Upevnění plavce na pevný závěs pomocí speciálních popruhů

### *Uchycení přístroje*

K upevnění přístroje byla sestavena speciální konstrukce, nakloněna pod úhly z důvodu minimalizování omezení pohybu plavce upevněného na závěsu. Proto bylo potřebné provést korekci velikosti výsledné síly, pomocí goniometrických funkcí. Viz. Kapitola zpracování naměřených hodnot (Obrázku 5.5).

### Výpočet úhlu $\beta$

Z geometrie trojúhelníku vyplývá, že součet všech vnitřních úhlů je  $180^\circ$ , proto pro výpočet  $\beta$  můžeme počítat:



$$\beta = 180^\circ - 90^\circ - \alpha$$

$$\beta = 180^\circ - 90^\circ - 18^\circ$$

$$\beta = 72^\circ$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{výška závěsu siloměru nad hladinou}}{\text{délka duralové tyče}}$$

$$\sin \alpha = \frac{0,75}{2,5} \quad \sin \alpha = \sin^{-1} \frac{0,75}{2,5} \doteq 18^\circ$$

**Korekce měření síly  $F_s$  na sílu záběru ve směru  $x$  je:**

$$F = F_s \cdot \cos \alpha$$

Obrázek 5.5 Výpočet úhlu upevnění konstrukce a vodní hladiny

Pevného uchycení přístroje bylo dosaženo pomocí:

- Speciální podložky, vyrobené pro toto měření, z hliníkového plechu, která byla připevněna k přístroji šrouby velikosti M4,
- Karabiny, využívané k fixaci měřicího přístroje,
- Stahovacích umělohmotných pásků.

Pevné uchycení přístroje mělo co nejvíce zabránit zpětnému rázu a tím zkreslení naměřených hodnot (Obrázek 5.6 a, b, c).



Obrázek 5.6 a, b, c Pevné Uchycení přístroje IMADA o konstrukci

#### **5. 2. 4 Obsah měření - Statická metoda měření sil**

Statickou metodou měření na nepružném závěsu s využitím siloměru IMADA ZP při nulové rychlosti plavání jsme měřili časový průběh silového působení probandů u kraulové souhry s nádechem na každý třetí záběr na maximum a volně a to u obou výzkumných souborů 1SM a 2 SM (Viz kapitola 5.1). Z průběhu amplitud sil jsme odečetli maxima sil a z nich jsme vypočítali aritmetický průměr maxim silového působení probandů. Dále jsme ze všech naměřených hodnot sil vypočítali aritmetický průměr, kterého jednotliví probandi dosáhli v měřeném časovém limitu 8 - 10s. Souhrn obsah měření statickou metodou měření:

- Průměr maximálních sil
- Celkový průměr všech naměřených sil

#### **5. 2. 5 Průběh měření statickou metodou měření sil**

- 1.) Instalace měřicího systému
- 2.) Spuštění měřicího přístroje a softwaru pro záznam průběhu sil
- 3.) Měření distribuce sil-plavecký způsobu kraul– souhra nádech na každý třetí záběr
- 4.) Uložení naměřených dat a jejich vyhodnocení pomocí grafů a grafického zobrazení průběhů silového působení probandů.



### ***5. 2. 6 Metody zpracování dat statické metody měření sil***

Data byla získána z digitálního tenzometrického siloměru IMADA ZP-500N a propojením notebooku pomocí USB kabelu. Naměřená data byly zaznamenány pomocí softwaru ZP-recorder a následně exportována do formátu CSV, což je univerzální formát vstupních dat pro další zpracování v programu Microsoft Excel.

Pomocí programu MS Excel byla data upravena a zobrazena do spojnicového grafu typu XY. Průběhy konkrétních měření byly zobrazeny v datových řadách.

### ***5. 3 Podmínky získávání dat kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení***

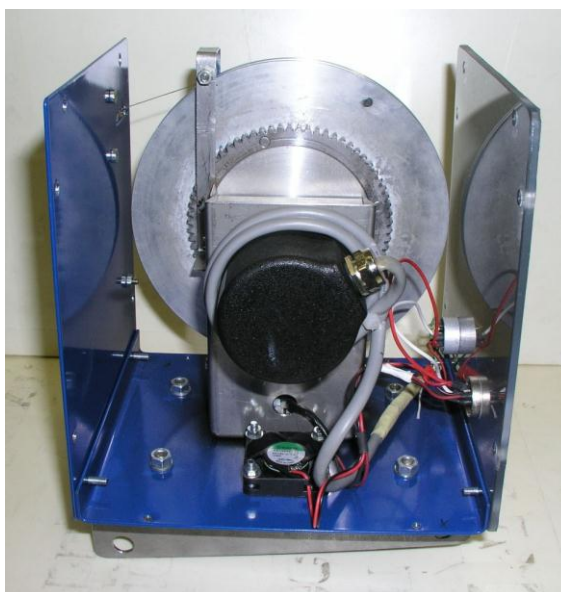
V této kapitole podrobně popíšeme prostředí a prostředky potřebné k realizaci měření kinetickou metodou měření.

#### ***5. 3. 1 Prostředí měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení***

- Měření probíhalo na tří-dráhovém a šesti-dráhovém 25m bazénu v Brně.
- Hloubka bazénu byla v rozmezí 1,15 – 1,80 m
- Teplota vody byla 26 - 28 °C a teplota vzduchu byla 27 - 28 °C
- Měřicí systém byl nainstalován v krajní dráze bazénu u oken z důvodu lépe vyhovujícím světelným podmínkám pro videozáznam
- Pro měření byly vždy pronajaty 3 dráhy, aby nedocházelo k ovlivnění vnějších podmínek. (V průběhu měření bylo dbáno, aby ve vedlejší dráze nikdo neplaval a tím nedocházelo ke zkreslení dat).

### **5. 3. 2 Prostředky k realizaci měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení**

- Program SwimDataViewer
- 2x optoelektronický inkrementální rotační snímač *IRC 300* s konstrukcí k jejich ukotvení na startovních blocích (Obrázek 5.7)
- Závěs od tachografu 1 k tachografu 2 pře celou délku 25m bazénu
- Závěs s jezdcem
- 1x pohybující se vozík s boční podvodní videokamerou (Obrázek 5.8)
- Čelní a zadní podvodní videokamera
- Bederní pás pro upevnění plavce k tachografu
- Pletené lněné lanko s karabinou pro upevnění probanda k závěsu, na němž se pohybuje jezdec po ocelovém lanku vedoucím od tachografů jednoho snímače k druhému.



Obrázek 5.7 Tachograf, optoelektronický rotační snímač *IRC 300*



Obrázek 5.8 Pojízdni vozík s boční podvodní videokamerou

### ***5. 3. 3 Realizace měření kinetickou metodou měření rychlosti a zrychlení***

#### *Upevnění plavce*

Plavec je k tachografu upoután pomocí bederního pásku s nepružné PVC textilií ušité pro potřeby měření. Plavec si pomocí karabiny k pásku připne pletené lněné lanko. Poutka na pásu k upevnění plavce k tachografu se nachází ve středu pásku upevněného na pánevních kostech tak aby nedocházelo k jeho pohybu. Plavec je upevněn na ocelovém lanku směřujícím z jednoho tachografu do druhého napříč celým bazénem. Proband upevněný za boky při svém dopředném pohybu táhne za sebou jezdce a zároveň dochází k navíjení ocelového lanka, přičemž tachografy zaznamenávají data o průběhu rychlosti a zrychlení a videokamery zachycují obraz plavce pod vodou.

## *Uchycení přístroje*

Speciálně vyrobená konstrukce z nerez oceli a hliníku s možností upevnění tachografů na boční mantinely a na konstrukci startovních bloků. (Obrázek 5.9)



Obrázek 5.9 Tachograf – instalace a uchycení

Od jednoho inkrementálního rotačního snímače k druhému vede ocelové lanko, které je navíjeno podle směru plavání plavce. Aby nedocházelo k pohybu měřicího zařízení a tím i ke zkreslení měření je konstrukce zatížena ze zadní strany vyvažujícím závažím.

### **5. 3. 4 Obsah měření - kinetická metoda**

Software SwimDataViewer nám z plaveckého dynamometru (tachograf) nám vyhodnotí časový průběh rychlosti a zrychlení spolu se synchronizovaným video záznamem ze tří video kamer pod vodní hladinou.

Kinetickou metodou měření jsme přímo měřili:

- Rychlost – jako pomocný ukazatel vyhodnocení plavecké techniky
- Střední rychlost a zrychlení, účinnost plavecké techniky
- Průměr nepřímo naměřených maximálních amplitud sil

### **5. 3. 5 Průběh měření kinetickou metodou**

Při měření kinetickou metodou s využitím tachografu je po instalaci měřícího zařízení (viz kapitola 5.3.3) a jeho propojením s PC spolu s vyladěním video kamer pod vodou dle intenzity osvětlení, zahájeno měření v následujícím pořadí:

- Rozplavání
- Seznámení měřeného probanda s měřenými úseky, které bude plavat
- Proband si nasadí speciální bederní pás na kyčelní kosti
- Ve vodě je proband pomocí karabiny upevněn na jezdce a závěs vedoucí k přes celou délku bazénu od jednoho tachografu k druhému
- Na domluvený signál proband vystartuje požadovaným plaveckým stylem na maximum
- Probíhá záznam videokamerami pod vodou spolu s datovým záznam ze dvou inkrementálních rotačních snímačů
- Zpracování naměřených hodnot programem SwimDataViewer
- Základní analýza výsledků a oprava chyb pro trenéry
- Následná analýza techniky a vyhodnocení výsledků

### **5. 3. 6 Metody zpracování dat kinetické metody měření rychlosti a zrychlení**

Zpracování naměřených hodnot z tachografu, video záznamu pod vodou a software vyhodnocujícího data z měření pomocí:

- Programu SwimDataViewer, MS Excel,
- Synchronizovaný videozáznam a z něj pořízených fotografií,
- Grafické metody – grafické znázornění rychlosti a zrychlení, vyhodnocení výsledků měření pomocí sloupcových a spojnicových grafů.

## 6 VÝSLEDKY A DISKuze

Tato kapitola se podrobně zabývá grafickou interpretací naměřených výsledků, jejich analýzou a jejich praktickým využitím při diagnostice plaveckého způsobu kraul. Pro vyhodnocení měřících metod byly vytvořeny dvě kategorie probandů dle osobního rekordu na 100m VZ. Viz. Tabulka 6.1.

Tabulka 6.1 Rozdělení probandů do výkonnostních kategorií

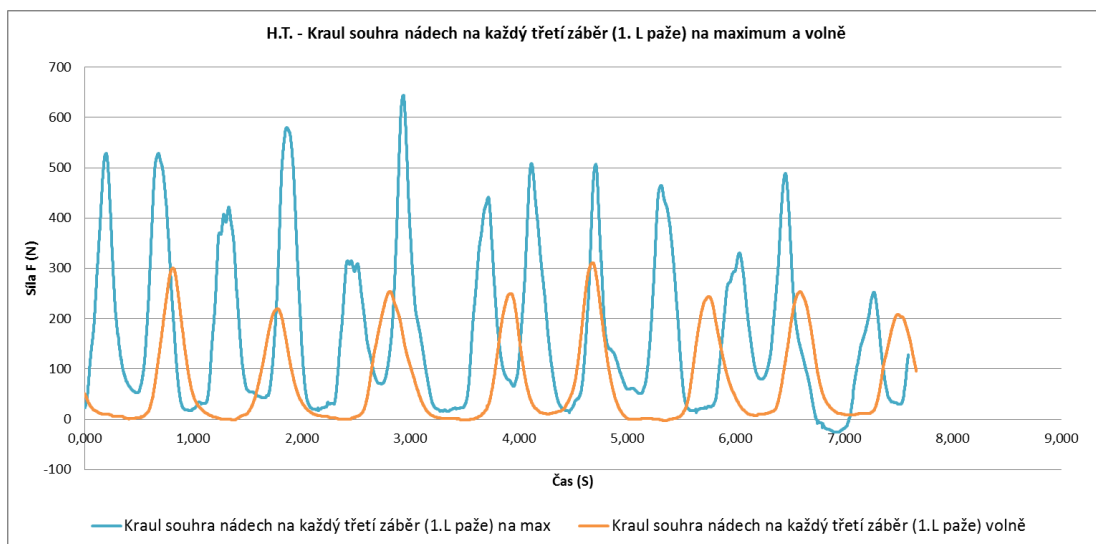
Číslo kategorie	Výkonnostní kategorie	Časový interval VZ 100m	
		muži	ženy
1	Závodní plavci (1KM, 1SM)*	0:01-1:00	0:01-1:15
2	Kondiční plavci (2KM, 2SM)*	1:01-1:37	1:16-2:05

\* 1SM a 2SM – výkonnostní skupiny měřené statickou metodou měření. 1KM a 2KM – výkonnostní skupiny měřené kinetickou metodou měření.

