



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Populační studie reakčního času
Population Study of Reaction Time

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Ing. Lenka Hanáková

Michal Adam

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Michal Adam

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Populační studie reakčního času**

Název tématu (anglicky): Population Study of Reaction Time

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vykonat měření reakčního času na zařízení pro tyto účely určeném, které je umístěno v Laboratoři lidského faktoru a automatizace v letětví, s jejich současným vyhodnocením na reprezentativním vzorku subjektů ve smyslu populačního reakčního času. Výsledky budou sloužit pro objektivizaci a komparaci měření vůči populaci, právě při využívání experimentálního zařízení pro měření reakčního času.
- Vykonejte analýzu současného stavu s hlavní orientací na známé typy reakčních časů a jejich populační distribuce, způsoby měření a využívání zařízení.
- Vykonejte sběr dat reakčního času, a to na reprezentativním vzorku subjektů charakterizujících populaci.
- Sesbíraná data vyhodnoťte vhodnými statistickými metodami. Při hodnocení zohledněte demografické údaje o subjektech.
- Výsledky diskutujte a stanovte závěry práce.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Kosinski, R. J.. A literature review on reaction time. Clemson University, 2008.
Whelan, R. Effective Analysis of Reaction Time Data. The Psychological Record. 2008, 58(3), 475-482.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.**
Ing. Lenka Hanáková

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Michal Adam
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2021



Abstrakt

Předmětem práce je analýza stavu známých druhů reakčních časů, a to jednoduchého reakčního času, rozpoznávacího reakčního času a výběrového reakčního času. V práci jsou také vysvětleny principy fungování nervové soustavy, jež slouží k přenosu informací o stimulech v těle. Dále jsou vyloženy faktory ovlivňující jejich hodnoty, např. stavba těla, pohlaví, věk či intenzita stimulu, což je obsahem teoretické části této bakalářské práce. Cílem práce je vykonat měření reakčního času na reprezentativním vzorku subjektů ve smyslu populačního reakčního času za použití experimentálního zařízení pro tyto účely určeném a následně je praktická část zaměřená na vyhodnocení nasbíraných dat vhodnou statistickou metodou. Celkově byl změřen reakční čas na 555 subjektech během doby devatenácti měsíců. Z měření a porovnání dat s předchozími výzkumy vyplynulo, že faktory zmíněné v teoretické části se od určité míry u testovaného vzorku vyskytují.

Klíčová slova: měření populace, reakční čas, statistika, zařízení na měření reakčního času



Abstract

The subject of this thesis is to analyze the known types of reaction times, ie simple reaction time, recognition reaction time and choice reaction time. The thesis also covers the principles of how the nervous system works as it conducts the information transfers about stimuli in the human body. Further, the work deals with other factors that influence reaction time values such as body posture, sex, age or the intensity of stimuli, which is the content of the theoretical part of this thesis. The aim of this work is to carry out research on reaction times of a representative sample of the population using an experimental machine suitable for this type of measurement. The following practical part analyzes and draws conclusions from the research. In total, 555 persons partook in the research within nineteen months. The result of this thesis is that the collected data corresponds to a certain extent with the research conducted in the past.

Keywords: device for measuring reaction time, measurement of population, reaction time, statistics



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval hlavně vedoucímu projektu doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D., a vedoucímu projektu paní Ing. Lence Hanákové za odborné a cenné rady, které vedly k vypracování mé práce.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Populační studie reakčního času vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 1. června 2022

.....

Podpis



Obsah

ÚVOD	11
1. TEORETICKÉ ZÁKLADY PRÁCE	12
1.1 REAKČNÍ ČAS.....	12
1.1.1 Zrakové ústrojí a nervová soustava	12
1.1.2 Rozdělení reakčního času.....	14
1.1.3 Faktory ovlivňující reakční čas	16
1.2 ZAŘÍZENÍ.....	18
1.2.1 Filtro Reaction	18
1.2.2 Filtro Agility.....	19
1.2.3 MOART Reaction Time and Movement Panel	20
1.2.4 Batak Professional	20
1.3 ANALÝZA VÝZKUMŮ	21
1.3.1 Vlivy působící na měření času v průběhu doby.....	21
1.3.2 Vliv reakčního času jedince na výkon profese	23
1.4 LIMITACE SOUČASNÉHO STAVU	24
2. METODY	25
2.1 POPIS POUŽITÉHO ZAŘÍZENÍ V PRAKTICKÉ ČÁSTI	25
2.2 PRINCIP MĚŘENÍ.....	27
2.3 DEMOGRAFIE SUBJEKTŮ	28
3. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	30
3.1 SEZNAM MATEMATICKÝCH POJMŮ A OPERACÍ	30
3.2 PŘÍPRAVA DAT PŘED VYHODNOCENÍM.....	32
3.3 VYHODNOCENÍ DAT V PROGRAMU MATLAB.....	32
3.4 VYHODNOCENÍ DAT V EXCELU.....	41
3.4.1 Úprava dat před analýzou.....	41
3.4.2 Statistická analýza dat.....	41
3.4.3 Vliv věku na reakční čas	42
3.4.4 Vliv výšky na reakční čas	43
3.4.5 Vliv hmotnosti na reakční čas	45
3.4.6 Vliv zaměstnání na reakční čas	47
3.4.7 Vliv pohlaví na reakční čas	50
3.4.8 Vliv dominantní horní končetiny na reakční čas	50
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ	51
5. ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
SEZNAM PŘÍLOH	58



Seznam obrázků

Obrázek 1: Stavba oka	12
Obrázek 2: Reflexní oblouk [6].....	13
Obrázek 3: Popis stavby těla neuronu [33]	14
Obrázek 4: Schéma jednoduchého reakčního času	15
Obrázek 5: Schéma rozpoznávacího reakčního času	15
Obrázek 6: Schéma výběrového reakčního času.....	15
Obrázek 7: Schéma zařízení Filtro Reaction.....	18
Obrázek 8: Schéma zařízení Filtro Agility.....	19
Obrázek 9: Popis zařízení MOART Reaction.....	20
Obrázek 10: Schéma zařízení Batak Professional.....	21
Obrázek 11: Výsledky naměřených hodnot reakčních časů vyskytující se v literatuře za dobu 150 let [20]	22
Obrázek 12: Hardwarová část pro měření reakčních časů horních končetin [2]	26
Obrázek 13: Hardwarová část pro měření reakčních časů dolních končetin [2].....	27
Obrázek 14: Krabicový diagram věkového zastoupení subjektů podle pohlaví	29
Obrázek 15: Histogram pro rozhodovací reakční čas horních končetin	33
Obrázek 16: Histogram výběrových reakčního časů horních končetin	34
Obrázek 17: Histogram reakčního času dolních končetin.....	36
Obrázek 18: Log. Transformace rozhodovacího reakční času horních končetin.....	38
Obrázek 19: Logaritmicky transformovaný výběrový reakční čas horních končetin končetin končetin	39
Obrázek 20: Logaritmicky transformovaný reakční čas dolních končetin	40



Seznam tabulek

Tabulka 1: Jednoduché reakční časy v závislosti na pohlaví, věku a druhu stimulu [8]	16
Tabulka 2: Hodnoty parametrů pro rozhodovací reakční časy horních končetin	34
Tabulka 3: Hodnoty parametru pro rozhodovací reakční časy horních končetin	35
Tabulka 4: Hodnoty parametru pro rozhodovací reakční časy horních končetin	37
Tabulka 5: Parametry Normálního rozdělení pro rozhodovací reakční čas horních končetin	38
Tabulka 6: Parametry normálního rozdělení pro výběrový reakční čas horních končetin	39
Tabulka 7: Parametry normálního rozdělení reakčního času dolních končetin	40
Tabulka 8: Reakční doba v závislosti na věku jedince	42
Tabulka 9: Vliv výšky na reakční čas	44
Tabulka 10: Post-hoc vliv výšky na reakční čas (výčet statisticky nevýznamných porovnání)	45
Tabulka 11: Vliv hmotnosti na reakční čas.....	46
Tabulka 12: Post-hoc test vliv hmotnosti na reakční čas	47
Tabulka 13: Vliv zaměstnání na reakční čas.....	48
Tabulka 14: Post-hoc test vliv zaměstnání na reakční čas	49



Úvod

O reakčním čase nebo o reakční době mluvíme v souvislosti s časovou prodlevou, která vzniká mezi zachycením podnětu a vykonáním reakce na něj, což je dáno lidskou fyziologií. Naše smysly reagují na podněty z okolí. Ze smyslových orgánů je informace vedena nervovými drahami do mozku, který tuto informaci v motorickém centru zpracuje a vytvoří odezvu. Odezva je opět nervovými drahami transportována k výkonnému orgánu, kterým je sval. Ten pak vykoná reakci na daný podnět.

Reakční čas je významný v mnoha profesích, např. v letectví, neboť letecký personál vykonává nespočet komplexních úkonů na různé podněty v omezeném čase a při jejich selhání mohou být ohroženy lidské životy [2]. V roce 2020 vzniklo v Laboratoři lidského faktoru a automatizace v letectví Fakulty dopravní ČVUT v Praze zařízení na měření reakčního času. Toto zařízení je v mnoha způsobech odlišné od konkurenčních zařízení svou stavbou a schopností měřit více druhů reakčních časů.

Cílem této práce je provést analýzu reakčního času, pochopit jeho známé typy a faktory, které dobu reakčního času ovlivňují. Dále je nutné provést analýzu na trhu dostupných zařízení k měření reakčních časů a seznámit se studii na toto téma. V následné praktické části této práce je cílem provést měření na zařízení ČVUT na širokém vzorku populace. V tomto vzorku budou zastoupeny různé skupiny lidí rozdílné věkové kategorie a různých profesí, jako je například letecký personál, u kterého se očekává budoucí využití tohoto zařízení. Posledním úkolem je naměřená data vyhodnotit vhodnou metodou a diskutovat a stanovit závěr.

Reakční čas člověka byl v minulosti a stále je předmětem řady výzkumů. To mě vedlo k výběru toto tématu. Dále mě zaujala možnost provést vlastní měření na různých skupinách lidí. Naměřená data mohou najít další uplatnění při budoucích výzkumech na tomto zařízení.