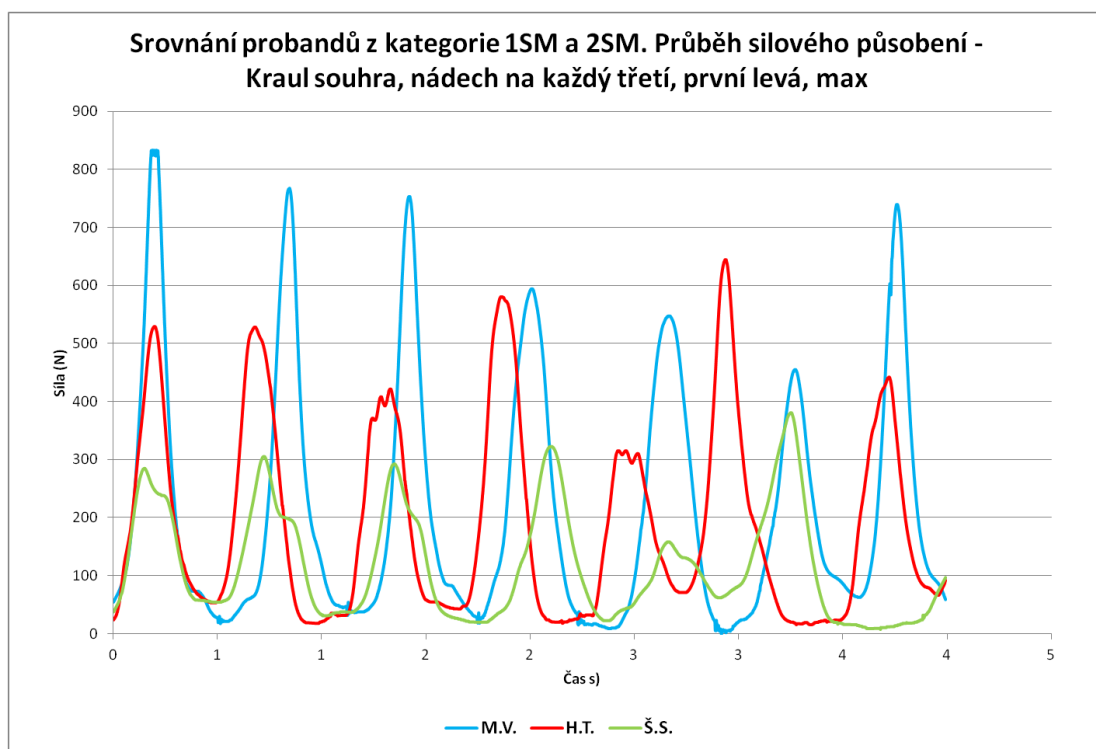
### 6.1 Statická metoda měření

**H1:** Průměrná hodnota z naměřených hodnot sil a průměr maximálních amplitud sil naměřených statickou metodou měření bude u probandů z výzkumného souboru 1SM (závodní kategorie) vyšší než u probandů z výzkumného souboru 2SM (kondiční kategorie) u kraulové souhry plaváno na maximum a volně.

U probandů 1SM a 2SM byly naměřeny statickou metodou průběhy silového působení na vodní prostředí bez dopředného pohybu. Naměřené hodnoty jsme zpracovali a graficky znázornili. Grafické zpracování naměřených hodnot nám umožní stanovit závěry k předem definovaným hypotézám.



Obrázek 6.1. Grafické znázornění průběhu silového působení



Obrázek 6.2. Grafické znázornění průběhu silového působení

Obrázek 6.1 nám zobrazuje průběh distribuce sil, jednoho z měřených probandů, při plaveckém způsobu kraul, při kraulové souhře při plavání na maximum a volně.

Obrázek 6.2 nám znázorňuje průběh silového působení tří probandů z kategorií 1SM a 2SM, co nám umožňuje srovnat jejich silové možnosti.

Průběh nám poskytuje informace pro kvalitativní analýzu plavecké techniky kraul. Dle průběhu síly na obrázku 6.1 můžeme vidět, že při plavání volně je čas nádechové fáze vzorového probanda prodloužen téměř o dvojnásobek oproti plavání na maximum avšak v obou případech můžeme pozorovat kolísání velikosti sil po nádechové fázi. Z čehož se dá se předpokládat chyba v provedení nádechové fáze a slabší levá paže, což usuzujeme z výrazného poklesu sil po nádechu. Pro podrobnější analýzu bychom se zaměřili na průběh silového působení u samostatných kraulových paží. Dále můžeme vidět, že proband má nevyrovnané silové působení a průběh síly mu nežádoucně kolísá.

Na Obrázku 6.2 můžeme vidět srovnání dvou probandů s výkonnostní závodní kategorie a jednoho probanda z kondiční kategorie (zelený). Proband označen modrou barvou je plavec vrcholové úrovně což vysvětluje výrazně vyšší velikost sil než další dva probandi. Proband dva je stejný plavec, který byl zobrazen i na Obrázku 6.1 a na tomto průběhu můžeme ještě výrazněji pozorovat chybu v nádechové fázi a oslabenou levou paži a kolísání velikostí sil. Proband kondiční kategorie má průběh síly pravidelnější než proband označen červeně, ale i u něj se projevuje kolísání rychlosti a ze zakřivení vrcholů sil se můžeme domnívat na chybu v průběhu záběr, kdy plavec zabere proti odporu vody a díky špatnému následnému pohybu ztratí sílu záběru a vodu „vyhmátne“ až posléze, proto ten rozkmit vrcholu amplitud sil.

Všechny tyto předpoklady vychází z trenérské praxe a pozorování plavecké techniky na místě měření. Pro přesnější analýzu by bylo třeba využít synchronizaci měření s podvodními kamerami.



## Průměr maximálních amplitud sil

Z naměřených průběhů byly odečteny maximální hodnoty amplitud sil a z nich byly vypočteny aritmetické průměry, které byly zaznamenány do Tabulky 6.2 a do grafu v Obr 6.3. Tyto hodnoty byly měřeny a zpracovány pro plavání kraulovou souhrou na maximum a volně.

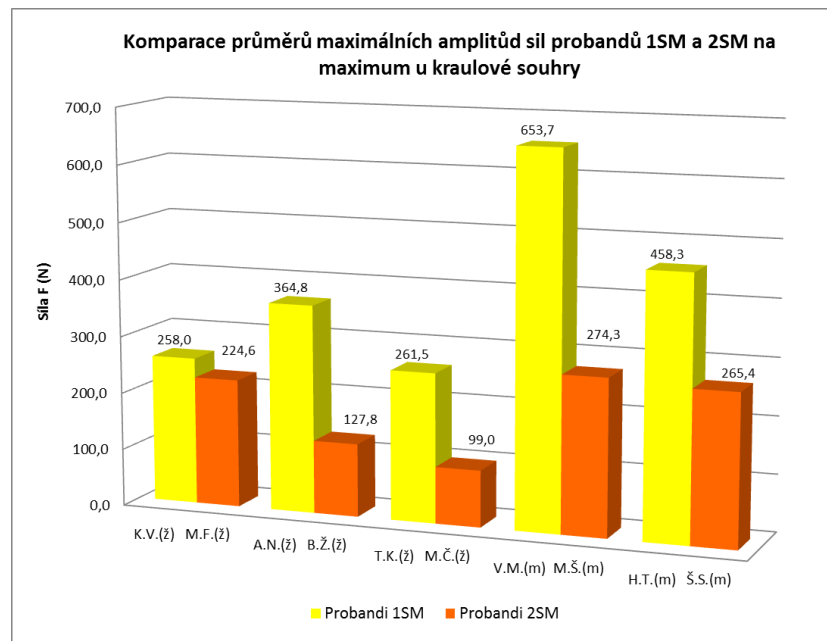
Tabulka 6.2 Průměry všech maximálních amplitud sil

Kraul souhra		Průměr všech maximálních amplitud sil (N)	
Označení probandů	Výkon. kategorie	Max	Volně
K.V.	1SM (ž)*	258,0	164,7
A.N.	1SM (ž)	364,8	236,0
T.K.	1SM (ž)	261,5	160,8
M.V.	1SM (m)**	653,7	412,4
H.T.	1SM (m)	458,3	251,0
M.F.	2SM (ž)*	224,6	187,7
B.Ž.	2SM (ž)	127,8	118,9
M.Č.	2SM (ž)	99,0	72,1
M.Š.	2SM (m)**	274,3	170,0
Š.S.	2SM (m)	265,4	124,6

\* (ž) ženy, \*\* (m) muži

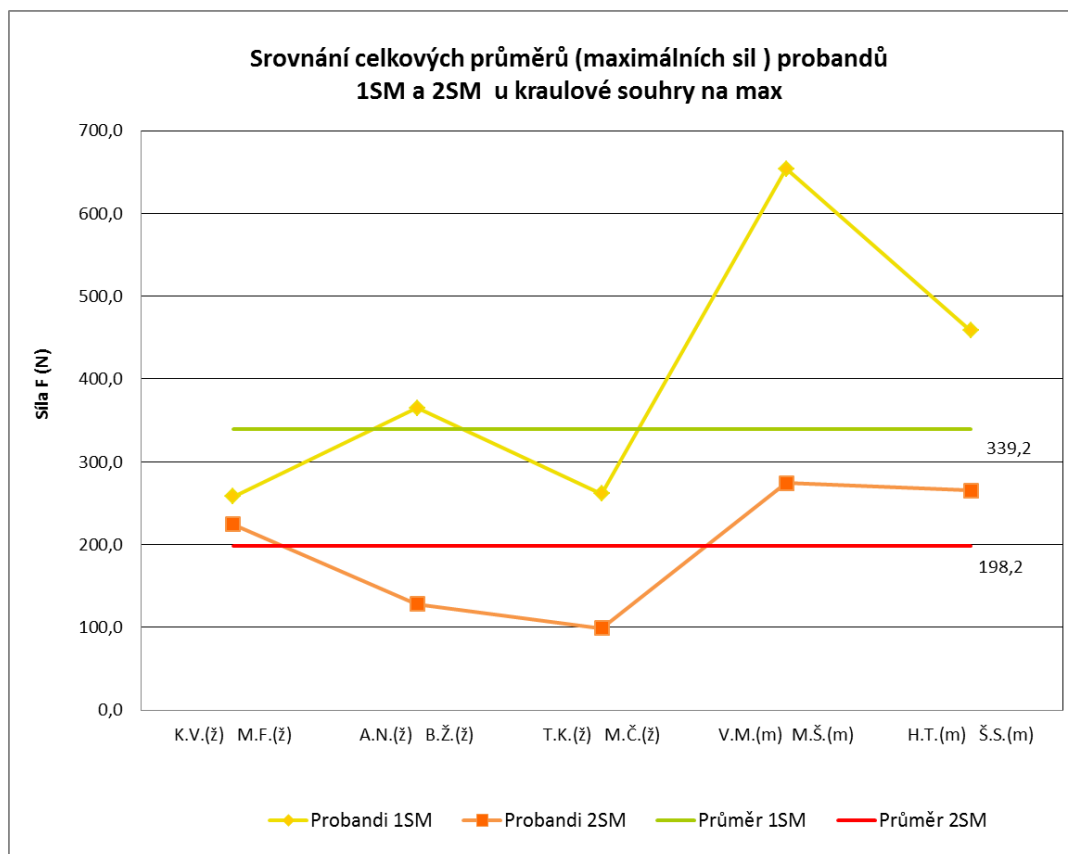
V Obrázku 6.3 srovnáváme průměry maximálních amplitud sil probandů 1SM a 2SM při plavání na maximum u kraulové souhry. První tři dvojice sloupců zleva nám zobrazují výsledky žen a další dvě dvojice výsledky mužů. Všechny dvojice sloupců, jsou sestaveny z obou výkonnostních kategorií, kde první sloupec znázorňuje průměrnou hodnotu amplitud maximálních hodnot naměřených sil u probanda z kategorie 1SM a druhý sloupec u probanda z kategorie 2SM. U tohoto zobrazení lze už na první pohled vidět, že hodnoty u kategorie 1SM jsou vyšší než u kategorie 2SM, což potvrzuje naši hypotézu.

Kdybychom ale srovnávali ženy z kategorie 1SM a muže z kategorie 2SM, zjistili bychom, že průměr maximálních hodnot amplitud sil je u mužů vyšší. Samozřejmě muži mají větší svalovou dispozici a tento pohled z hlediska naší předem stanovené hypotézy je nepřesný.



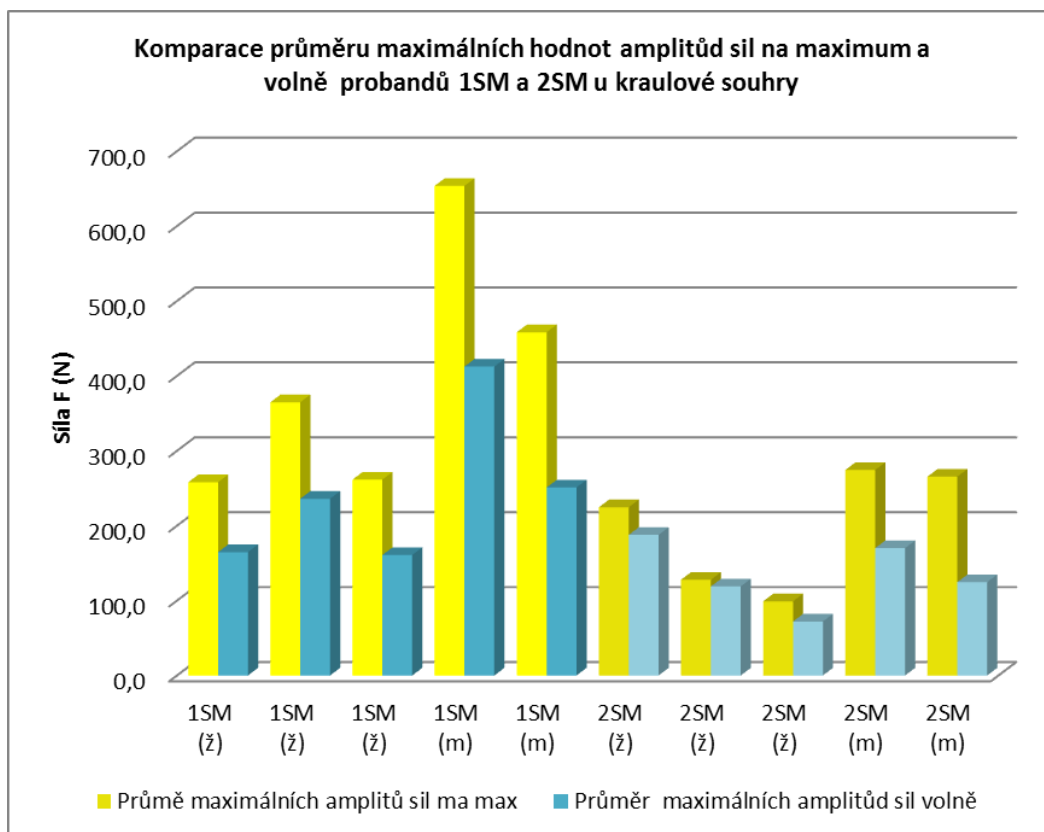
Obrázek 6.3 Průměry maximálních amplitud sil probandů z kategorií 1SM a 2SM

Pro kvalitativní posouzení jsou na Obrázku 6.4 zobrazeny stejné výsledky pomocí spojnicového grafu, což nám umožní přehlednější srovnání obou výkonnostních kategorií probandů. Navíc jsou u grafu vyneseny průměrné hodnoty pro jednotlivé kategorie, které jsou vypočteny z průměrných hodnot maximálních amplitud sil každého probanda z příslušné kategorie. Vzhledem k tomu, že průměrné hodnoty maximálních amplitud sil u mužů kategorie 2SM jsou v některých případech vyšší než u žen z kategorie 1SM, musíme dle stanovené hypotézy srovnávat celkové průměry skupin a ne průměry jednotlivých probandů. Po zobrazení celkových průměrů lze konstatovat, že celkový průměr maximálních sil u kategorie 1SM je vyšší jako u kategorie 2SM.