1. Teoretické základy práce

1.1 Reakční čas

Mimo definici, kterou jsou zmínili v úvodní kapitole, lze pak reakční čas znázornit vztahem

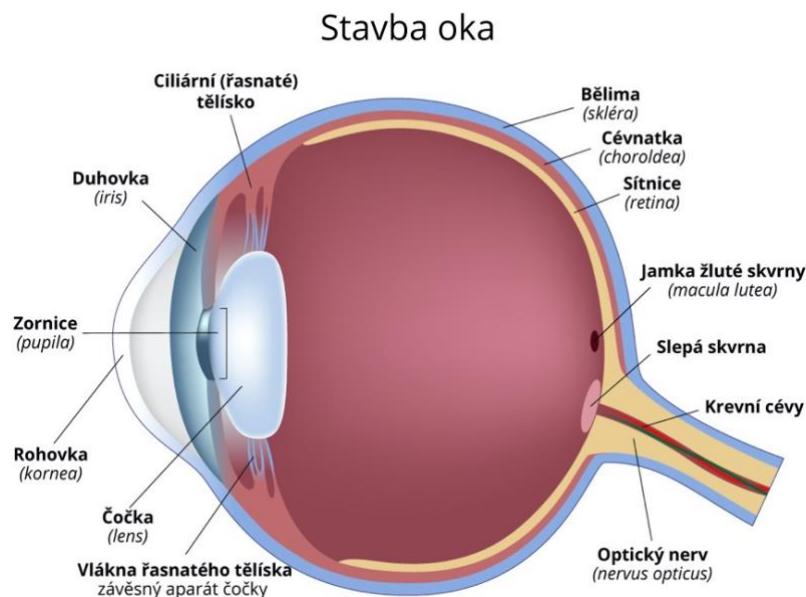
$$t_{rp} = t_p + t_r, \quad (1)$$

kde t_{rp} označuje reakční čas, t_p čas potřebný pro vjem a t_r čas potřebný pro vytvoření reakce [1]. Jedinec může reagovat na více druhů podnětů, jako je např. sluchový, vizuální či hmatový.

Na začátku této kapitoly bude popsána role nervové soustavy a nervového vzruchu při reakci na vizuální podněty, jež jsou předmětem praktické části této bakalářské práce.

1.1.1 Zrakové ústrojí a nervová soustava

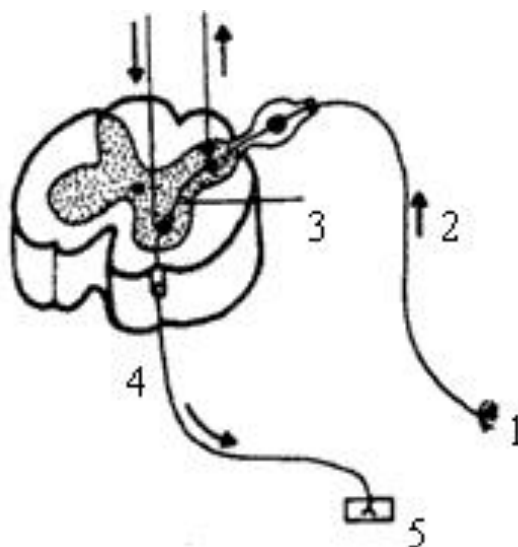
Vzhledem k tomu, že se praktická část této bakalářské práce zabývá příjmem vizuálního podnětu, bude nejprve popsáno zrakové ústrojí. Vstupní signál ze smyslového orgánu oka vyhodnotí centrální nervová soustava (CNS) a poté je vytvořena výstupní informace, jež je zaslána k výkonnému orgánu, kterým je v našem případě kosterní sval. Tento průběh informací se uskutečňuje cestou reflexního oblouku. V neposlední řadě bude zmíněn neuron jako základní jednotka CNS. Oko jako smyslový orgán zpracovává více než 80 % všech informací z okolí. Následující obrázek znázorňuje základní anatomickou stavbu oka.



Obrázek 1: Stavba oka

Orgánem zraku je oční koule, která je uložena v očníci. Očnice je ilustrovaná na obrázku 1. Skládá se z bělimy – vazivové blány, jež tvoří vnější obal. V přední části bělimy přechází v průhlednou rohovku, což je ochranná vrstva, která je smáčena slzami. Vnitřní vrstvu oční koule

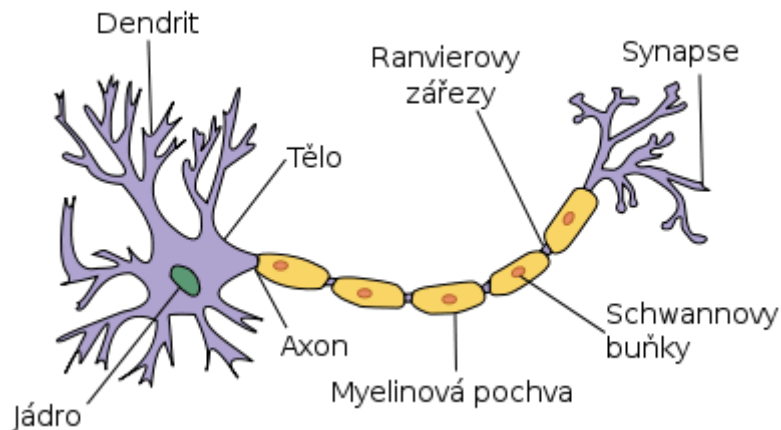
pokrývá cévnatka, jejímž pokračováním je v přední části řasnaté těleso, které se skládá z hladkých svalů a mění zakřivení čočky při různé intenzitě osvětlení. Od řasnatého tělesa odstupuje duhovka, obsahující pigmenty určující barvu oka. Uprostřed duhovky se nachází otvor, tzn. zornice. Ta se stejně jako čočka roztahuje a stahuje v závislosti na síle světla. Již zmíněnou cévnatku pokrývá nejvnitřnější vrstva oční koule sítnice. Chybí pouze v zadní části oka, které se nazývá slepá skvrna, kde vychází z oka zrakový nerv, jenž je vyživován krevními cévami. Zásadní pro vnímání vizuálních podnětů jsou receptorové buňky sítnice, a to tyčinky a čípky, které transformují elektromagnetické záření podnětů v nervové signály. Tyčinky slouží především za tmy a za šera, mezitímco čípky jsou aktivní při větším stupni osvětlení, tedy během dne. S jejich pomocí rovněž rozlišujeme barvy. Čípky se nejvíce koncentrují v jamce žluté skvrny [3].



Obrázek 2: Reflexní oblouk [6]

Receptorové buňky jsou na počátku tzv. reflexního oblouku, který je na obrázku 2. Je to nervový obvod složený ze soustavy neuronů, které jsou spojeny buď přímo, nebo prostřednictvím interneuronu (vmezeřeného neuronu), který je uložen v CNS. Má centrální část, jež je umístěna v mozku a míše (viz č. 3 na obrázku 2), a periferní část.

Světelné paprsky po průchodu světlovodným systémem oka dopadnou na fotoreceptory sítnice, již zmíněné tyčinky a čípky (viz č. 1), a zde dochází k primárnímu nervovému zpracování zrakových informací. Tyto jsou zrakovým nervem pomocí neuronů vedeny dostředivými (aferentními) drahami (č. 2) do CNS, kde se přes interneuron (č. 3) signál převede odstředivou (eferentní) drahou (č. 4) k motorickému neuronu, což je v našem případě kosterní sval (č. 5). Dochází k reflexu, který je odpovědí organismu na dráždění receptoru a zprostředkuje okamžitou odpověď na podnět z vnějšího prostředí.



Obrázek 3: Popis stavby těla neuronu [33]

Z výše uvedeného plyne, že pro přenos nervových signálů jsou důležité neurony jako základní jednotky nervové soustavy, které nyní budou popsány. Fyzikální podstatou přenosu informací je pohyb iontů přes neurony iontovými kanály, který lze registrovat jako elektrický děj. Integrací nervových signálů v neuronech vznikají odpovědi v rámci nervové soustavy, které představují povely k činnosti jednotlivých orgánů. Na obrázku 3 můžeme pozorovat dendrity, což jsou krátké výběžky přijímající signály ze smyslových buněk a zpracovávají je. Jsou vlastně vstupní částí pro informace do neuronů. Z buněčného těla, které obsahuje jádro, odstupuje nervové vlákno (axon) obalené Myelinovou pochvou, jež je vytvářena Schwannovými buňkami a přerušovanou Ranvierovými zářezy. Díky tomuto uspořádání axonu se vzruch po nervovém vlákne šíří rychle do výstupní části nervového zakončení, do synapse. Zde dochází k přenosu signálu mezi neurony nebo mezi neurony a cílovými buňkami [4].

1.1.2 Rozdělení reakčního času

Poté, co byl vysvětlen princip šíření informací v lidském těle pomocí drah nervových vzruchů, budou v následující kapitole uvedeny druhy reakčního času v závislosti na několika aspektech. Pro rozdělení reakčního času je nejprve nutné zmínit pojem mentální chronometrie, což je měření rychlosti kognitivních procesů, tedy od příjmu podnětu po vykonání reakce. Mentální chronometrie dělí tento proces na fáze vnímání podnětu, jeho rozeznání a učinění rozhodnutí pro vykonání reakce, což je založeno na lidských procesech vyložených v předchozí podkapitole. Mentální chronometrii se zabýval ve 20. století nizozemský fyziolog a oční lékař Franciscus Donders, který ve spolupráci s Wilhelmem Wundtem vyvinul tzv. odčítací metodu (subtractive method), jež spočívá ve vytvoření třech modelů, které sestávají z různých úloh a odlišují se v rozdílných hodnotách reakčního času. Jednotlivé hodnoty reakčních časů pro každou úlohu v rámci modelu získáme odečtením průměrné hodnoty reakčního času dané úlohy od jiných modelů.

Dle Donerse rozeznáváme tři následující druhy reakčního času:

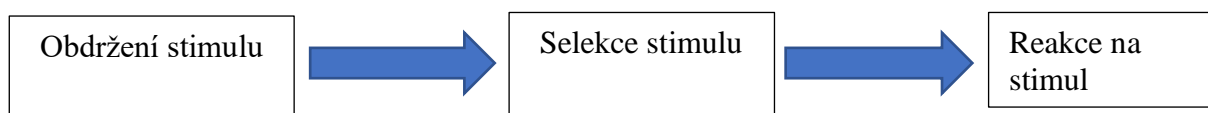
1. Jednoduchý reakční čas (simple reaction time, SRT)
2. Rozpoznávací reakční čas (recognition reaction time, RRT, často také go/nogo)
3. Výběrový reakční čas (choice reaction time, CRT)

Podstatou prvního typu reakčního času, jednoduchého reakčního času je, že subjekt zachytí jeden stimul, na který ihned po zachycení reaguje. Např.: subjekt reaguje na jednu žárovku, při jejímž rozsvícení je instruován ihned zmáčknout dané tlačítko. Jedná se o nejrychlejší druh reakčního času, neboť není třeba selektovat stimuly a vybírat reakci. Jednoduchý reakční čas se tedy dá znázornit následujícím schématem na obrázku 4.