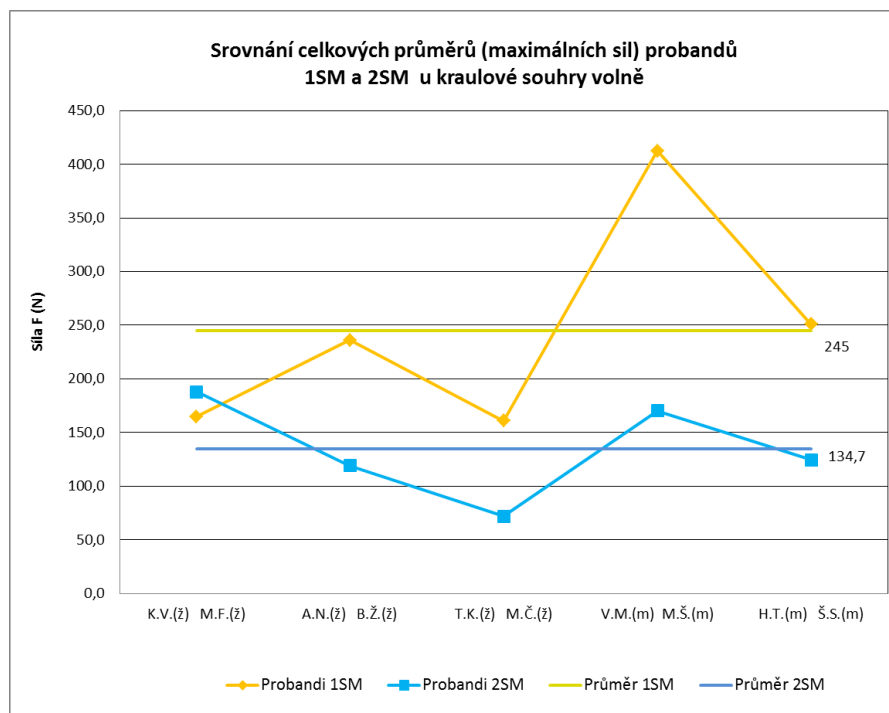
Obrázek 6.4 Grafické znázornění průměrů maximálních sil u kategorií 1SM a 2SM při plavání na maximum

V Obrázku 6.5 je zobrazeno srovnání průměrů maximálních amplitud sil při plavání na maximum a při plavání volně u každého z probandů samostatně. Lze také porovnat probandy navzájem a to jak v rámci jedné kategorie, tak i probandy z obou kategorií. Ve všech případech jsou hodnoty průměrů maximálních hodnot amplitud sil při plavání na maximum vyšší než u plavání volně.



Obrázek 6.5 Grafické znázornění průměrů maximálních sil u kategorií 1SM a 2SM při plavání volně a na maximum

V Obrázku 6.6 jsou zobrazeny výsledky průměru maximálních hodnot amplitud sil při plavání volně ve spojnicovém grafu, což nám umožní přehlednější zobrazení srovnání obou výkonnostních kategorií probandů. V grafu jsou vyneseny i průměrné hodnoty všech výsledků jako konstanty a můžeme zde vidět, že u některých probandů z kategorie 2SM byly naměřeny vyšší hodnoty maximálních amplitud sil než u probandů z kategorie 1SM. Plavání volně není přesně specifikované, a proto je tento výsledek jen informativní. Celkově tedy můžeme říci, že průměrné hodnoty maximálních amplitud sil u kategorie 1SM jsou vyšší, než u kategorie 2SM.



Obrázek 6.6 Grafické znázornění průměrů maximálních sil u kategorií 1SM a 2SM při plavání volně

### Průměr naměřených hodnot sil

V této části zpracování výsledků budeme brát v úvahu nejen hodnoty maximálních amplitud sil, ale i hodnoty z celého časového průběhu při měření sil metodou statického měření sil.

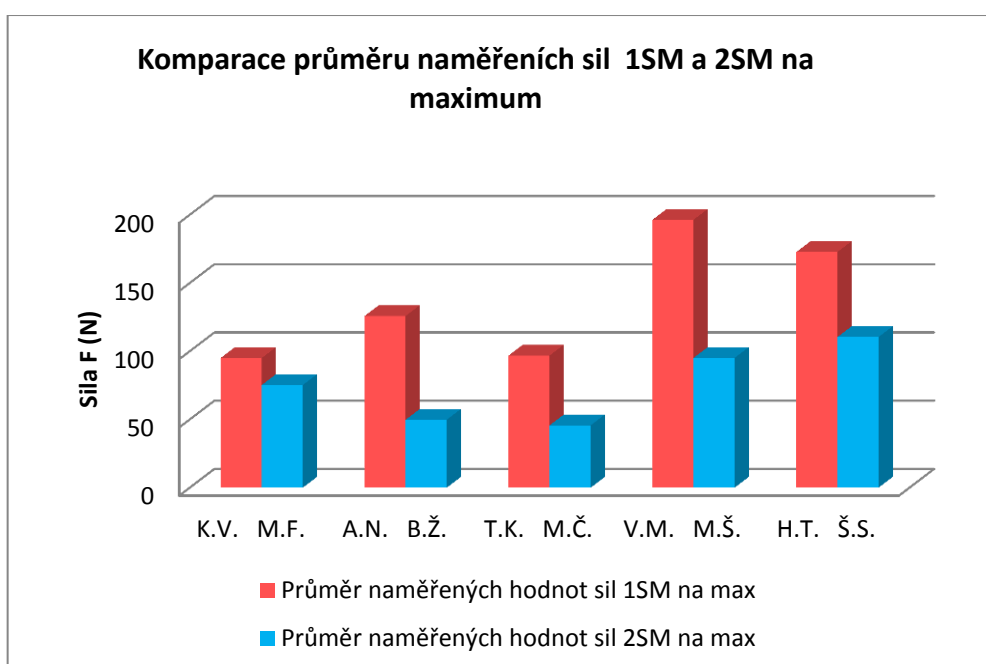
Tabulka č. 6.3 znázorňuje hodnoty průměrů všech naměřených hodnot silového působení na vodní prostředí jednotlivých probandů v kategoriích 1SM a 2SM a to při plavání na maximum při plavání volně. Tabulka obsahuje informaci o pohlaví probanda a umožňuje nám zohlednit při vyhodnocení i tento parametr.

Tabulka 6.3 Průměr všech naměřených hodnot sil

Kraul souhra		Průměr všech naměřených hodnot sil (N)	
Označení probandů	Výkon. kategorie	Max	Volně
K.V.	1SM (ž)*	95	51
A.N.	1SM (ž)	125.8	80.5
T.K.	1SM (ž)	96.8	61.5
M.V.	1SM (m)**	196.3	94.2
H.T.	1SM (m)	172.7	70.4
M.F.	2SM (ž)*	75.2	60.3
B.Ž.	2SM (ž)	49.8	38.3
M.Č.	2SM (ž)	45.7	29.4
M.Š.	2SM (m)**	95.1	55.9
Š.S.	2SM (m)	110.4	57.3

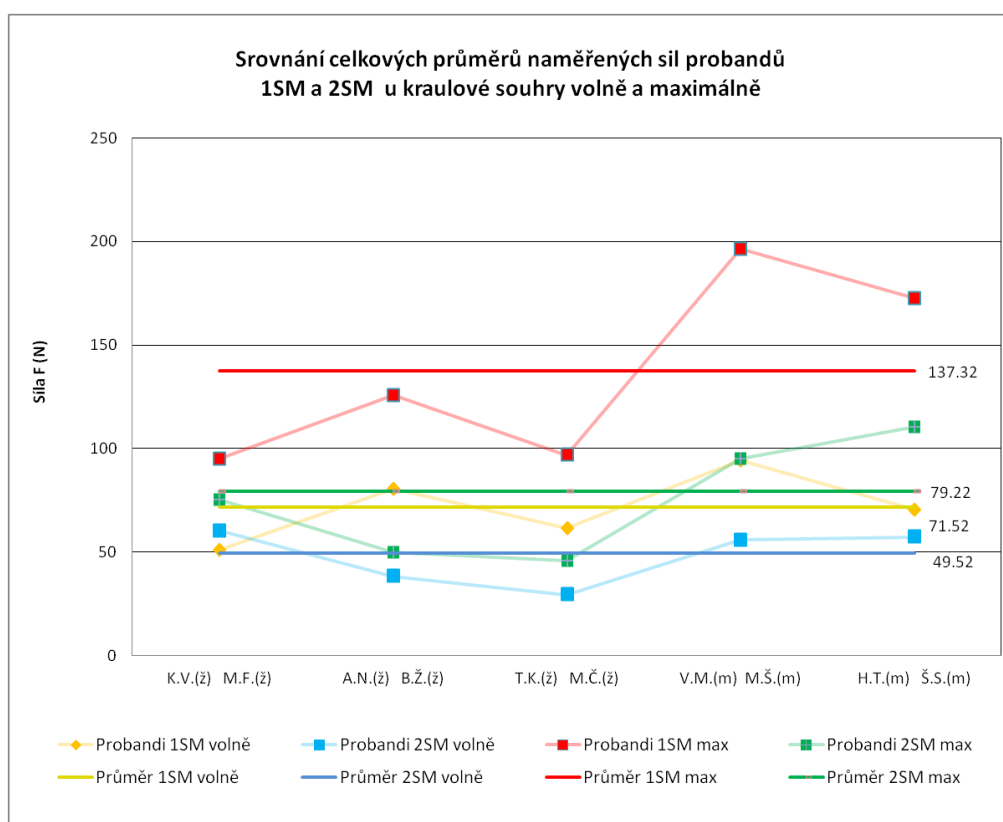
\* (ž) ženy, \*\* (m) muži

Tyto hodnoty jsme vynesli do grafu v Obrázku 6.7 pro lepší porovnání obou kategorií 1SM a 2SM i jednotlivých probandů, při plavání na maximum. Z hodnot v grafu je patrné, že průměrná síla z celkového časového průběhu je vyšší u kategorie 1SM než u kategorie 2SM. Z výsledků můžeme vidět že, průměrné síly u mužů, které představují poslední dva páry sloupců, jsou vyšší než u žen.



Obrázek 6.7 Grafické znázornění průměrů naměřených sil u kategorií 1SM a 2SM při plavání na maximum

V grafu na Obrázku 6.8 vidíme srovnání průměrných sil naměřených u probandů kategorií 1SM a 2SM u kraulové souhry při plavání volně a na maximum. Graf znázorňuje průměrné hodnoty těchto sil pro jednotlivé kategorie, co nám umožňuje konstatovat, že průměrné síly u probandů v kategoriích 1SM jsou vyšší než průměrné síly v kategoriích 2SM v případě plavání volně i na maximum. Při posouzení probandů jednotlivě lze vidět vyšší silový průměr u mužů z kategorie 2SM jako u žen s kategorie 1SM. U plavání volně jsou rozdíly průměrů sil u výkonnostních kategorií menší jak u plavání na maximum.



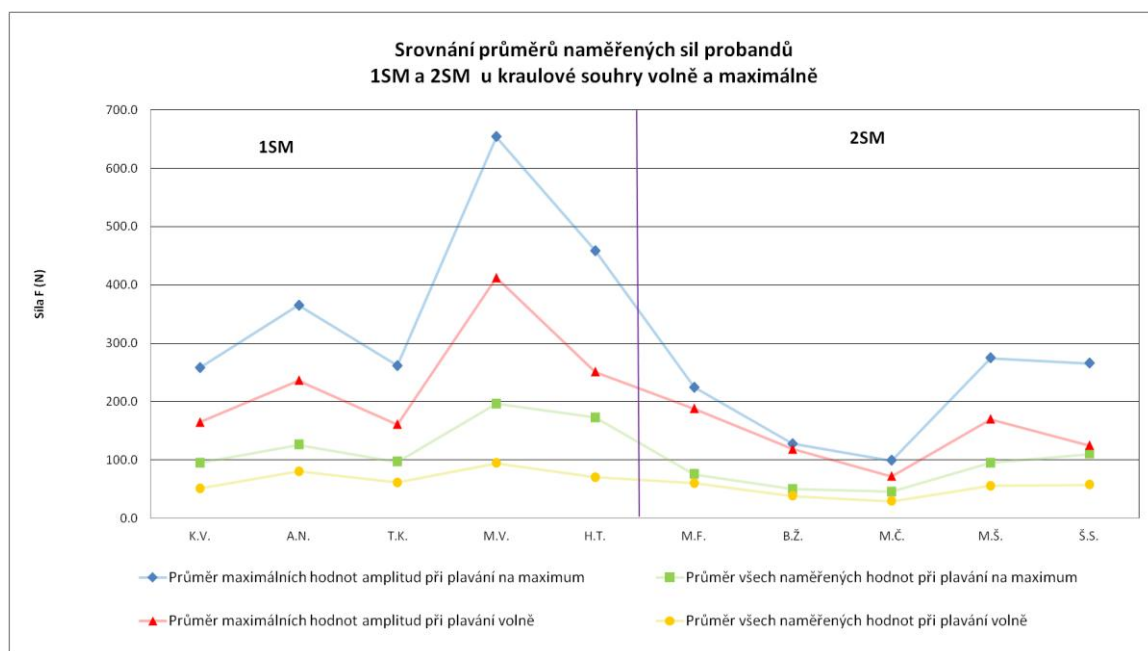
Obrázek 6.8 Grafické znázornění průměrů naměřených sil u kategoriích 1SM a 2SM při plavání na maximum

Tabulka 6.4 je spojením předchozích tabulek a je uvedena pro lepší názornost a vyhodnocení. Jsou v ní uvedeny hodnoty průměrů všech maximálních amplitud sil a hodnoty průměrů všech naměřených hodnot sil pro všechny probandy.