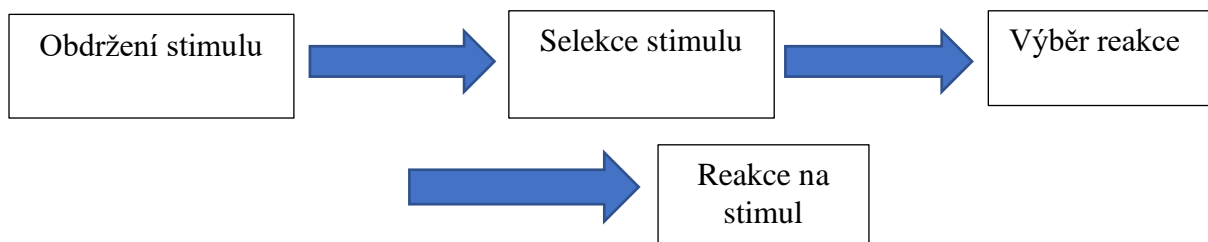
Obrázek 4: Schéma jednoduchého reakčního času

Při rozpoznávacím reakčním čase se jedná o komplexnější proces než u předchozího typu, protože jedinec obdrží dva a více podnětů, jež musí selektovat, a poté musí reagovat pouze na jeden z nich. Např. je-li podnětem rozsvícení trojúhelníku, zmáčkne subjekt červené tlačítko. Je-li naopak stimulem rozsvícení čtverečku, zmáčkne jedinec modré tlačítko. Rozpoznávací reakční čas je možné znázornit pomocí následujícího schématu na obrázku 5.



Obrázek 5: Schéma rozpoznávacího reakčního času

Posledním druhem reakčního času je výběrový reakční čas. Stejně jako při předchozím modelu zachycuje subjekt dva a více stimulů. Ke každému stimulu ovšem vykonává specifickou reakci, tj. jedinec musí selektovat stimul a poté vykonat reakci vhodnou na tento podnět [7, 8]. Příkladem výběrového reakčního času je zařízení využito v praktické části této bakalářské práce. Jsou tři tlačítka, z nichž dvě postranní svítí červeně a modře, prostřední svítí červeně. Podle rozsvícení jednoho specifického tlačítka jedinec vykoná reakci příslušnou k jednomu z pěti stimulů, a to zmáčknutí tlačítka pravou nebo levou rukou či sešlápnutí pedálu pravou či levou nohou. Schéma je ilustrované na obrázku 6.



Obrázek 6: Schéma výběrového reakčního času

Z daných tří modelů lze pomocí výše zmíněné Dondersovi odčítací metody zjistit dvě hodnoty, a to hodnotu času, který subjekt potřebuje na selekci stimulu, a hodnotu času, kterou člověk vyžaduje na rozhodnutí. První hodnotu vypočítáme odečtením jednoduchého reakčního času od výběrového reakčního času. Druhou hodnotu získáme odečtením rozpoznávacího reakčního času od výběrového času. Danými hodnotami se tedy liší jednotlivé typy reakčních časů na



základě komplexnosti úlohy. Tato metoda má řadu nedostatků. Jedním z nejvýznamnějších je, že pracuje s předpokladem, že dílčí zpracování rozhodnutí může být přidáno do rozhodovacího procesu, aniž by změnilo jeho zbývající části. Studenti mistra Wundta vypovídali, že vykonávání úlohy na rozpoznávací reakční čas jim nepřipadalo jako provádění úlohy na jednoduchý reakční čas s přidáním části selekce stimulu [1,7].

1.1.3 Faktory ovlivňující reakční čas

Reakční čas je fyziologická veličina, která může být ovlivněna vnitřními a vnějšími vlivy. V této kapitole se je pokusím jednotlivě shrnout s ohledem na ovlivnění doby trvání reakčního času. Reakční čas může být ovlivněn v celé své časové prodlevě, a to od příjmu stimulu, který může mít rozdílné vlastnosti, dále během fáze následného výběru reakce, až po fázi konečné reakce na stimul. Stimul může být charakterizovaný svou podobou, intenzitou, typem anebo i například výskytem. Všechny tyto vlastnosti ovlivňují následnou dobu k zachycení a zpracování stimulu subjektem. Jedinec je schopen přijmout vizuální, zvukový, hmatový, čichový, bolestivý, studený nebo i hřejivý podnět. Za optimálních podmínek reaguje člověk nejrychleji na sluchový podnět, a to v hodnotě jednoduchého reakčního času do 0,2 s. Nejpomaleji reaguje na bolest, a to s hodnotou jednoduchého reakčního času okolo 0,7 s. Při větší intenzitě a lepší kvalitě stimulu například na vizuální podnět, který je jasně osvětlen a je větších rozměrů, dochází ke zkrácení reakčního času. [8] Studie s názvem *Evaluation of Simple Visual Reaction Time of Different Colored Light Stimuli in Visually Normal Students* se zabývala měřením reakčního času na vizuální stimuly odlišných barev. Bylo zjištěno, že testovaní jedinci nejrychleji reagovali na stimuly červené barvy a nejpomaleji na stimuly modré barvy. Průměrný rozdíl hodnot jednoduché reakce na obě barvy dosahoval 0,01651s [9].

Doba fáze obdržení stimulu může být také pozitivně ovlivněná tím, zda jedinec stimul očekává nebo zda je vysoce pravděpodobné, že daný podnět nastane. Při použití výstražného signálu před vysláním podnětu se může hodnota jednoduchého reakčního času snížit až o 40 %. Jedinec je schopný od sebe rozeznat dva stimuly, které obdrží v časovém intervalu větším než 0,1 s, a dále je potřeba alespoň časový rozdíl 0,5 s k tomu, aby na ně reagoval. Při fázi následného výběru reakce je jedinec časově ovlivněn získanou zkušeností, která snižuje reakční dobu. Dále je pro rychlejší reakční čas a menší míru chybovosti při výběru reakce důležité, aby jedinec nebyl přetížený narůstající mírou nově generovaných stimulů a aby si mohl zvolit vlastní tempo. Měření by nemělo trvat dlouhou dobu, aby byl jedinec schopný udržet pozornost. Mezi vnitřní vlivy ovlivňující reakční čas patří pohlaví a věk jedince. Reakční doba se v průběhu života mění a jedinec dosahuje nejnižších hodnot reakčního času okolo třicátého roku života. Muži dosahují lepších jednoduchých reakčních časů na vizuální a světelné podmínky v průběhu života, jak lze vyčíst z tabulky 1 [8].

Tabulka 1: Jednoduché reakční časy v závislosti na pohlaví, věku a druhu stimulu [8]

Věk	Muži		Ženy	
	Světelný stimul (s)	Sluchový stimul (s)	Světelný stimul (s)	Sluchový stimul (s)
20	0,24	0,23	0,32	0,31
30	0,22	0,19	0,26	0,20
40	0,26	0,24	0,34	0,30
50	0,27	0,25	0,36	0,30
60	0,38	0,37	0,44	0,42



Na základě studie *Reaction Time and Speed of Movement in Males and Females Various Ages*, kde bylo testováno 930 lidí různého věku od 6 do 84 let, bylo zjištěno, že délka reakčního času se nám v průběhu života postupně mění. Tato změna je podobná pro obě pohlaví. Nejlepšího nárůstu zrychlení reakcí bylo zaznamenáno u chlapců mezi 6 až 12 rokem. Dále se u obou pohlaví reakční čas zlepšoval a mezi 19. a 21. prvním rokem života dosáhl svých nejlepších hodnot., Poté reakční čas postupně klesal. Kolem 75. roku života jedinci dosahovali stejných hodnot reakčních časů [10]. Dalším vnitřním vlivem na hodnotu reakčního času může být tělesná hmotnost jedince. Osoby trpící nízkou tělesnou hmotností nebo nadváhou prokazatelně dosahují pomalejších reakcí oproti jedincům se zdravou váhou [11]. Mezi vnější vlivy lze zařadit únavu člověka. Nedostatek spánku prokazatelně negativně ovlivňuje naše vnímání, a to se může projevit opožděnou nebo chybnou reakcí na daný podnět. Studie vykonaná na armádních pilotech v simulovaném prostředí poukazuje na to, že při nedostatku spánku docházelo k zhoršenému zpracování vizuálních informací a k sníženému provoznímu výkonu. Toto bylo prokázáno od 19-té hodiny bdění a s postupem času rapidně klesalo vizuální vnímání a výkonnost pilotů [12].

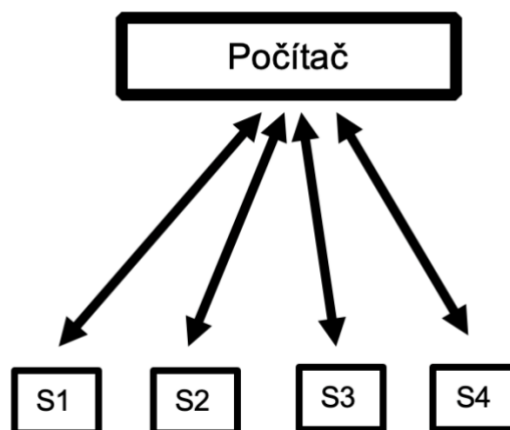
Dále má konzumace alkoholu vliv na snížení jednoduchých, rozpoznávacích a výběrových reakčních časů. Česká studie J. Strause *Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu* uvádí, že u testovaných osob, jež během testu byly pod vlivem alkoholu a odpovídaly na náhodný podnět vyžadující komplexní pohybovou odezvu, došlo k prodloužení reakčních časů kvadraticky vzhledem k množství alkoholu v krvi. Dále bylo zjištěno, že do hladiny alkoholu 0,3 promile nebyly reakční časy u osob ovlivněny. V zahraniční literatuře se uvádí hranice 0,5 promile v krvi, od které dochází k prokazatelnému zpomalení reakčních časů [13]. Jedinec má možnost docílit rychlejších reakcí za pomoci tréninku. Toho nejčastěji využívají sportovci. Výkon a úspěch sportovce je daný několika parametry ovlivňujícími reakční čas, které může během tréninku trénovat. Je to především síla, technika, taktika, odezva motorické soustavy a psychický aspekt. Dále lze trénovat opakování specifického stimulu, který je generován náhodně nebo očekávaně. Při opakování určitých stimulů dochází k automatizaci dané reakce a tělo potřebuje kratší čas k jejímu vykonání [14]. Zásadní vliv na prodloužení reakčního času má také vliv možného počtu odpovědí na stimul. Nejrychleji reaguje jedinec, když má možnost jen jedné odpovědi (v závislosti na úloze je hodnota okolo 0,20 s). Při úkonu se dvěma možnými odpověďmi se reakční doba prodlužuje (na 0,35 s) a u úlohy se třemi možnými odpověďmi je reakční čas dvojnásobný oproti úloze s jednou možnou reakcí. U úkonů se sedmi a více možnými odpověďmi dochází stále k postupnému zhoršení reakčních časů, ale rozdíl není velký [8]. Při obsluze dopravních prostředků nebo i při ovládání jakéhokoliv zařízení je potřeba při posuzování reakce brát v potaz latence způsobené daným zařízením. Při reakcích vyžadující přesnost pohybu jsou reakce přesnější na úkor pomalejších reakčních časů. Při vykonávání silové reakce je vyžadovaná delší reakční doba pro silnější odezvu. Mezi ostatní faktory lze také například zařadit stres, fyzickou zátěž, pracoviště, intenzitu a umístění osvětlení, ale i také oděv, který má testovaná osoba na sobě [1,8].