Tabulka 6.4 Naměřené hodnoty probandů u statické metody měření

Kraul souhra		Průměr všech maximálních amplitúd sil (N)		Průměr všech naměřených hodnot sil (N)	
Označení probandů	Výkon. kategorie	Max	Volně	Max	Volně
K.V.	1SM (ž)*	258.0	164.7	95	51
A.N.	1SM (ž)	364.8	236.0	125.8	80.5
T.K.	1SM (ž)	261.5	160.8	96.8	61.5
M.V.	1SM (m)**	653.7	412.4	196.3	94.2
H.T.	1SM (m)	458.3	251.0	172.7	70.4
M.F.	2SM (ž)*	224.6	187.7	75.2	60.3
B.Ž.	2SM (ž)	127.8	118.9	49.8	38.3
M.Č.	2SM (ž)	99.0	72.1	45.7	29.4
M.Š.	2SM (m)**	274.3	170.0	95.1	55.9
Š.S.	2SM (m)	265.4	124.6	110.4	57.3

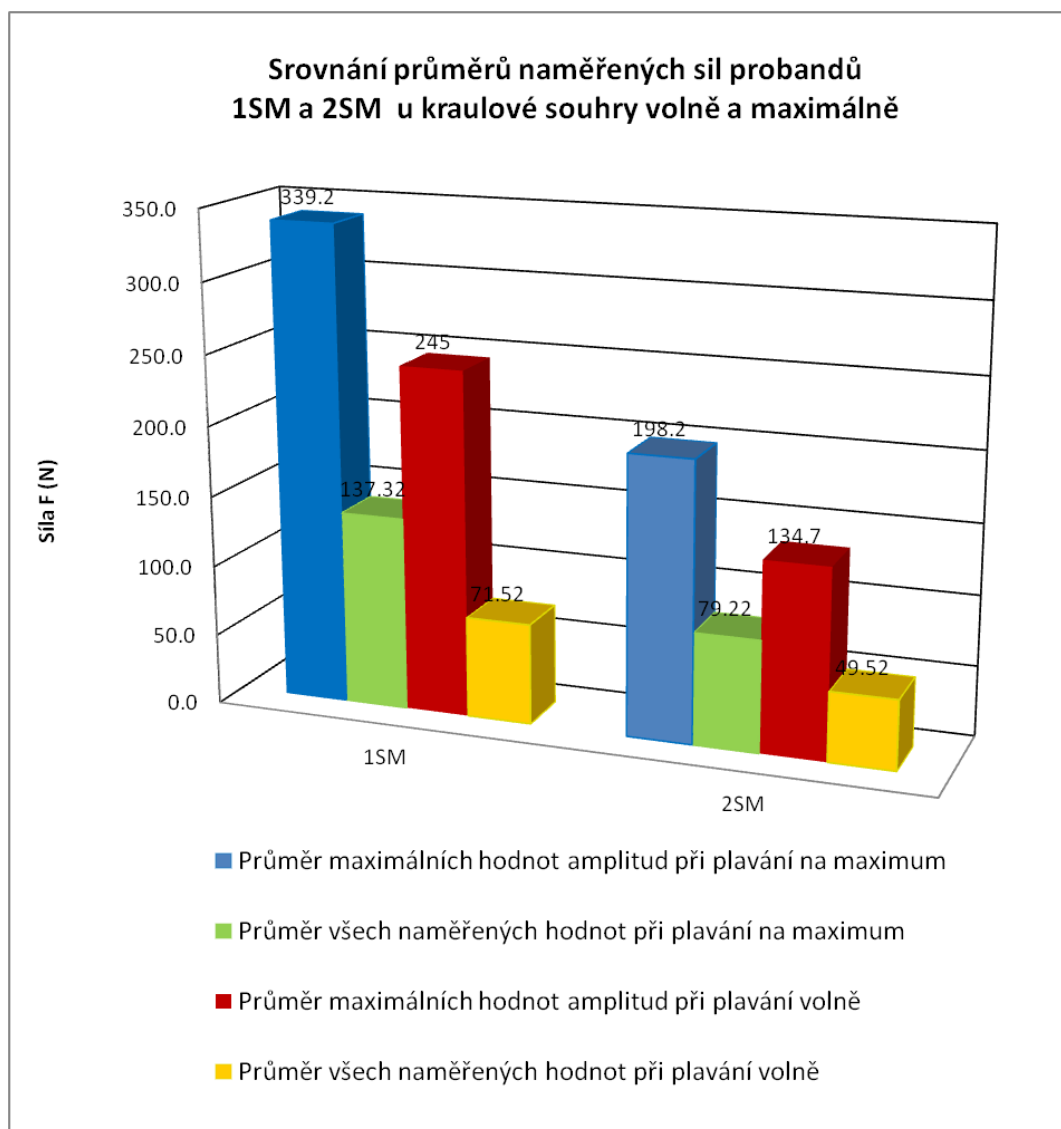
Grafické znázornění hodnot uvedených v Tabulce 6.4 nám nabízí graf v Obrázku 6.9 I zde můžeme názorně vidět rozdíl hodnot u probandů z výkonnostní kategorie 1SM a 2SM.



Obrázek 6.9 Grafické znázornění průměrů naměřených sil a maximálních hodnot amplitud u kategorií 1SM a 2SM při plavání na maximum a volně



Graf na Obrázku 6.10 znázorňuje celkové průměrné hodnoty v rámci jednotlivých kategorií, co nám umožňuje celkově porovnat hodnoty obou kategorií. Konkrétně průměr maximálních hodnot amplitud, průměr všech naměřených hodnot a to při plavání na maximum i volně.

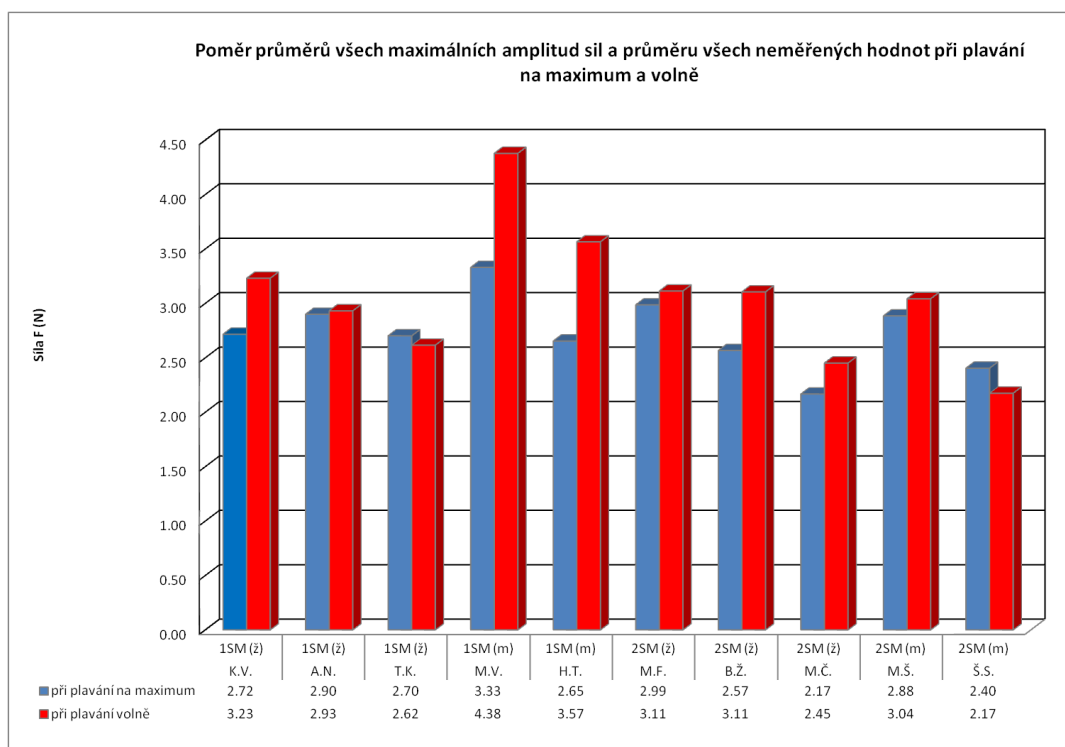


Obrázek 6.10 Grafické znázornění průměrů naměřených sil a maximálních hodnot amplitud u kategorií 1SM a 2SM při plavání na maximum a volně

Na základě srovnání na Obrázku 6.10 můžeme tvrdit, že **hypotéza H1 se potvrdila**. Průměr maximálních hodnot amplitud, jako i průměr všech naměřených hodnot při plavání volně a na maximum je vyšší u kategorie 1SM jako u kategorie 2SM.

Pro kvalitativní zhodnocení naměřených výsledku byl sestrojen graf (Obrázek 6.11), který zobrazuje poměr mezi průměrem všech maximálních hodnot amplitud sil a průměrem všech naměřených hodnot při plavání na maximum a volně u jednotlivých probandů. Tímto způsobem lze jednoduše vyhodnotit rovnoměrnost silového působení v průběhu záběru. Čím je hodnota poměru vyšší, tím je rovnoměrnost sil v průběhu záběru menší. V grafu můžeme vidět, že u většiny probandů je rovnoměrnost silového působení v průběhu záběru nižší při plavání volně.

Taktéž lze usoudit, že proband, který měl vyšší průměr maximálních amplitud sil, nemusí mít nutně i vyšší průměr všech naměřených hodnot sil. Nižší rovnoměrnost sil v průběhu záběru může znamenat nižší účinnost plavecké techniky.

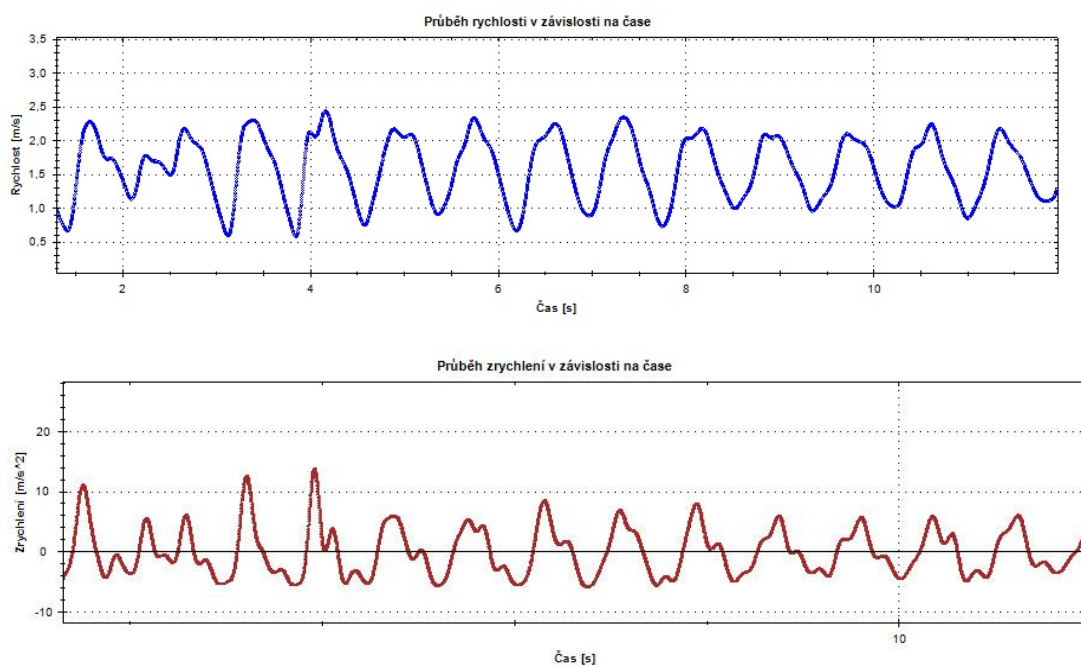


Obrázek 6.11 Grafické znázornění poměru průměru maximálních amplitud sil a průměru všech naměřených hodnot sil při plavání na maximum a volně

## 6.2 Kinetická metoda

**H2:** Výzkumný soubor 1KM (nejvyšší výkonnostní úrovně) bude dosahovat vyšších maximálních hodnot amplitud sil, spočtených ze zrychlení než výzkumný soubor 2KM (střední výkonnostní úrovně) u kraulové souhry na maximum.

U jednotlivých probandů byla změřena jejich plavecká technika pomocí tachografu. Pomocí programu SwimDataViewer byly data zpracovaná a výstupem měření byly průběhy okamžité rychlosti a zrychlení, které můžeme vidět na Obrázku 6.12.



Obrázek 6.12 Grafické znázornění časového průběhu rychlosti a zrychlení. (export z programu SwimDataViewer)

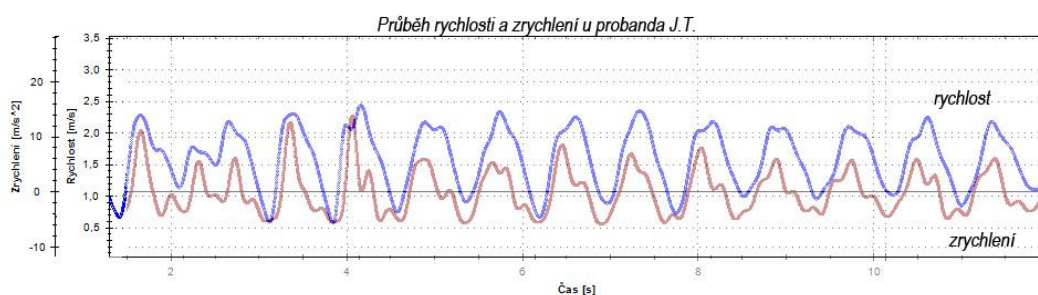
Na grafickém znázornění průběhu zrychlení vzorového probanda můžeme vidět výrazné nepravidelnosti v průběhu, tzn., že dochází k poklesu rychlosti v daném časovém intervalu z důvodu chyby v technice provedení záběru. Můžeme zde vidět, že proband v průběhu záběru zabírá nerovnoměrně. Díky špatně načasované fázi dalšího záběru dochází k poklesu rychlosti (Obrázek 6.12a). Velké kolísání rychlosti má za následek velké výkyvy zrychlení, ale snížení plavecké techniky probanda.

záznam pro čas  $t = 6,01$  sec



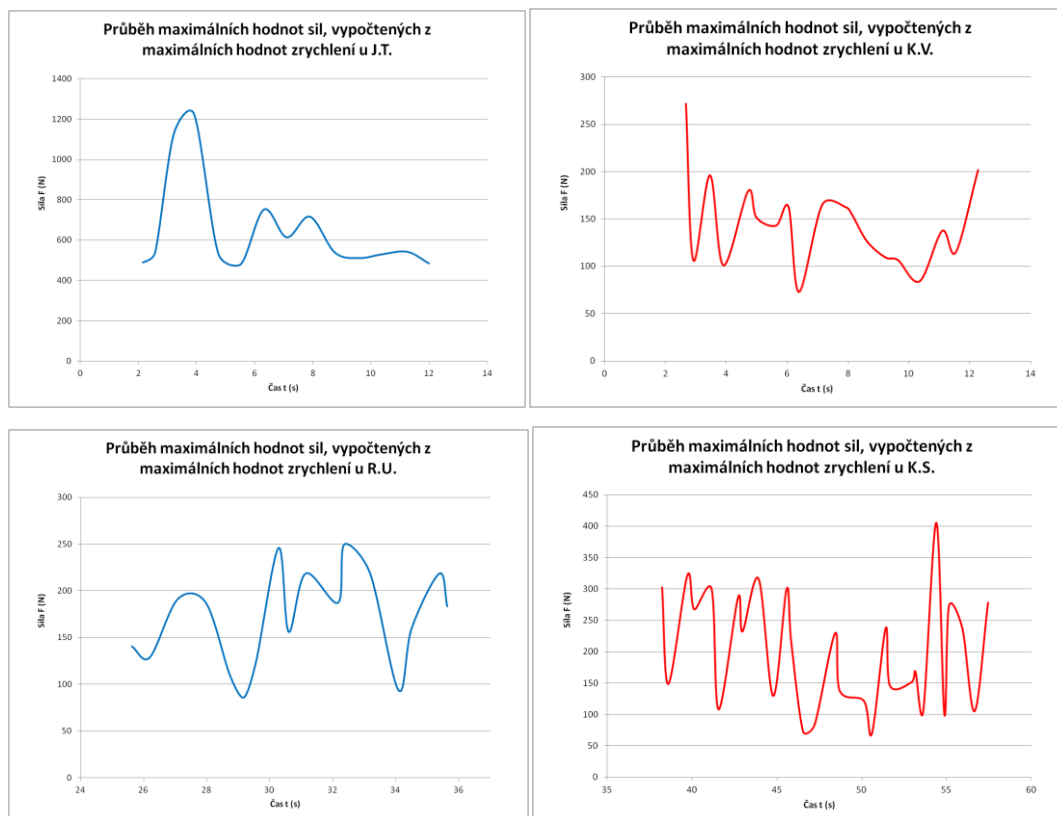
Obrázek 6.12a Chyba v nádechové fázi projevující se v grafickém znázornění průběhu

Na Obrázku 6.13 můžeme vidět souvislost mezi okamžitou rychlostí a zrychlením. V okamžiku nárůstu zrychlení dochází k nárůstu rychlosti. Při zastavení nárůstu zrychlení dochází k poklesu zrychlení.



Obrázek 6.13 Grafické znázornění časového průběhu rychlosti a zrychlení na jedné časové ose

Z maximálních hodnot amplitud zrychlení, byly spočteny maximální hodnoty amplitud sil a vyneseny do grafů. Příklad grafických znázornění těchto amplitud můžeme vidět na Obrázku 6.14.



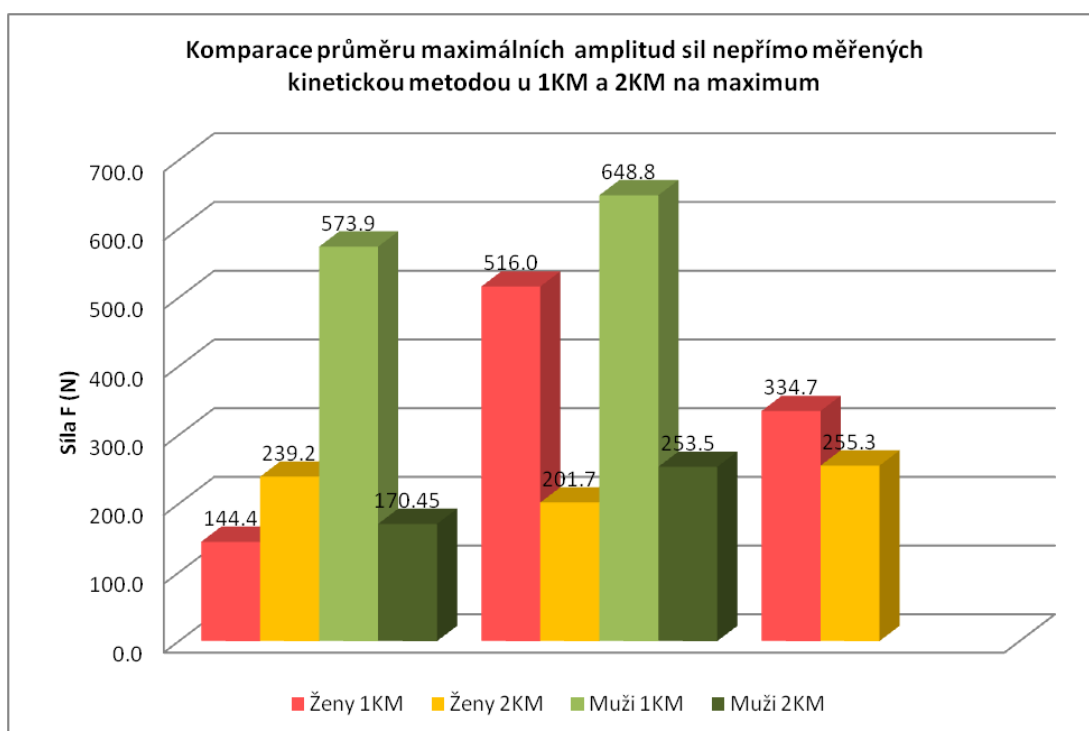
Obrázek 6.14 Grafické znázornění průběhu maximálních hodnot sil u některých probandů

Z maximálních hodnot amplitud sil, byly spočteny průměry a vyneseny do Tabulky 6.5

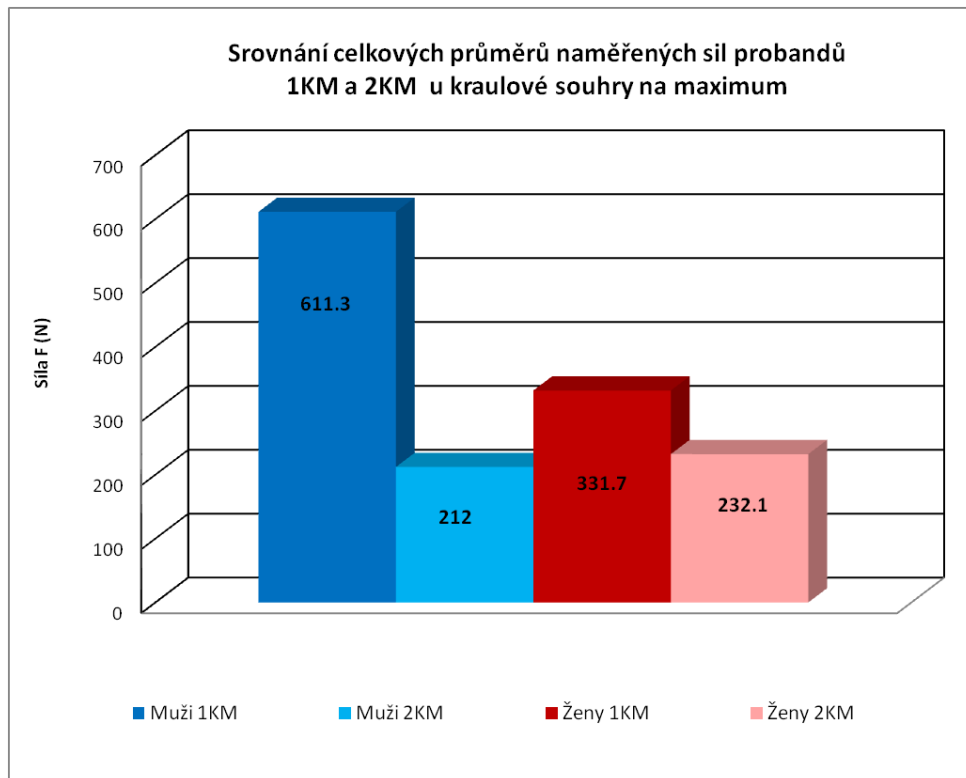
Tabulka 6.5 Naměřené hodnoty probandů u kinetické metody měření

Kinetická metoda měření					
Maxima sil spočtených ze zrychlení					
Kraul souhra - nádech na každý třetí záběr (1. LEVÁ paže)					
Pohlaví probandů	Označí probandů	PRŮMĚR MAXIMÁLNÍCH SIL			Výkonnostní skupina
		na maximum	volně	Bez nádechu	
Ženy	K.V.	144.4	0.0	0.0	1KM
	A.S.	516.0	0.0	0.0	1KM
	G.K.	334.7	159.9	0.0	1KM
Muži	M.V.	573.9	0.0	226.6	1KM
	J.T.	648.8	0.0	0.0	1KM
Ženy	A.K.	239.2	190.8	0.0	2KM
	K.S.	201.7	114.3	0.0	2KM
	H.K.	255.3	181.3	0.0	2KM
Muži	R.U.	170.45	336.7	0.0	2KM
	T.L.	253.5	364.28	0.0	2KM

Graf na Obrázku 6.15 zobrazuje srovnání průměru maximálních hodnot amplitud sil pro kategorie 1KM a 2KM pro ženy a muže zvlášť. Můžeme vidět, že ve většině případů je průměr u kategorie 1KM vyšší jak u 2KM. Hlavním ukazatelem kvality plavecké techniky je ale účinnost a rozptyl. Z čehož plyne, že proband, u kterého byly naměřeny větší maxima sil, nemusí mít nutně i vyšší průměrnou rychlost. Při špatné plavecké technice můžou vysoká maxima sil vystřídat hluboká minima, například zbrzděním při nádechu.



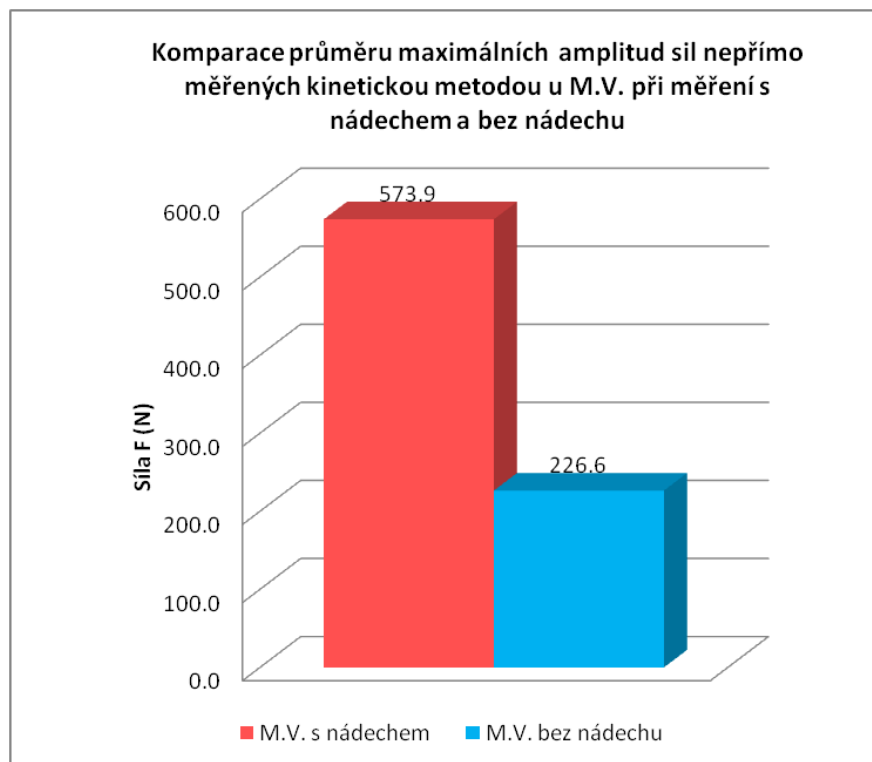
Obrázek 6.15 Grafické znázornění průměrů maximálních amplitud sil



Obrázek 6.16 Grafické znázornění průměrů maximálních amplitud sil

Graf na Obrázku 6.16 zobrazuje průměr hodnot maximálních amplitud sil a srovnání mužů a žen samostatně. Pomocí těchto hodnot **můžeme potvrdit tvrzení hypotézy H2**.