1.2 Zařízení

V dnešní době existuje poměrně málo zařízení, která dokážou změřit reakční čas. Na trhu existuje ještě méně zařízení, která jsou kompaktní a odolná jako zařízení pro měření reakčního času vzniklá v roce 2020 na ČVUT. V této kapitole bych rád popsal ostatní zařízení, která v dnešní době lze použít k měření reakčního času. Mnoho těchto zařízení vzniklo jako sportovní pomůcka k trénování a vyhodnocování reakcí a nabízí měření reakčních časů pro horní anebo dolní končetiny. Zařízení lze rovněž rozdělit podle typu zadávání stimulu, a to nejčastěji na vizuální nebo sluchové. V této kapitole se zaměřím na zařízení měřící výběrový reakční čas a pracující na principu zadání vizuálních stimulů, neboť takové zařízení je užito v praktické části, které v dané části bude podrobně popsáno.

1.2.1 Filtro Reaction

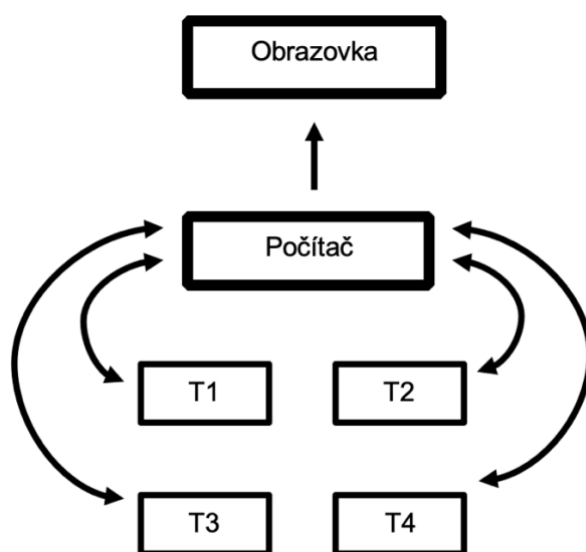
První zařízení, které bude představeno, je zařízení slovenské firmy FiTRONiC. Toto zařízení se používá k měření a trénování reakcí u sportovců, ale také u populace. Konkrétně měří reakční čas horních končetin a skládá se ze čtyř tlačítek, která jsou připojena k počítači. Součástí produktu je vlastní počítačový software, jenž umožňuje přizpůsobení měření a analytické vyhodnocení měření. V softwaru lze nastavit dobu měření a volbu mezi pevnými nebo náhodnými stimuly v určitém čase. Dle nastavení zařízení dokáže změřit dva druhy reakčních časů, a to jednoduchý reakční čas nebo výběrový reakční čas až u čtyř odlišných stimulů v milisekundách. Dále výrobce umožňuje měnit barvu pozadí na obrazovce nebo barvu a tvary na tlačítkách [15]. Měření probíhá tak, že se jedinec nachází v sedící poloze, před sebou má dotykové plochy připojené k počítači a reaguje na vizuální stimuly generované počítačem stisknutím jednoho ze čtyř tlačítek. Obrázek 7 znázorňuje princip fungování daného přístroje. Tlačítka zadávající stimul jsou na obrázku znázorněna písmenem S a následným číslem označující konkrétní tlačítko.



Obrázek 7: Schéma zařízení Filtro Reaction

1.2.2 Filtro Agility

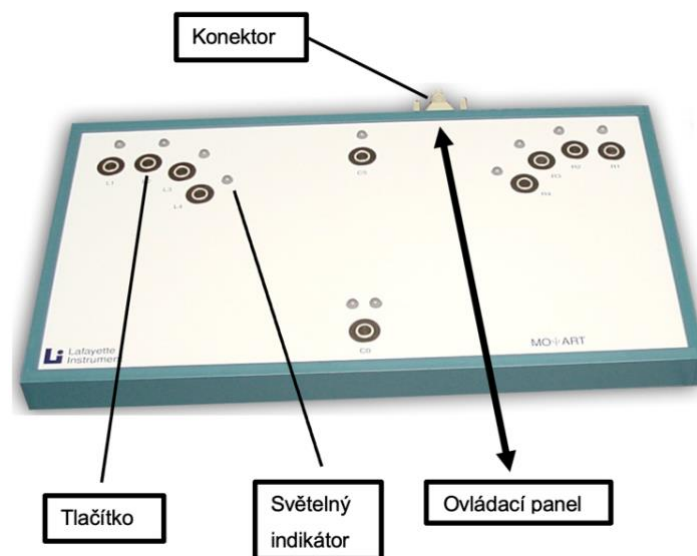
Toto zařízení také vyrábí firma FiTRONiC a je určeno k měření výběrového reakčního času dolních končetin u sportovců a současně i k trénování nebo rehabilitaci sportovců. Skládá se ze čtyř podložek umístěných na zemi. Podložky jsou vzájemně propojeny s počítačem, který obsahuje vlastní program. Při měření stojí nejčastěji testovaná osoba uprostřed čtyř na zemi rozložených podložek a sleduje obrazovku se stimuly. Pohybově na ně reaguje dotykem dolní končetiny na požadovanou podložku. Tyto stimuly jsou vizuálně zadávány počítačem a mohou být náhodné nebo předem v programu definované. Podložky jsou na obrázku označeny písmenem T a číslem určující podložku. Speciální program dále umožňuje nastavit barvu pozadí, barvu nebo tvar každého ze čtyř vizuálních stimulů a dobu testování nebo počet opakování každého stimulu. Toto zařízení také umožňuje libovolné rozmístění podložek k napodobení podmínek dotyků u různých sportů [16]. Na obrázku 8 je schéma zařízení.



Obrázek 8: Schéma zařízení Filtro Agility

1.2.3 MOART Reaction Time and Movement Panel

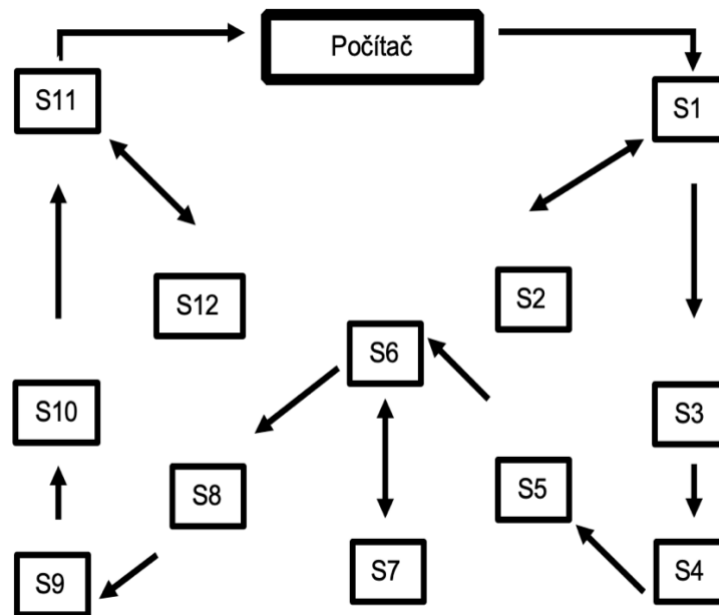
Americká společnost Lafayette Instruments vyrábí zařízení ke studii kognitivního zpracování. Mimo velkého množství ostatních funkcí je zařízení určeno k měření jednoduchého a výběrového reakčního času horních končetin. V základní verzi se zařízení skládá z jednoho panelu, na kterém jsou umístěna tlačítka. Na obrázku 9 můžeme vidět popis zařízení. Při měření testovaná osoba stiskne tlačítko na základě generovaného stimulu, který může být vizuální nebo zvukový. Na zadní straně zařízení je nainstalována široká škála konektorů k zapojení sluchátek, reproduktorů počítače anebo jiného příslušenství, jako je například nožní podložka k měření reakčního času dolních končetin. Dále je na zadní straně umístěný konektor, přes který se připojí hlavní ovládací panel zařízení. Zařízení se využívá při klinických měřeních, diagnostice nervových onemocnění nebo pro vědecké studie [17].



Obrázek 9: Popis zařízení MOART Reaction

1.2.4 Batak Professional

Společnost Quotronics Limited z Velké Británie vyrábí zařízení Batak Professional na trénování koordinace, reakcí a výdrže. Své uplatnění najde také v medicíně a při rehabilitacích. Toto zařízení se odlišuje tím, že na rozdíl od ostatních zařízení neměří reakční čas v milisekundách, ale stanovení výsledku je dáno počtem správných reakcí na světelný podnět během určité doby (nejčastěji 60 sekund). Podle toho se dá dopočítat průměrný čas jedné reakce. Na kovové konstrukci je umístěno 12 tlačítek, které se náhodně rozsvěcí. Testovaná osoba stojí před zařízením a při rozsvícení tlačítka jej stlačí horní končetinou. Schéma zařízení je na obrázku 10. Tlačítka zadávající stimulus jsou označena na obrázku písmenem S a číslicí charakterizující tlačítko. Při stlačení tlačítka dochází hned k rozsvícení jiného a osoba na něj má reagovat pohybem končetiny. Na konci testovacího cyklu se osoba dozví výsledek z displeje umístěného na horním rámu. Mimo testovací program zařízení obsahuje dalších 31 programů určených k trénování paměti, reakcí a výdrže [18].