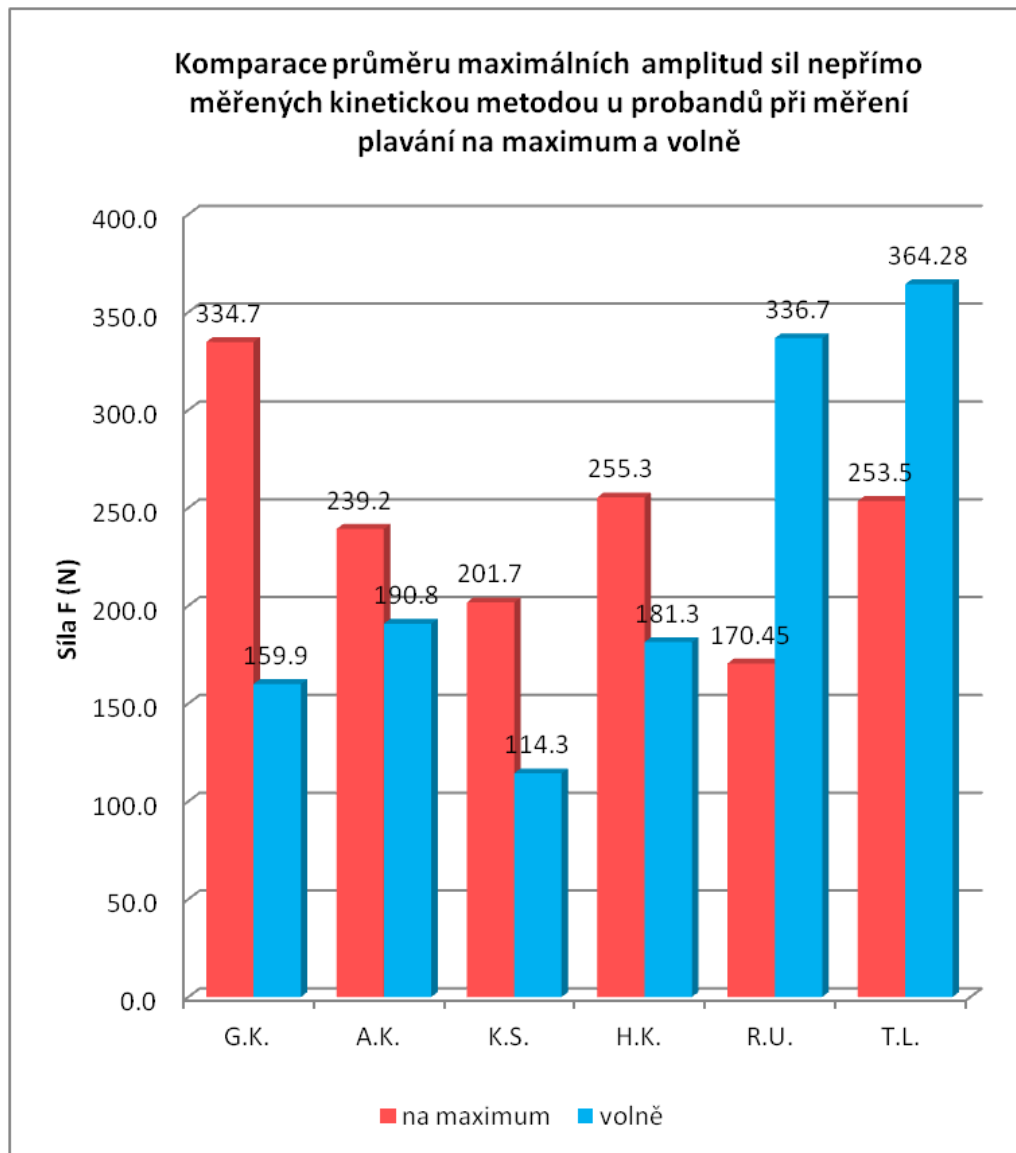
Na Obrázku 6.17 uvedený graf zobrazuje srovnání hodnot průměru maximálních hodnot vypočtených sil při plavání s nádechem a bez nádechu u jednoho probanda. Je zde vidět, že hodnota průměru při plavání s nádechem je vyšší než u plavání bez nádechu, přitom dle Tabulky 6.6 u plavání bez nádechu měl proband vyšší střední rychlost. U plavání bez nádechu jsou brzdící síly menší a také plavecká technika je efektivnější.



Obrázek 6.17. Grafické znázornění průměru maximálních hodnot sil při plavání s nádechem a bez nádechu

Graf na Obrázku 6.18 zobrazuje srovnání průměrů maximálních amplitud sil při měření kinetickou metodou při plavání na maximum a volně. U většiny jsou vyšší hodnoty v případě plavání na maximum. U dvou případů ale jsou vyšší průměry sil při plavání volně. Je to způsobeno efektivnější technikou při plavání na maximum, kde u plavání volně docházelo k brzdění vlivem nesprávných dokončovacích fází záběru.





Obrázek 6.18 Grafické znázornění průměru maximálních hodnot sil při plavání na maximum a volně

**H3:** Vyšší hodnoty střední rychlosti a účinnosti budou mít probandi s vyšším průměrem amplitud maximálních hodnot silového působení u kraulové souhry na maximum.

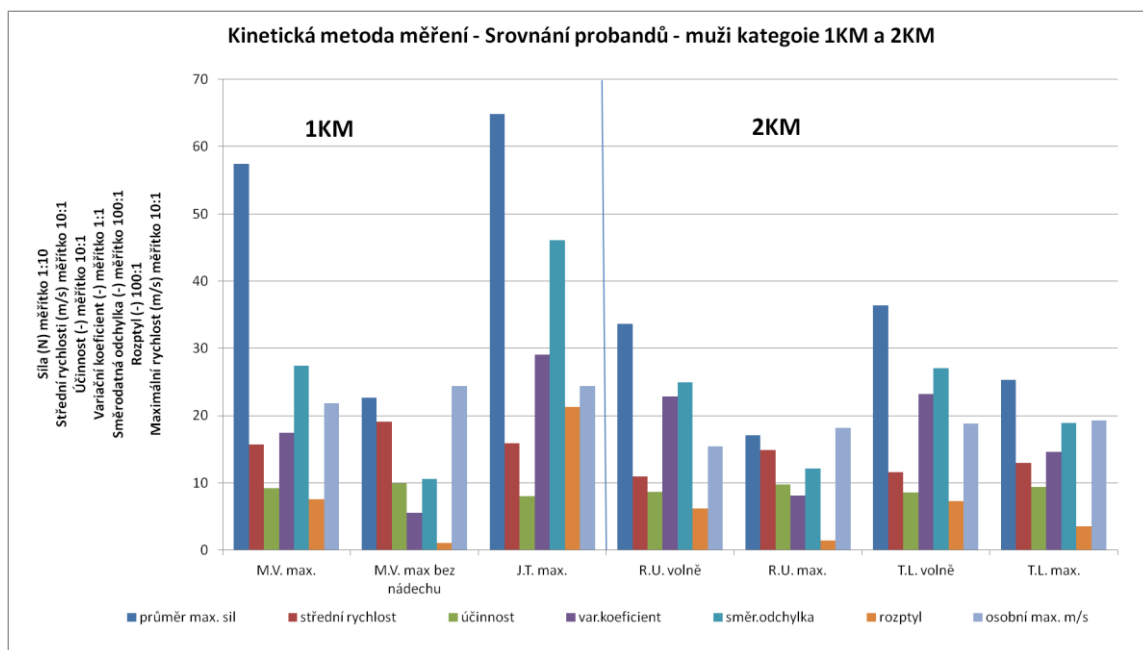
Pomocí programu SwimDataViewer jsme z naměřených průběhů rychlosti a zrychlení stanovili parametry pro kvalitativní posouzení plavecké techniky. Konkrétně se jedná o střední rychlost, účinnost, variační koeficient, směrodatná odchylka, rozptyl, maximální dosažená rychlost. K těmto hodnotám jsme přidali

výpočet průměru maximálních amplitud sil. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 6.6.

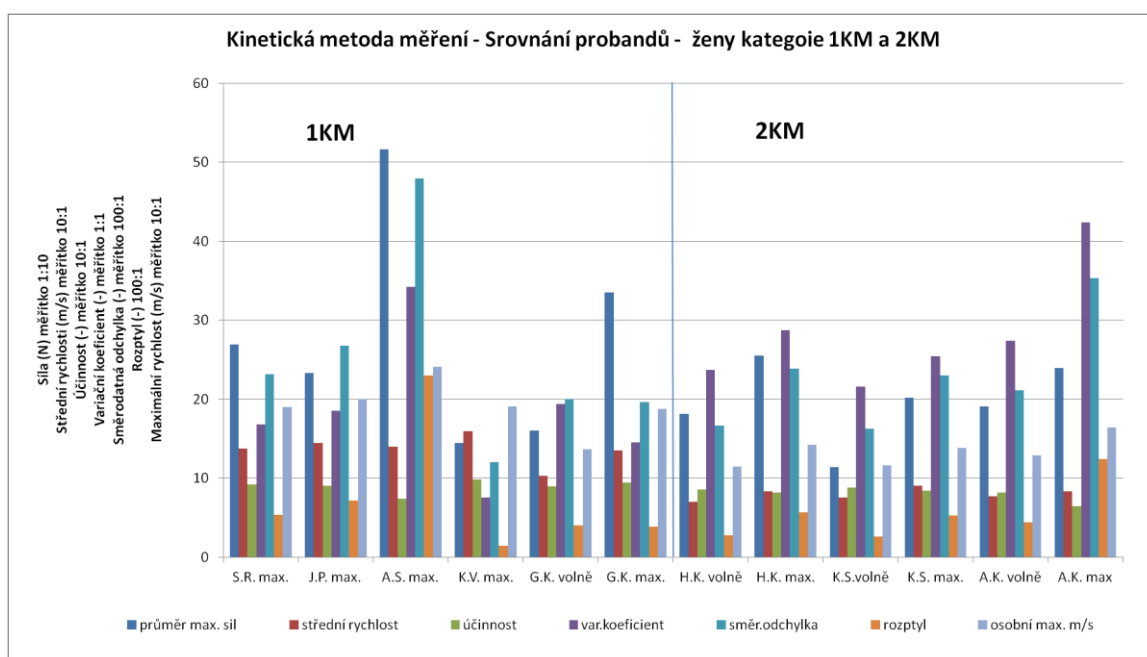
Tabulka 6.6 Hodnoty měřené kinetickou metodu

			Průměr max.sil (N)	Střední rychlost (m/s)	účinnost (-)	Var.koeficient (%)	Směr.odchylka (-)	Rozptyl (-)	Max. rychlost (m/s)	VZ 100m (min:sek)
Muži	M.V. max.	1KM	573.9	1.57	0.918	17.48	0.2746	0.075	2.18	0:48.9
	M.V. max bez nádechu	1KM	226.6	1.91	0.997	5.53	0.1055	0.011	2.44	0:48.9
	J.T. max.	1KM	648.8	1.59	0.802	29.05	0.4611	0.213	2.44	0:54
	R.U. volně	2KM	336.7	1.09	0.868	22.84	0.2497	0.062	1.54	1:17
	R.U. max.	2KM	170.5	1.49	0.981	8.12	0.1211	0.015	1.82	1:17
	T.L. volně	2KM	364.3	1.16	0.861	23.23	0.2702	0.073	1.88	1:22
	T.L. max.	2KM	253.5	1.30	0.941	14.57	0.1894	0.036	1.93	1:22
Ženy	S.R. max.	1KM	269.0	1.37	0.923	16.85	0.2314	0.054	1.9	1:04
	J.P. max.	1KM	233.0	1.45	0.908	18.52	0.2677	0.072	2	1:03
	A.S. max.	1KM	516.0	1.40	0.740	34.21	0.4796	0.230	2.41	1:04
	K.V. max.	1KM	144.4	1.59	0.983	7.53	0.1199	0.014	1.91	0:59.6
	G.K. volně	1KM	159.9	1.03	0.898	19.39	0.2001	0.040	1.37	1:05
	G.K. max.	1KM	334.7	1.35	0.941	14.53	0.1963	0.039	1.88	1:05
	H.K. volně	2KM	181.3	0.70	0.856	23.71	0.1667	0.028	1.15	1:56
	H.K. max.	2KM	255.3	0.83	0.818	28.71	0.2387	0.057	1.42	1:56
	K.S.volně	2KM	114.3	0.75	0.878	21.57	0.1627	0.027	1.16	1:50
	K.S. max.	2KM	201.7	0.90	0.845	25.45	0.2299	0.053	1.38	1:50
	A.K. volně	2KM	190.8	0.77	0.818	27.42	0.2113	0.045	1.29	1:40
A.K. max	2KM	239.2	0.83	0.649	42.36	0.3528	0.125	1.64	1:40	

Pro lepší názornost byly hodnoty vyneseny do grafů v Obrázku 6.19 a v Obrázku 6.20. Z důvodu zobrazování parametrů, u kterých se hodnoty řádově liší, jsme museli hodnoty zobrazovat pomocí měřítka, které je uvedeno u popisu vertikální osy. Pomocí grafu lze porovnávat jednotlivé parametry a plaveckou techniku jak u mužů, tak u žen. Jedním z hlavních poznatků je, že účinnost plavecké techniky, nezávisí tak na velikosti maximálních amplitud sil, jako na rozptylu. Čím je rozptyl menší, tím je vyšší účinnost. Z tohoto důvodu lze za nejlepší plaveckou techniku považovat techniku probanda M. V. plaváno na maximum bez nádechu. I při menším průměru maximálních amplitud sil proband dosahoval vyšší střední i maximální rychlost.