Obrázek 10: Schéma zařízení Batak Professional

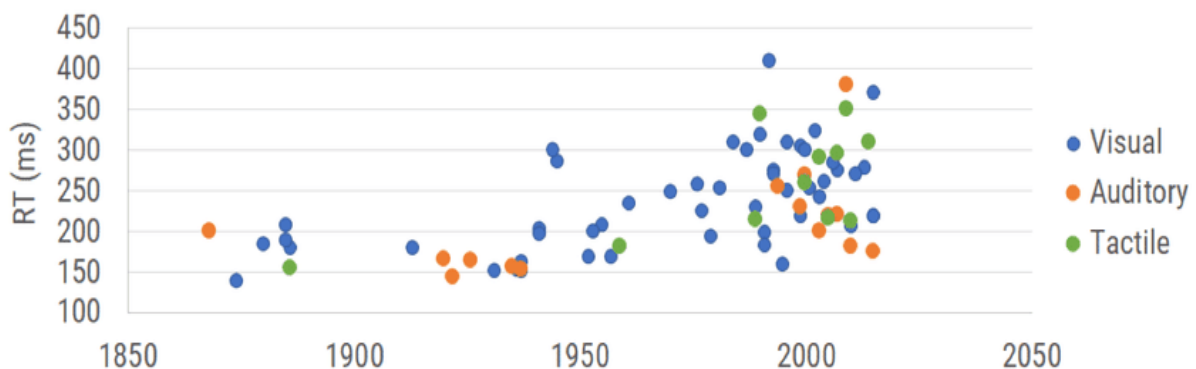
1.3 Analýza výzkumů

Jak již bylo zmíněno výše, je každé zařízení na měření reakčního času svým způsobem jedinečné, což je dáno stavbou těchto zařízení. V této kapitole budou představeny analýzy, jež zkoumaly rozdíly v naměřených hodnotách reakčního času v různých výzkumech za užití odlišných zařízení od 19. století až do dnešní doby. Dále se tato podkapitola zabývá vlivem profese na reakční čas.

1.3.1 Vlivy působící na měření času v průběhu doby

Jednotlivá zařízení na měření reakčního času se odlišují rozdílnou konstrukcí, která je přizpůsobena tomu, aby testovaný jedinec po obdržení stimulu reagoval například stisknutím tlačítka. Stimul se může aktivovat například rozsvícením žárovky a zařízení v daný okamžik začne měřit čas dané reakce. Stisknutím tlačítka zařízení reakci zaznamená a přestane měřit čas reakce. Spousta zařízení je přizpůsobena, aby měřila reakční čas u specifické činnosti, jako může být například druh sportu. Tímto je zařízení zkonstruováno pro pohyb charakterizující určitý sport. Pohyb lze vykonat jednou končetinou, ale u komplexních zařízení musí jedinec vykonat pohyb celým tělem. Rozdílné rozpoložení senzorů, jednodušeji tlačítek, má za následek rozdílnou hodnotu reakčního času změřeného na různých zařízeních, protože jedinec vykonává odlišnou dráhu pohybu k stisknutí tlačítka. Zařízení také zahajují reakci odlišným stimulem o odlišné intenzitě, který je cílený na konkrétní sensorický orgán. I toto má za následek rozdílné naměřené hodnoty reakčních časů u jednotlivých zařízeních [19]. U jednotlivých zařízení je k zaznamenání reakce potřeba použít odlišnou sílu například při stisknutí tlačítka. Z kapitoly 1.1.3 Faktory ovlivňující reakční čas víme, že použití odlišné síly při reakci má vliv na reakční dobu [8]. Latence způsobené měřicím zařízením mohou být jak hardwarové, tak softwarové. Autor studie s názvem *Accuracy of different modalities of reaction time testing: Implications for online cognitive assessment tools* poukazuje na to, že v

současnosti jsou naměřené hodnoty reakčních časů pomalejší než časy měřené v historii. Pod textem můžete vidět obrázek 11 znázorňující graf s rozdílnými hodnotami reakčních časů na rozdílné stimuly, reakční časy pocházejí z měření provedených v průběhu posledních 150 let. Dále si můžeme všimnout, že novější hodnoty jsou variabilnější a tím pádem i méně přesné. Autor uvádí, že za zhoršení reakčních časů nemůže pravděpodobně vývoj populace, ale rozdílné metody při testování reakčních časů, při kterých jsou využity běžné technologie. Předpoklad, že lze dosáhnout přesnějších výsledků za použití moderní technologie, je mylný, pokud při měření byl použit běžný počítač. Běžné počítače jsou řízeny odlišnými operačními systémy a používají neoptimalizované programy pro měření reakčního času pro daný počítač. Měření reakčního času je podmíněno přesností časování procesoru, které může být ovlivněno spuštěnými programy na pozadí nebo samotným výkonem procesoru. Taková latence může dosahovat až hodnoty 100ms a nelze ji určit dopředu, protože je proměnlivá. Také ostatní hardware, jako je například monitor, dotykové obrazovky nebo příslušenství připojené k počítači pomocí USB nebo bezdrátově, ovlivňují měření latencí. Proto je doporučeno provádět měření reakčního času na laboratorních zařízeních navržených k tomuto účelu, kde se latence zařízení průběžně nemění a lze ji stanovit dopředu [20].



Obrázek 11: Výsledky naměřených hodnot reakčních časů vyskytující se v literatuře za dobu 150 let [20]

Na tuto problematiku má jiný pohled studie s názvem *Simple reaction time: It is not what it used to be*, která porovnává hodnoty jednoduchého reakčního času změřené Galtonem s ostatními časy publikovanými dalšími vědci v pěti studiích z přelomu 20. a 21. století. Sir Galton založil v Londýně v 19. století Antropological laboratory, kde měřil reakční čas 17 000 subjektů na různorodém vzorku. Galton zemřel předtím, než zveřejnil údaje o tom, jakým způsobem postupoval při měření reakčního času a jak následně data vyhodnotil. Není rovněž jasné, zda testovaní jedinci absolvovali cvičné měření a zda bylo užito varovného signálu před příchodem stimulu. Tyto dva zmíněné faktory ovlivňují reakční dobu a byly-li užity, zkrátily a tím zkreslily naměřenou jednoduchou reakční dobu. Při porovnání výsledků oněch pěti studií s Galtonovými bylo zjištěno, že došlo v průběhu posledních cca 150 let ke zkrácení jednoduchého reakčního času. Vědci všeobecně předpokládají, že Galton naměřil nezkrácený reakční čas (bez cvičného měření a varovného signálu). Přesnost jeho dat dokazují signifikantní korelace v rámci jeho studie oproti těm pozdějším. Po analýze výsledků výše zmíněných studií vědci došli k závěru, proč se jednoduchá reakční doba na vizuální podněty v průběhu času prodloužila. Uvádějí čtyři možné důvody. Prvním možným důvodem je vyšší vzrůst novodobé



populace oproti dobám předešlým, neboť nervové impulzy musí cestovat po delších drahách. Tento fakt je v rozporu s Galtonovými naměřenými výsledky, které dokazují, že vyšší jedinci a jedinci s větším rozpětím paží dosahují rychlejších reakčních časů. Jiné novodobé studie rovněž uvádějí, že reakční čas nesouvisí s výškou jedince. Jako druhý možný důvod je zmiňován sedavý životní styl dnešní populace oproti populaci dřívějších dob. Jedinci, jež jsou aktivnější, dosahují kratších reakčních časů, ti se sedavým životním stylem poté delších. Ovšem existují i studie, které tento důvod vyvracejí, a tak zůstává tento aspekt rovněž sporný. Třetí důvod se zakládá na znečištění prostředí, ve kterém se jedinci nacházejí. Jsou-li např. jedinci vystaveni vyšším hodnotám neurotoxinů ve svém okolí, např. vyššímu množství olova, může docházet k vyšším hodnotám reakční doby. U vystavení se malým dávkám neurotoxinů není prokázáno zhoršení reakčních časů. Ovšem ke zhoršení může dojít při pravidelném vystavení se malým dávkám neurotoxinů. Těžko lze ovšem stanovit časovou predikci, jak nás neurotoxiny kolem nás v horizontu času ovlivňují. V dnešní době se v řadě zemí změnila obchodní politika s výrobky obsahujícími neurotoxiny. Mělo by tedy dojít k nižšímu kontaktu neurotoxinů s lidmi. Otázkou zůstává, zda bude reakční čas ovlivněn v průběhu následujících let. Vzhledem ke zlepšení lékařské péče v západním světě v daném období se považuje za čtvrtý důvod přežití jedinců, kteří dříve po porodu umírali. Tito jedinci poté mají křehčí zdraví v průběhu života, což ovlivňuje jejich tělesné schopnosti. Zároveň je dnešní medicína schopná zajistit poměrně kvalitní život lidem s nemocemi, na které se dříve umíralo. Tito jedinci také vykazují zhoršený zdravotní stav. V dospělé populaci se tedy vyskytuje více slabších jedinců než v předešlých desetiletích [21].

V praktické části této bakalářské práce budou vyhodnocovány dva výše zmíněné důvody, a to výška a sedavé zaměstnání či nesesavé u měřených jedinců. Tudíž bude možné výsledky porovnat i s těmito závěry.

1.3.2 Vliv reakčního času jedince na výkon profese

Výkon profese často vyžaduje specifické dovednosti a vlastnosti, jako může být například dovednost kritického myšlení nebo dovednost efektivně zpracovat informaci a rychle na ni reagovat. Při některých profesích, např. letový dispečer nebo pilot, hraje reakční čas důležitou roli, neboť může docházet v případě selhání ke ztrátám na životě či na majetku. Obě tyto profese mají často navíc omezený čas pro vykonání rozhodnutí. Proto je důležité zabývat se reakčním časem při výběrů kandidátů u psychicky náročných zaměstnání a v průběhu kariéry je také pravidelně testovat. To zajistí, aby byly neustále zlepšovány pracovní podmínky pro výkon povolání a zvýšila se bezpečnost [2]. Publikovaná studie “Rate of information processing and reaction time of aircraft pilots and non-pilots” se zabývá myšlenkou, zda piloti jsou schopni rychleji a lépe zpracovat podněty oproti jedincům reprezentujícím zbytek populace. Celkem měření podstoupilo přes 50 pilotů, kteří se od sebe lišili věkem, dobou výkonu povolání, počtem nalétaných hodin a létaným typem letadla. Ve studii bylo potvrzeno, že reakční čas je ovlivněn věkem jedince a jeho hodnoty se mění v průběhu života. Starší subjekty také udělaly více chyb při rozhodování. Piloti celkem dosahovali pomalejších rozhodovacích časů, ale zato udělali méně chyb při rozhodování a také měli rychlejší odezvy na daný podnět než zbytek testované populace. Za tento výsledek pravděpodobně může samotný výcvik pilotů, který piloty učí, aby napřed správně vyhodnotili podnět a poté rychle reagovali. Neprokázano se, že typ letounu, na kterém pilot létá, má vliv na reakci jedince [22]. Ve své praktické části se budu snažit tato tvrzení na naměřeném vzorku populace ověřit a dále bych chtěl zjistit, zda profesionální řidiči se budou v naměřených hodnotách reakčního času odlišovat od zbytku měřené populace. Neboť při řízení vozidla dochází k souhrnným mentálním procesům, během kterých musí jedinec



vyhodnotit množství podnětů, často v omezeném čase a vykonat reakci. Hodnoty reakčních časů dosahují při řízení vozidla hodnot od 0,2 s až po 1,5 s. Mimo ostatní faktory, jako je například rychlost vozidla, dopravní situace a únava nebo věk řidiče, je důležitým faktorem jejich zkušenost. Zkušený řidič dosahuje lepších reakčních časů při řízení, ale vždy záleží na dopravní situaci, ve které se ocitne [23].

1.4 Limitace současného stavu

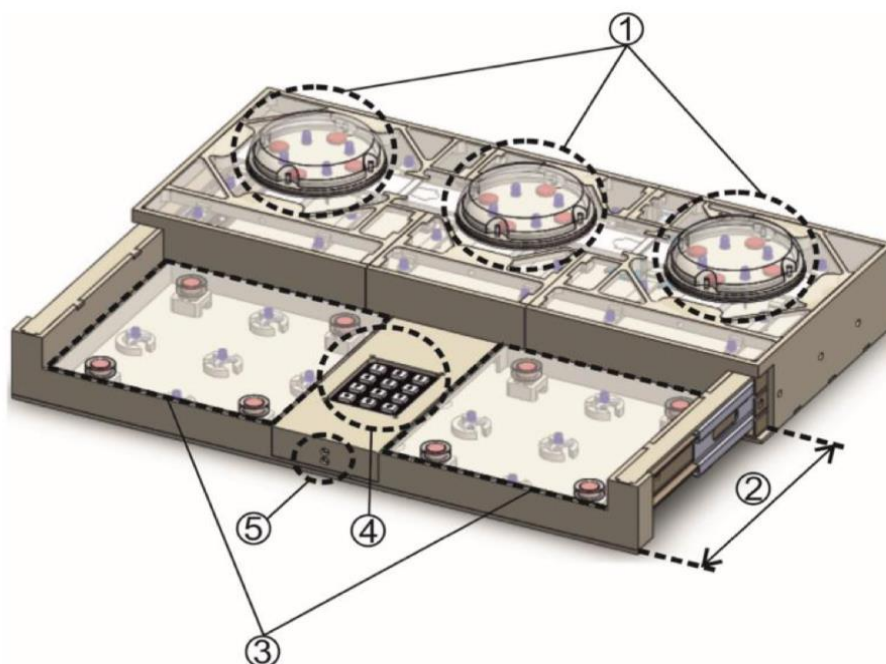
Výzkum reakčního času je v dnešní době stále zkoumaná disciplína, neboť reakční čas definuje dobu, za kterou je jedinec schopný reagovat na podnět. Reakční čas je měřený na lidech, kteří jsou svou stavbou těla a lidskými vlastnostmi rozdílní, a také každé zařízení na měření reakčního času je svými vlastnostmi a funkcemi unikátní. Proto dochází k naměření odlišných hodnot u různých jedinců. Při rešerši jsem zjistil, že většina postupů, jak měřit reakční čas, není přesně definovaná a také, že reakční čas může být ovlivněn velkým množstvím faktorů. Experimentální zařízení na měření reakčního času, které představím v praktické části, vzniklo za účelem testovat kandidáty o výkon profese v psychicky náročném prostředí, jako mají například piloti nebo řidiči letového provozu. Před používáním zařízení je nutné vykonat sběr dat reakčního času na reprezentativním vzorku subjektů charakterizujícím populaci, aby při následném používání zařízení bylo možné naměřené hodnoty navzájem porovnávat.



2. Metody

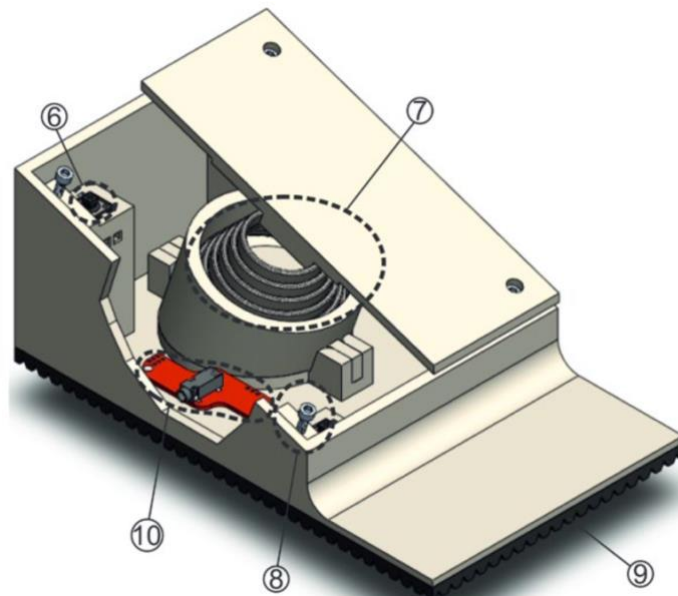
2.1 Popis použitého zařízení v praktické části

V této kapitole představím zařízení pro měření reakčního času, které bylo navrženo v Laboratoři lidského faktoru a automatizace v letectví Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Níže uvedený popis zařízení vychází z bakalářské práce Bc. Jakuba Šimerky a z odborné publikace *New Trends in Civil Aviation: Reaction time measurement device for flight crew testing*. Zařízení na měření reakčního času se skládá z části hardwarové, která obsahuje komponenty sloužící k projekci vjemu a k detekci reakce na daný podnět u horních a dolních končetin. A také z části softwarové, která umožňuje proces měření, zaznamenávání hodnot a vytvoření souboru s naměřenými daty k následnému zpracování. Hardwarová část pro měření horních končetin je znázorněna na obrázku 12. Ve své horní části má tři tlačítka (1), vyrobená z průhledného materiálu, která slouží k projekci stimulu a zaznamenání reakce horních končetin. Uvnitř tlačítka je zabudovaná RGB dioda, která příslušnou barvou zadává stimul. Dále jsou uvnitř každého tlačítka umístěny čtyři mikrosvíčky, které jsou zapojeny do série. Toto sofistikované zapojení mikrosvíček eliminuje chyby tím, že zařízení je schopno pracovat i při poruše mikrosvíčky. Zařízení má také ve své horní části numerickou klávesnici (4), která se při měření nevyužívala, neboť k uložení a pojmenování naměřených dat docházelo na připojeném počítači. Ve své dolní výsuvné části obsahuje zařízení dvě referenční plochy (3), které slouží ke stanovení výchozí polohy a snímání polohy horních končetin v průběhu měřicího cyklu. Pro pravou ruku je určena pravá referenční plocha a pro levou ruku levá referenční plocha. Referenční plocha obsahuje panel umístěný na čtyřech sériově zapojených mikrosvíčkách, které také umožňují provoz při poruše jednoho mikrosvíčky. Již při návrhu zařízení byl kladen důraz na jeho odolnost a kompaktnost. Veškerá tlačítka a povrchy jsou vyrobeny na 3D tiskárně z odolného PLA plastu, který je snadno opravitelný, dobře omyvatelný a ekologický. Vysouvací konstrukce je zajištěna za pomoci dvou posuvných lišt (2) a šetří nezanedbatelnou část místa při transportu a skladování. V návrhu je také ve výsuvné části navržen konektor (5) s 3,5 mm vstupem pro možné měření myoelektrického potenciálu. Tento konektor se na realizovaném zařízení nenachází. Další výhodou konstrukce zařízení je, že umožňuje subjektu přímý pohyb horní končetiny všemi směry k danému tlačítku. Všechny mikrosvíčky jsou zapojeny v uzavřeném obvodu, ve kterém je přivedeno ze zdroje napětí 5V, obvod končí na desce Audrio s mikroprocesorem Audrio Mega. Při stisknutí tlačítka mikrosvíčky dochází k uzemnění napětí a hodnota napětí klesne blízko k 0 V. Arduino deska rozpozná prudkou změnu napětí v čase a výsledek zapíše. Jelikož je obvod mezi mikrosvíčkami pod stálým napětím, zařízení při špatném zapojení nebo poruše spojů neměří a tím pádem nedochází k měření chybných hodnot.



Obrázek 12: Hardwarová část pro měření reakčních časů horních končetin [2]

Pomocí odpojitelného konektoru se dá k hardwarové části pro měření horních končetin připojit zařízení k zaznamenání reakčního času dolních končetin. Zařízení je znázorněno na obrázku 13. Tělo zařízení tvoří dva pedály, které jsou k sobě s odstupem spojeny. Pedály jsou pod sklonem 20° vůči horizontální rovině namontované na ochrannou schránku, jež tvoří podstavu pedálu. Sklon 20° a mezera mezi pedály zajišťují přirozené položení chodidel. Na dotykové ploše pedálu je vrstva vroubkovaného plastu, která slouží jako protiskluzová vrstva a zajišťuje lepší přilnutí k podrážce boty. Uprostřed ochranné schránky je umístěna pružina (7), která zamezuje samovolnému stisknutí mikrosypínačů a dále vrací pedál po stisknutí zpět. Dále jsou po stranách v rozích umístěny mikrosypínače (6), které zaznamenávají stlačení pedálu. K zaznamenání reakce je potřeba, aby daný jedinec stlačil pedál o $2,5^\circ$ vůči horizontální ose. Zařízení pro měření dolních končetin bylo navrhováno pro měření široké škály populace, proto by stlačení pedálu nemělo dělat problém dětem nebo starším jedincům, kteří nejsou schopni vyvinout stejnou sílu při stlačení jako dospělí. Na zařízení lze také do jisté míry seřídit odpor pedálu při zatlačení pomocí dvou šroubů umístěných na zadní straně každého pedálu. Tyto šrouby posouvají pružinu směrem k pedálu nebo od pedálu a v reakci na to je pro sešlápnutí pedálu nutné vyvinout větší nebo menší sílu. Šrouby umístěné na vrchní části pedálu (8) spojují dotykovou plochu pedálu se zbytkem konstrukce a zajišťují rozestup dotykové plochy. Jako ochrana proti silnějšímu stisknutí pedálu jsou v ochranné schránce zabudované bloky, které zamezují poškození mikrosypínačů. Ve spodní části návrhu je umístěný komponent k měření myoelektrického potenciálu (10), realizované zařízení tuto funkci neobsahuje. Při realizaci zařízení se také odstoupilo od gumové vrstvy (9) zamezující třením mezi zařízením a podkladem. Při měřeních se zařízení připevňovalo k podkladu pomocí lepicí pásky. Hardwarová část pro měření dolních končetin byla také vytisknuta z odolného PLA plastu.