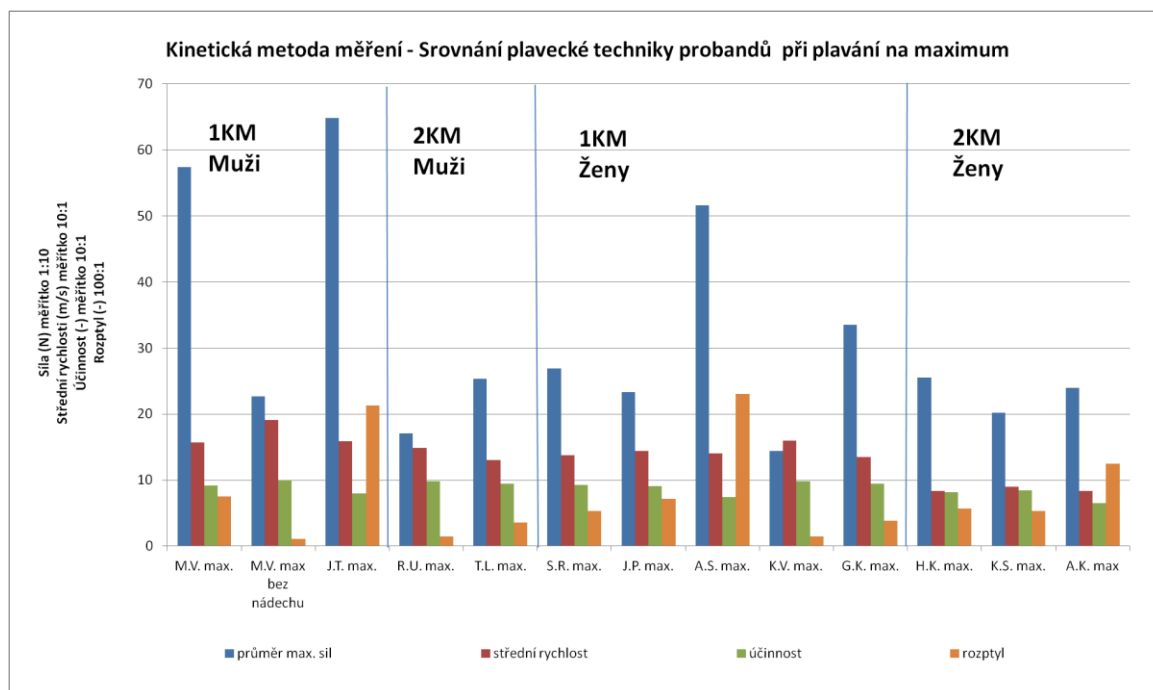


Obrázek 6.19. Grafické znázornění parametrů plavecké techniky u mužů



Obrázek 6.20 Grafické znázornění parametrů plavecké techniky u žen

V Obrázku 6.21 lze vidět znázornění základní parametrů určujících kvalitu plavecké techniky u všech měřených probandů. Na základě těchto hodnot lze říct, že **hypotéza H3 se nepotvrdila**. Probandi s vyššími hodnotami účinnosti a střední rychlosti, nemusí mít zároveň i vyšší hodnoty průměru maximálních amplitud sil.



Obrázek 6.21. Grafické znázornění parametrů plavecké techniky při plavání na maximum

Z naměřených a vypočtených výsledků si můžeme odvodit, že probandi s vyššími hodnotami účinnosti, díky schopnosti udržet rovnoměrnou rychlost plavání bez velkého kolísání rychlosti, díky kvalitnímu záběru a citu pro vadu při jeho provedení, dokáží plavat mnohem účinněji i při menších hodnotách velikostí sil.

### 6.3 Srovnání statické a kinetické metody měření

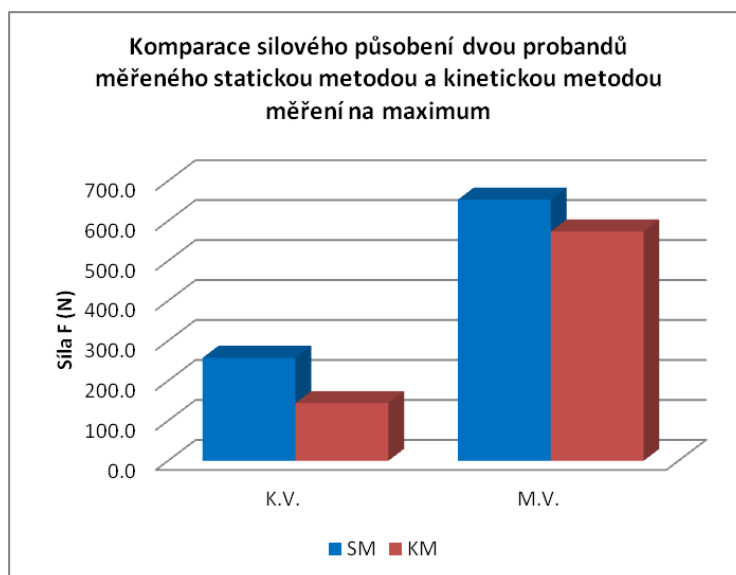
**VO1:** Bude silové působení probandů při měření metodou statického měření sil (bez dopředného pohybu), větší než nepřímo měřené silové působení měřené kinetickou metodou u kraulových nohou, kraulových paží a kraulové souhry?

Pro účel posouzení této hypotézy byla vytvořena Tabulka 6.7. V této tabulce jsou zobrazeny hodnoty průměrů maximálních amplitud sil získaných pomocí statické a kinetické metody. Měření statickou metodou probíhalo před dvěma lety, a proto nebylo možné změřit všechny probandy oběma metodami. U dvou probandů

máme k dispozici měření obou metod a jejich hodnoty průměrů maximálních amplitud sil jsou uvedeny v grafu v Obrázek 6.22.

Tabulka 6.7 Hodnoty průměru maximálních hodnot amplitud sil

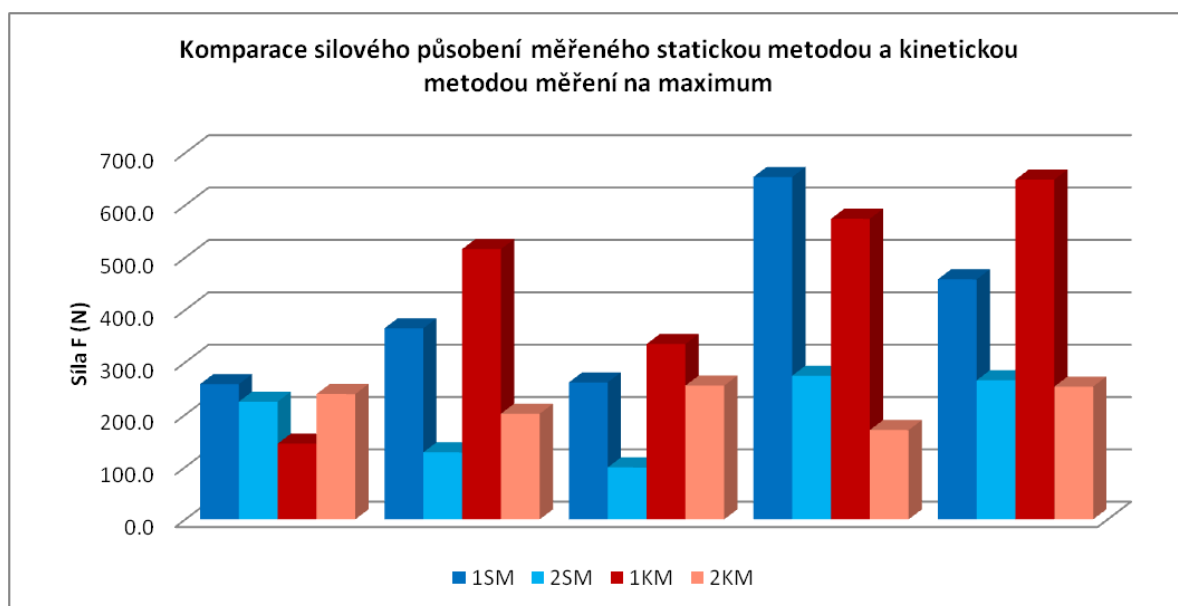
Kategorie	Označení probandů	Průměr maximálních hodnot amplitud sil			
		Statická metoda		Kinetická metoda	
		Max	Volně	Max	Volně
<b>1SM (ž)</b>	<b>K.V.</b>	<b>258.0</b>	<b>164.7</b>	<b>144.4</b>	
1SM (ž)	A.N.	364.8	236.0		
1SM (ž)	T.K.	261.5	160.8		
<b>1SM (m)</b>	<b>M.V.</b>	<b>653.7</b>	<b>412.4</b>	<b>573.9</b>	
1SM (m)	H.T.	458.3	251.0		
2SM (ž)	M.F.	224.6	187.7		
2SM (ž)	B.Ž.	127.8	118.9		
2SM (ž)	M.Č.	99.0	72.1		
2SM (m)	M.Š.	274.3	170.0		
2SM (m)	Š.S.	265.4	124.6		
<b>1KM (ž)</b>	<b>K.V.</b>	<b>258.0</b>	<b>164.7</b>	<b>144.4</b>	
1KM (ž)	A.S.			516.0	
1KM (ž)	G.K.			334.7	159.9
<b>1KM (m)</b>	<b>M.V.</b>	<b>653.7</b>	<b>412.4</b>	<b>573.9</b>	
1KM (m)	J.T.			648.8	
2KM (ž)	A.K.			239.2	190.8
2KM (ž)	K.S.			201.7	114.3
2KM (ž)	H.K.			255.3	181.3
2KM (m)	R.U.			170.45	336.7
2KM (m)	T.L.			253.5	364.28



Obrázek 6.22 Grafické znázornění komparace silového působení dvou probandů u statické a kinetické metody

Z těchto hodnot je patrné, že průměry maximálních amplitud sil, jsou vyšší u statické metody jak u kinetické metody. Tento závěr **potvrzuje kladnou odpověď naší výzkumné otázky VO1**. Záběr probanda při statické metodě umožňuje vyvinout větší sílu, protože zabírá ve stojaté vodě. Lze to srovnat s rozběhem u kinetické metody, kdy zrychlení a tedy i síla je nejvyšší. Při dopředním pohybu se proband a voda kolem něho vzájemně pohybují a proto při záběru ve směru pohybu vody vzniká menší síla.

Na Obrázku 6.23 lze vidět srovnání silového působení měřeného statickou a kinetickou metodou při plavání na maximum. V některých je silové působení vyšší u kinetické metody jako u statické metody. Je to způsobeno tím, že probandi měření statickou metodou jsou jiné osoby než u měření kinetickou metodou. Proto nelze s určitostí tvrdit, že průměr naměřených sil u kinetické metody je vyšší než u statické metody.

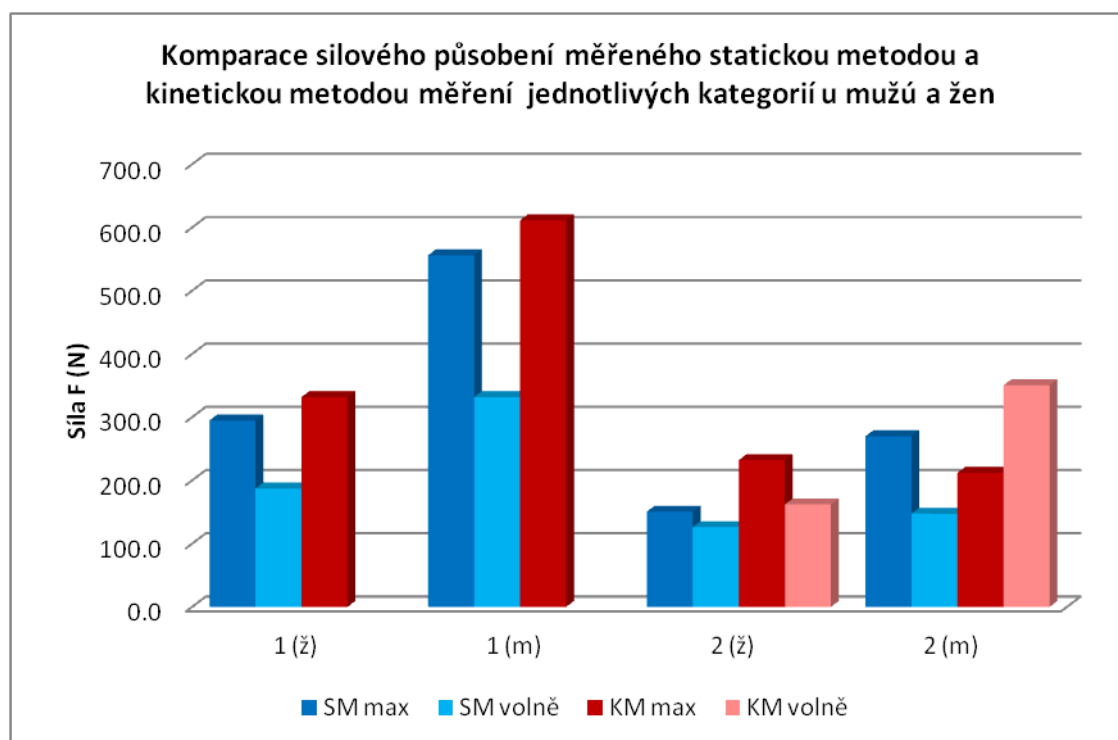


Obrázek 6.23 Grafické znázornění komparace silového působení u statické a kinetické metody

Tabulka 6.7 průměr maximálních hodnot amplitud sil

Kategorie	Průměr maximálních hodnot amplitud sil			
	Statická metoda		Kinetická metoda	
	Max	Volně	Max	Volně
1 (ž)	294.8	187.2	331.7	
1 (m)	556.0	331.7	611.3	
2 (ž)	150.5	126.2	232.1	162.1
2 (m)	269.9	147.3	212	350.5

V Tabulce 6.7 jsou uvedeny hodnoty průměrů maximálních hodnot amplitud sil pro jednotlivé kategorie a zvláště pro ženy a muže. U kinetické metody nebyli probandi změřeni při plavání volně. Hodnoty z Tabulky 6.7 jsme vynesli do grafu na Obrázku 6.24. Z hodnot v grafu lze usoudit, že silové působení naměřené kinetickou metodou jsou vyšší, než u statické metody. Přesnější zhodnocení bychom mohli stanovit, v případě většího počtu probandů měřených současně statickou i kinetickou metodou.



Obrázek 6.24 Grafické znázornění komparace silového působení u statické a kinetické metody u mužů a u žen

## Závěr

Hlavním cílem práce bylo analyzovat plaveckou techniku kraul pomocí metody statického měření sil a metody kinetického měření rychlosti a zrychlení. Pro praktické měření byly vytvořeny výzkumné soubory dvou výkonnostních kategorií a pro vyhodnocení zformulovány tři hypotézy a výzkumná otázka.

**H1:** Průměrná hodnota z naměřených hodnot sil a průměr maximálních amplitud sil naměřených statickou metodou měření je u probandů výzkum. souboru 1SM vyšší než u probandů výzkum. souboru 2SM u kraulové souhry plaváno na maximum a volně. Hypotéza se potvrdila

**H2:** Výzkumný soubor 1 KM dosahoval vyšších maximálních hodnot amplitud sil spočtených ze zrychlení než výzkumný soubor 2KM u kraulové souhry na maximum. Hypotéza se potvrdila.