Obrázek 13: Hardwarová část pro měření reakčních časů dolních končetin [2]

Tato konstrukce zařízení umožňuje měřit celkem tři hodnoty reakčního času. První typ měřeného času se nazývá rozhodovací reakční čas a je definovaný dobou od rozsvícení vizuálního stimulu po začátek motorické odezvy zvednutím ruky z referenční plochy zařízení pro měření reakčního času horních končetin. Měřený subjekt musí od rozsvícení stimulu vyhodnotit, jakou končetinou bude reagovat na stimul, a zahájit danou pohybovou odpověď. Druhý typ měřeného času je výběrový reakční čas horních končetin. Reakční čas horních končetin obsahuje časovou hodnotu rozhodovacího reakčního času a ještě časovou hodnotu motorického pohybu pro stisknutí tlačítka. Třetí reakční čas je reakční čas dolních končetin. Od rozsvícení vizuálního stimulu musí subjekt určit, zda bude reagovat pravou nebo levou dolní končetinou, zahájit motorickou reakci a vykonat stlačení pedálu [2,24].

2.2 Princip měření

S ohledem na teoretickou část bakalářské práce byly brány při měření ohledy na možné faktory ovlivňující reakční čas. Možné faktory a jejich následná opatření, dále popis celého měření popíšu v této podkapitole. Před každou sérií měření bylo důležité zajistit, aby podmínky během měření byly pro každý subjekt srovnatelné. V potaz byla brána denní doba, ve které se měřilo, a proto bylo stanoveno časové rozpětí pro měření od 9:30-18:00, aby se alespoň částečně zamezilo unavenosti subjektů. Dále byl brán ohled na osvětlení místnosti, ve které probíhalo měření, a to tím způsobem, že zařízení bylo umístěno v blízkosti okna tak, aby subjekt nebyl oslněn slunečními paprsky a na zařízení nebo na subjekt nebyly vrhány stíny. Světla v místnosti byla postupně zapnutá v závislosti na denní době nebo při nedostatečném osvětlení. Další z podmínek, která se hlídala, byl hluk. Během měření byl kladen důraz na ticho, a proto měření převážně probíhala v separátní místnosti od ostatních účastníků tak, aby během měření nebyl subjekt vyrušován. Teplotu a kvalitu vzduchu na místech měření nebylo možné ovlivnit, ale i přesto měření vždy probíhala v přijatelných podmínkách a převážně s částečně otevřeným oknem kvůli větrání. V prvotní části měření byl účastníkovi předán písemný “Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů”, který si subjekt dobrovolně

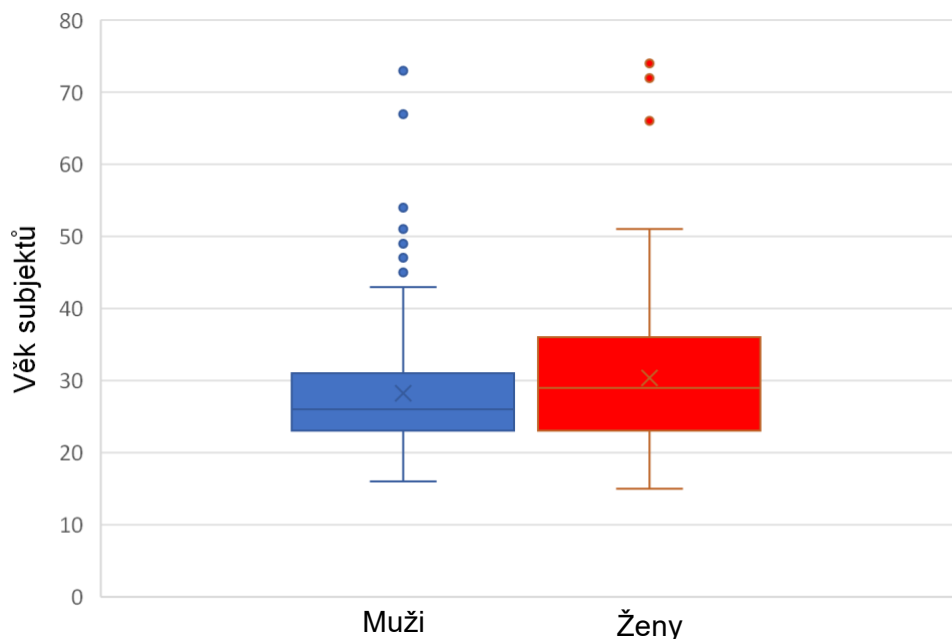


přečetl, doplnil a podepsal. Bez splnění této části nemohl účastník ve výzkumu dále pokračovat. V první části souhlasu “Informace o výzkumu” byl účastník seznámen s výzkumem, popisem zařízení a popisem měřicího cyklu. V druhé části souhlasu “Informace o účastníkovi” účastník doplňoval své jméno a příjmení, rok narození, povolání, výšku, zakroužkoval váhovou kategorii, do které patřil, a dominantní horní končetinu. Poslední třetí část “Prohlášení” účastník po přečtení stvrzoval podpisem. Zvolení správného posedu je důležitým faktorem při měření reakcí. Měření probíhala na široké škále židlí, ale vždy se jednalo o židli s pevnou konstrukcí a se zadní bederní opěrkou. Před měřením byl účastník dotázán, zda je pohodlně usazen a zda je schopen bez obtíží reagovat na světelné signály svými končetinami. Účastníci s volnou nebo nevhodnou obuví pro měření byli požádáni o sundání obuvi z důvodů lepšího kontaktu chodidla s pedálem. Každá osoba měla omezený čas 30 sekund na vyzkoušení měření. Po této době bylo spuštěno 5minutové měření. Během 5minutového měření subjekt pohybově odpovídal na reakční povely. Povely jsou náhodně generované samotným zařízením ve formě vizuálních signálů prostřednictvím barevného rozsvícení jednoho ze tří průsvitných tlačítek na části pro měření reakčního času horních končetin. Testovaná osoba začíná měření s rukama položenými na referenčních plochách určených pro zajištění konstantní vzdálenosti horních končetin od samotných tlačítek a nohama položenými na pedálech v tzv. neutrální poloze.

Na základě rozsvícení červeného tlačítka na pravé straně testovaná osoba zmáčkne pravou rukou rozsvícené tlačítko a poté ruku vrátí zpět do neutrální polohy. Toto platí také návazně pro levé tlačítko, které se mačká levou rukou. Při rozsvícení prostředního tlačítka červenou barvou může testovaná osoba tlačítko zmáčknout libovolnou rukou. Rozsvítí-li se pravé tlačítko modrou barvou, je testovaná osoba vyzvána, aby stiskla pravý pedál pravou nohou a obdobně, rozsvítí-li se levé tlačítko modrou barvou, je testovaná osoba vyzvána, aby stiskla levý pedál levou nohou.

2.3 Demografie subjektů

Sběr dat probíhal na území České republiky, převážně na území Prahy a Středočeského kraje. Měření se účastnili občané České a Slovenské republiky hovořící českým jazykem. Během časové doby 10 měsíců bylo změřeno 555 subjektů. Kvůli 6 chybným a 17 nedokončeným měřením bylo následně vyhodnoceno 532 měření od 532 odlišných subjektů. Tento reprezentativní vzorek subjektů byl zastoupen 312 osobami mužského pohlaví a 203 osobami ženského pohlaví. Procentuálně se měření účastnilo 60,58 % mužů a 39,42 % žen. Možnost zúčastnit se testování měli osoby starší 15-ti let a mladší 75-ti let. Na obrázku 14 můžeme vidět krabicový diagram znázorňující věkové zastoupení měřených subjektů podle pohlaví. Modrou barvu má krabicový diagram zastupující mužskou část, červená barva zastupuje ženskou část. Z graficky znázorněných údajů můžeme vyčíst, že nejmladší muž měl 16 let a u žen měl nejmladší testovaný jedinec 15 let. Dolní hrana krabice odpovídá dolnímu kvartilu (Q1), který má u mužů a u žen stejnou hodnotu 23 let. Horní kvartil (Q3) má u mužů hodnotu 31 let a u žen 36 let. Hodnota mediánu pro muže je 26 let a u žen 29 let. Věkový aritmetický průměr je znázorněn křížkem na obou diagramech, u mužů má hodnotu 28,21 let a u žen 30,36 let. Ze získaných údajů lze stanovit, že měřená mužská populace byla mladší oproti ženské. Červené kulaté body u žen a modré u mužů jsou tzv. odlehle body, které nabývají u žen hodnot 66, 72, 74 a u mužů 45, 47, 49, 51, 54, 67, 73. Nejstarší mužský subjekt měl 73 let a nejstarší ženský subjekt 74 let. Z celkového počtu subjektů mělo dominantní levou horní končetinu 22 mužů a 20 žen, to je 8,15 % zastoupení. V populaci je zhruba 10% zastoupení lidí s levou horní dominantní končetinou.