**H3:** Bylo zjištěno, že vyšší hodnoty střední rychlosti a účinnosti nemusí mít probandi s vyšším průměrem amplitud maximálních hodnot silového působení u kraulové souhry na maximum. Hypotéza se nepotvrdila

**VO:** Silové působení probandů při měření metodou statického měření sil (bez dopředného pohybu), bylo větší než nepřímo měřené silové působení měřené kinetickou metodou u kraulových nohou, kraulových paží a kraulové souhry u dvou probandů, kteří byli měření statickou i kinetickou metodou. Statisticky se toto tvrzení nepotvrdilo, z důvodu nejednotného souboru probandů pro obě metody.

Důležitým přínosem měření je, že účinnost plavecké techniky nezávisí na velikosti průměrné hodnoty maximální amplitudy sil ale na rovnoměrnosti pohybu, co vyjadřuje statistický parametr rozptyl. Kvalitativně nejpřesnější posouzení plavecké techniky nabízí kinetická metoda. Měření u této metody probíhá při přirozeném dopředním pohybu a měřený proband je měřením omezen jen minimálně. Metoda nám poskytla podrobné vyhodnocení techniky plavání probandů a její účinnosti.

Statická metoda je jednodušší po technické i analytické stránce, avšak díky chybějící vizualizaci průběhu pomocí zobrazovacích metod nelze provádět analýzu plavecké techniky s takovým přínosem, jako je tomu u kinetické metody měření.



Výsledky lze uplatnit pro posouzení silových dispozic probanda a pro analýzu záběru jednotlivých paží případně analýzu nádechové fáze a její vliv na sílu záběru a průběh sil. Vhodné by bylo doplnit statickou metodu o vizualizaci pomocí zobrazovacích metod, pro přesnější posouzení distribuci sil při záběru.

Kinetická metoda nám nabízí přínosné informace o měřené kraulové plavecké technice, ale software pro zpracování dat SwimDataViewer by bylo vhodné doplnit o další možnosti např. export naměřených dat do MS Excelu, pro další zpracování průběhů.

## Souhrn

Hlavním cílem práce bylo analyzovat plaveckou techniku kraul pomocí metody statického měření sil a metody kinetického měření rychlosti a zrychlení. Pro praktické měření byly vytvořeny výzkumné soubory dvou výkonnostních kategorií a pro vyhodnocení zformulovány tři hypotézy a výzkumná otázka. Bylo zjištěno, že:

Průměrná hodnota z naměřených hodnot sil a průměr maximálních amplitud sil naměřených statickou metodou měření je u probandů výzkumných souboru 1SM vyšší než u probandů výzkumných souboru 2SM u kraulové souhry plaváno na maximum a volně.

Výzkumný soubor 1 KM dosahoval vyšších maximálních hodnot amplitud sil spočtených ze zrychlení než výzkumný soubor 2KM u kraulové souhry na maximum.

Bylo zjištěno, že vyšší hodnoty střední rychlosti a účinnosti nemusí mít probandi s vyšším průměrem amplitud maximálních hodnot silového působení u kraulové souhry na maximum.

Důležitým přínosem měření je, že účinnost plavecké techniky nezávisí na velikosti průměrné hodnoty maximální amplitudy sil, ale na rovnoměrnosti pohybu, což vyjadřuje statistický parametr rozptyl.

Kvalitativně přesnější posouzení plavecké techny nabízí kinetická metoda.

## Summary

The main object of this thesis was to analyze the swimming technique crawl with the help of the method of static measuring of powers and the method of kinetic measuring of the speed and acceleration. For the practical measuring were created research groups of two efficiency categories and for the evaluation tri hypotheses and the research question were formed. It was discovered that:

The average value from the measured values of the powers and the average of the maximal amplitudes of the powers measured by the static method is higher with the probands of the research groups 1SM than with the probands of the research groups 2SM at the crawl coordination swimming at the maximum speed and freestyle.

Research group 1 KM reached higher maximal values of the amplitudes of the powers counted from the acceleration than the group 2KM at crawl coordination at the maximum.

It was discovered that the probands with the higher average of the amplitudes of the maximum values of the force impact at the crawl coordination at maxim do not have to necessarily have the higher values of the medium speed and effectiveness.

The important contribution of the measuring is the fact that the effectiveness of the swimming technique does not depend on the size of the average value of the maximum amplitude of the powers but on the smoothness of the motion, which is expressed by the statistic parameter scattering.

The kinetic method offers qualitatively more accurate examinations of the swimming technique.

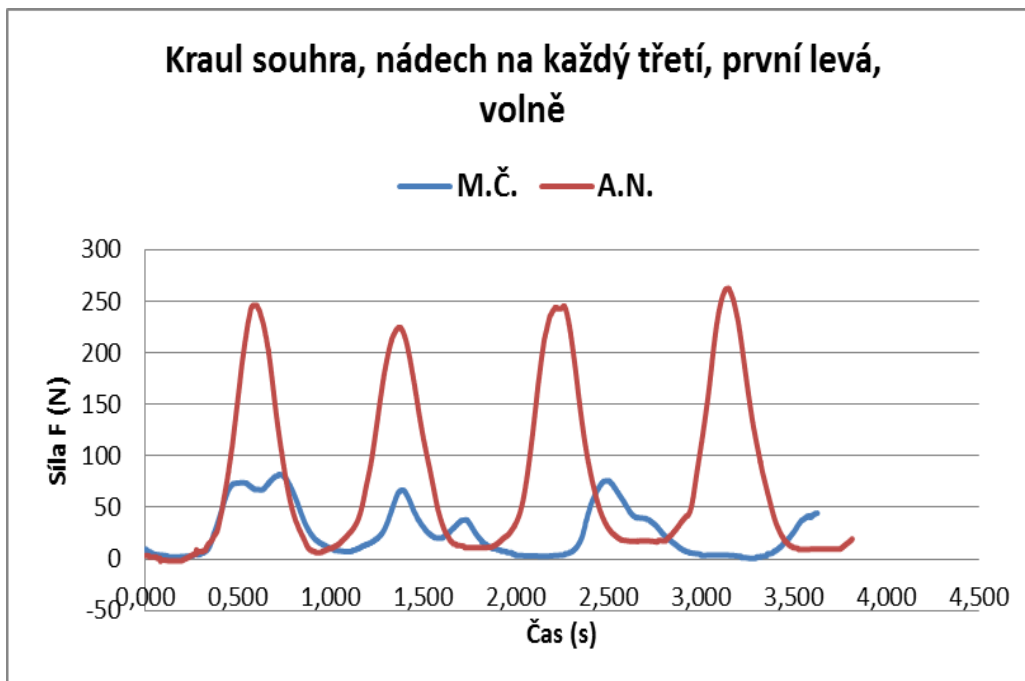
## Referenční seznam

1. Cecil, M. (1991). *Swimming into the 21st century*. Champaign: Human Kinetics,
2. Dovalil, J. et al. (2000). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
3. Frantová, M. (2010). *Distribuce sil při plaveckém způsobu kraul* [Diplomová práce]. Brno: Masarykova Univerzita.
4. Hlavatý, R. (2010). *Antropometrické a kinematické ukazatele plaveckého výkonu v kraulových disciplínách*.
5. Hofer, Z. et al. (2011). *Technika plaveckých způsobů* (3rd ed.). Praha: Karolinum.
6. Hoch, M. et al. (1983). *Plavání* [teorie a didaktika]. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
7. Jursít, D. et al. (1983). *Teória a didaktika plvania*. Bratislava: UK Bratislava
8. Klaichovám M., Baláž, J., Bedřich, P., Zvonař, M. (2011). *Základy biomechaniky tělesných svičení*. Brno: Albert.
9. Motyčka, J. et al. (2001). *Teorie plaveckých sporů*. Brno: Masarykova Univerzita.
10. Motyčka, j. (1971). *Sborník referátů z rozšířeného zasedání kateder tělesné výchovy. pp Brno: Vojenská Akademie Antonína zápotockého*.
11. Motyčka, J., Lepková, H., Šťastný, J., P., M. (2011). *Porovnání výsledků měřené techniky plavání juniorské a seniorské reprezentace*. In *Plavecká lokomoce a zatěžování ve vodě* (pp. 57-61).
12. Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest, The essential reference on technique, and program design*. Champaign, IL: Human Kinetics.
13. Maglischo, E. W. (2003). *Swimming faster, Champaign Spojené státy americké*. Champaign, IL: Human Kinetics.
14. Onoprienko, B. I. (1981). *Biomechanika plvania*. Kijev: Zdorovje
15. Verner, M. (2001). *Rozbor techniky plavce sprintera* [Diplomová práce]. Brno: Masarykova Univerzita.

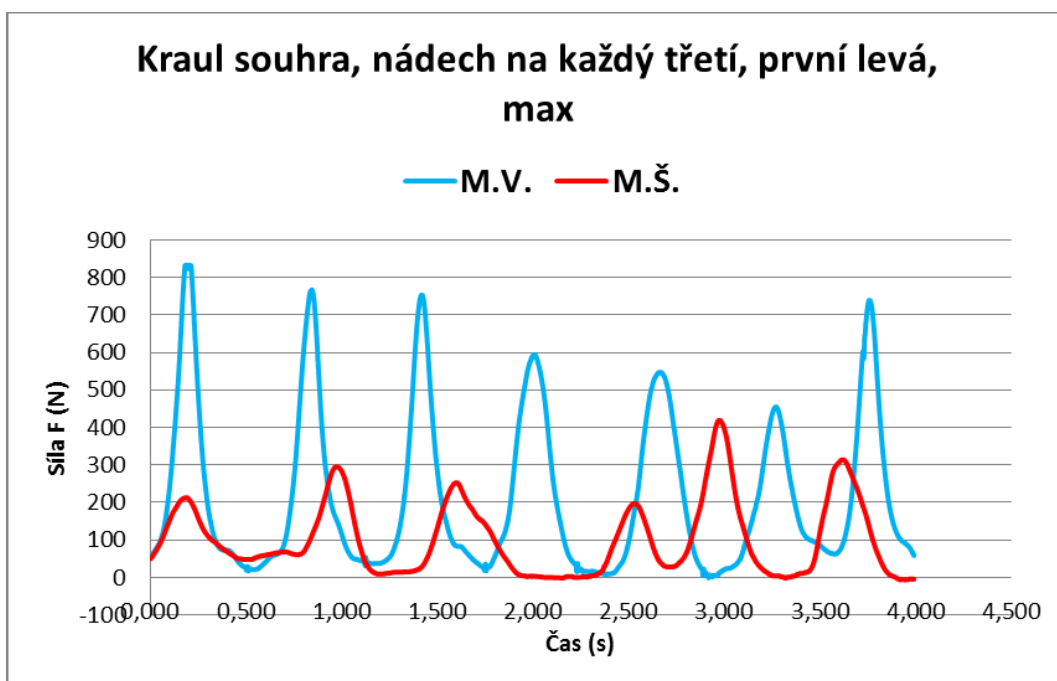
16. Shuji, S., Masahiro, T., Shouichirou, T., M., A. (1999). *Estimation of propulsion and drag force in front crawl stroke*. In Biomechanics and medicine in swimming VIII. Jyväskylä:University of Jyväskylä.(pp 107-118).
17. Kolmogorov, S. Lyapin, S. (2011) *Biomechanics of a set of unstationary active motion of biological objects in water enviroment: From concepts to technologies*. In Biomechanics and medicine in swimming VIII. Jyväskylä:University of Jyväskylä. (pp 119-124).

## Přílohy

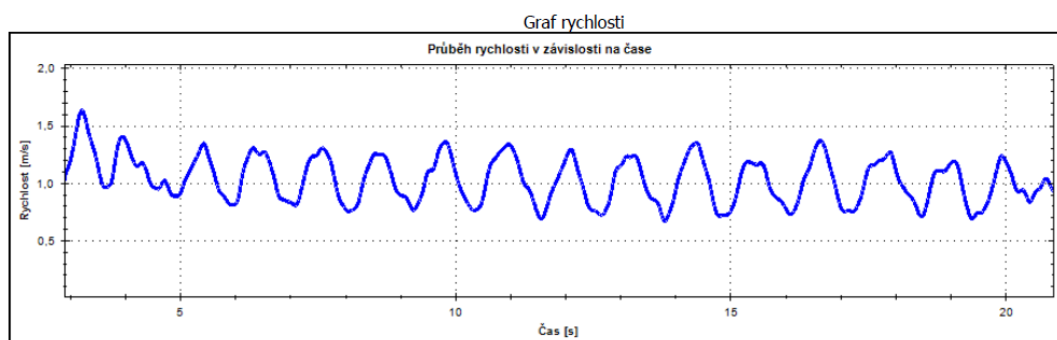
Statická metoda měření - Komparace probandů 1SM a 2 SM - ženy



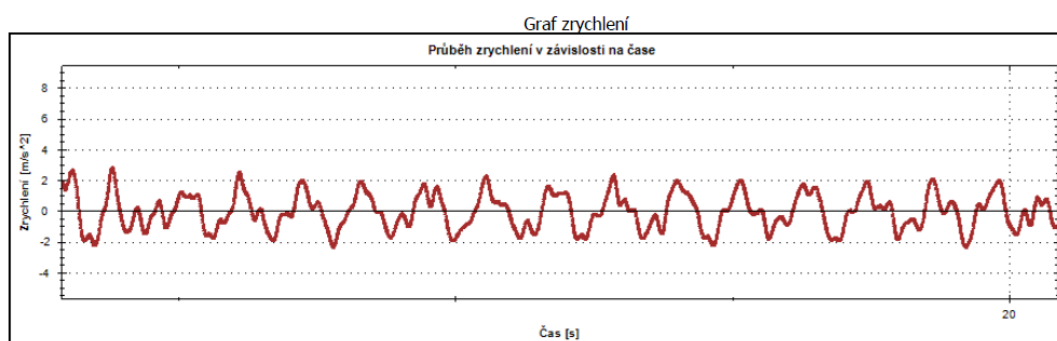
Statická metoda měření - Komparace probandů 1SM a 2 SM - muži



## Kinetická metoda měření - G.K. – Souhra kraul volně



### Protokol o měření



záznam pro čas  $t = 18,31$  sec