Obrázek 14: Krabicový diagram věkového zastoupení subjektů podle pohlaví

Jak již bylo zmíněno, každý účastník výzkumu musel vyplnit informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů. Tento dokument obsahoval vybrané demografické údaje o povolání, výšce a váhové kategorii testovaného subjektu. Kvůli efektivnější práci s daty byly informace o povolání a váhové kategorii zveřejněny do jednotlivých kategoriích, které se později budou zohledňovat při vyhodnocení reakčních časů. Další demografický údaj je hmotnost jedince. U daného údaje mohl subjekt také vybírat ze čtyř kategorií. Do kategorie první patřil jedinec s váhou od 40-55 kg, do kategorie druhé s váhou od 55-70 kg, do kategorie třetí s váhou 70-90 kg a do poslední čtvrté kategorie s větší než 90 kg. Nejvíce subjektů se zařadilo do váhové kategorie třetí, tj. 70-90 kg. Vyhodnocení reakčního času podle hmotnosti jedince není používanou metodou, neboť vyšší váha může souviset s výškou jedince. Používanou metodou je porovnávání reakčních časů od jednotlivých subjektů na základě tělesné hmotnosti, která přímo souvisí s výškou jedince. I tato metoda je pro naše měření nepřesná, neboť tělesná hmotnost se musí interpretovat v závislosti na věku a pohlaví a nezahrnuje v sobě údaje o stavbě těla jedince, jako je například množství svalů [25].

V následném měření budou hodnoty reakčních časů porovnávat na základě hmotnosti jedince, bez ohledu na jeho výšku a pohlaví. Poslední demografický údaj je výška subjektu, ve které jedince vyplňoval svou přesnou výšku v cm. Při vyhodnocování reakčních časů byla výška následně přiřazena do odpovídajícího intervalu. Výškové intervaly budou zmíněny v příští kapitole 3. Vyhodnocení naměřených dat.



3. Vyhodnocení naměřených dat

Cílem této kapitoly je vyhodnotit naměřená data. V první řadě bylo potřeba sesbíraná data připravit k vyhodnocení. Hned poté byla data vyhodnocena pomocí programu Matlab (verze r2019a) a na konci jsem data porovnal pomocí popisné statistiky. Na začátku uvedu definice matematických operací, které se vyskytují v této kapitole.

3.1 Seznam matematických pojmů a operací

Náhodná veličina X je libovolná opakovatelně měřitelná veličina, jejíž hodnoty můžeme podrobit statistickým metodám. Lze ji definovat jako zobrazení z množiny výsledků náhodného pokusu Ω do množiny reálných čísel.

$$X: \Omega \rightarrow R \text{ pro } \{e \in \Omega \mid X(e) \leq x\} \in A, \forall x \in R. \quad (2)$$

K popisu náhodné veličiny používáme distribuční funkci (Fx) a hustotu pravděpodobnosti. Distribuční funkci (Fx) pro kterou platí, že reálný argument x pro náhodnou veličinu X je definovaná vztahem $Fx(x) = P(X \leq x)$.

A také platí:

- je neklesající v celém oboru
- limita vlevo je nula, $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$
- limita vpravo je jedna, $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$

Dále je potřeba definovat pro spojitou náhodnou veličinu X hustotu pravděpodobnosti fx jako reálnou funkci reálného argumentu vztahem

$$fx(x) = \frac{dFx(x)}{dx} \text{ nebo } Fx(x) = \int_{-\infty}^x fx(t) dt \quad (3)$$

za předpokladu, že nevlastní Riemannův integrál vpravo absolutně konverguje. Jinak řekneme, že $E(X)$ neexistuje. Střední hodnota udává hladinu, na které se realizace náhodné veličiny pohybují.

Nechť X je nezáporná spojitá náhodná veličina mající konečnou střední hodnotu. Potom číslo

$$D(X) = E(X - E(X))^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(X))^2 f(x) dx \quad (4)$$

se nazývá rozptylem náhodné veličiny X . Rozptyl určuje variabilitu náhodné veličiny. Odmocnina z rozptylu se nazývá směrodatná odchylka náhodné veličiny X .

$$\sigma = \sqrt{D(X)}. \quad (5)$$

Výše zmíněné matematické definice byly převzaty ze skript Statistika, vydané ČVUT FD [26].



Při vyhodnocování dat jsem narazil celkem na 6 pravděpodobnostních rozdělení, která nyní popíšu. Všechna tato rozdělení mají společné, že patří do pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny a byla to 2-parametrická a 3-parametrická rozdělení. Tyto parametry popisují polohu a tvar křivky. První rozdělení, které zmíním, je normální rozdělení, často označované jako Gaussovo rozdělení. Toto rozdělení má celkem dva kladné parametry μ, σ . Parametr μ je střední hodnota a parametr σ je směrodatná odchylka. Při zvětšení parametru σ roste rozptyl hodnot, křivka se rozšiřuje a klesá její funkční hodnota v maximu [27].

Funkce hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení má tvar:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

Dalším rozdělením je Inverzní Gaussovo rozdělení (Inverse Gaussian) [28]. Vyznačuje se tím, že nosičem funkce hustoty jsou kladná reálná čísla. Toto rozdělení má dva kladné reálné parametry μ a λ . Parametr μ je střední hodnota a λ je parametr tvaru. Rostoucí parametr λ přibližuje rozdělení k normálnímu. Funkce hustoty pravděpodobnosti má tvar:

$$f(x) = \left[\frac{\lambda}{2\pi x^3}\right]^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}\right\} \quad (7)$$

Střední hodnota rozdělení se zapisuje ve tvaru:

$$E(X) = \mu \quad (8)$$

a směrodatná odchylka má tvar:

$$\sigma = \sqrt{s \frac{\mu^3}{\lambda}}. \quad (9)$$

Logaritmicke normální rozdělení (Lognormal) [29] je dvojparametrické rozdělení. Parametr μ je střední hodnota a parametr σ je směrodatná odchylka. Toto rozdělení je zešikmené doleva, proto je tzv. asymetrické. Funkce hustoty pravděpodobnosti má tvar:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} \text{ pro } x \in (0, \infty). \quad (10)$$

Rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value) [30] má tři parametry μ, σ, k . Parametr μ je střední hodnota. Parametr σ značí směrodatnou odchylku a poslední parametr tvaru k ; $k \neq 0$. Její funkce hustoty pravděpodobnosti má tvar:

$$\left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp - \left(\left(1 + k \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{k}} \right) \right) \left(1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-\frac{1}{k}}. \quad (11)$$

Rozdělení Gama [31] je definováno pomocí dvou kladných parametrů λ, k . Tvar (shape) je definovaný pomocí parametru λ . Parametr σ je směrodatná odchylka. Funkce hustoty pravděpodobnosti má tvar:

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^{\infty} x^{\lambda-1} e^{-x} dx. \quad (12)$$

Posledním rozdělením, které zmíním, je rozdělení Birnbaum Saunders [32]. Je popisováno pomocí dvou kladných parametrů. Parametr β je (scale) a γ je parametr tvaru (shape). Funkce hustoty pravděpodobnosti má tvar:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\sqrt{x/\beta} - \sqrt{\beta/x} \right)^2}{2\gamma^2} \right\} \left(\frac{\left(\sqrt{x/\beta} - \sqrt{\beta/x} \right)}{2\gamma x} \right) \quad (13)$$

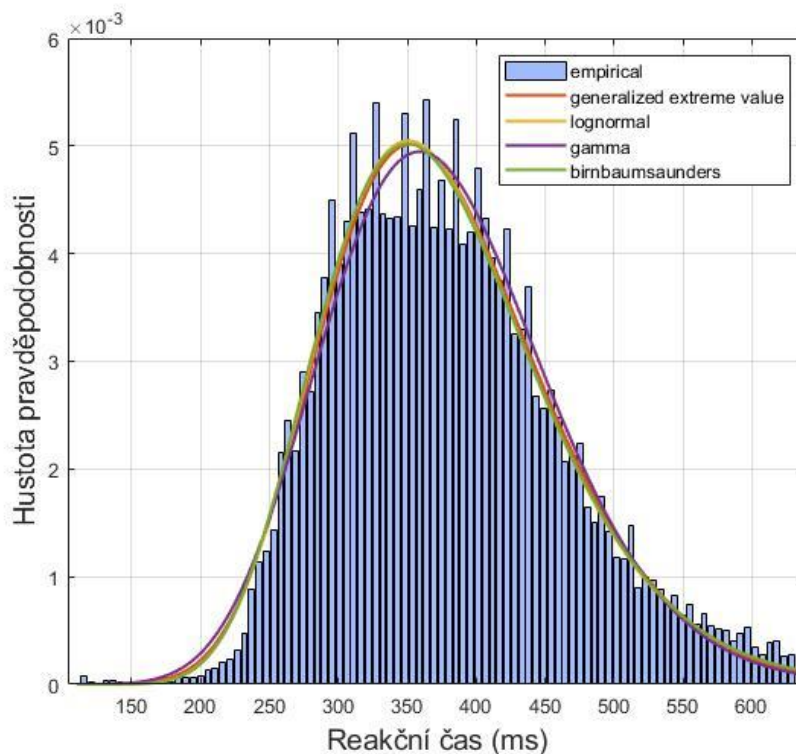
3.2 Příprava dat před vyhodnocením

Na konci každého jednotlivého měření se naměřená data ukládala do samostatného Excel souboru. Po ukončení všech měření bylo důležité data rozřídít podle naměřených hodnot do jednotlivých sloupců a všechna měření vložit do jednoho datového souboru. V dalším kroku jsem přiřadil demografické údaje k jednotlivým měřením. Výstupem této fáze se stal soubor Příloha 1, na základě kterého probíhalo následné vyhodnocení dat.

3.3 Vyhodnocení dat v Programu Matlab

Program Matlab jsem použil pro statistickou analýzu distribuce reakčních časů. Po nahrání dat do programu jsem použil příkaz `find (contains (raw(:, 6), 'OK'))`; Tento příkaz má za úkol použít reakční časy bez chyby měření. Poté jsem použil příkaz `rmoutliers`, který detekuje a odstraní odlehlé hodnoty v určeném sloupci. Odlehlé hodnoty jsou reakční časy, které jsou několikanásobně delší než ostatní, tyto časy vznikly například nesprávným zamáčknutím pedálu. Příkaz `allfitdist (b, 'PDF')` vypočítal a určil rozdělení pravděpodobnosti reakčních časů v určitém sloupci. Následně za pomoci příkazu `x values = 50:1:700`; a příkazu `y = pdf (pd, values)`; se vykreslila hustota pravděpodobnosti v určitém měřítku. Pak následoval příkaz `figure pd = fitdist (b, 'Normal');` `histfit (b, 1000, 'Normal')`, tento příkaz vytvořil histogram s výpisem distribucí podle zadaných dat. Pro jednotlivé druhy naměřených reakčních časů byl výstupem vyhodnocení histogram a spočítané parametry pro jednotlivé distribuce pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny.

Prvním výstupem byl histogram rozhodovacího reakčního času horních končetin, který můžeme vidět na obrázku 15. Na svislé ose je funkce hustoty pravděpodobnosti a na vodorovné ose je hodnota reakčního času v ms.



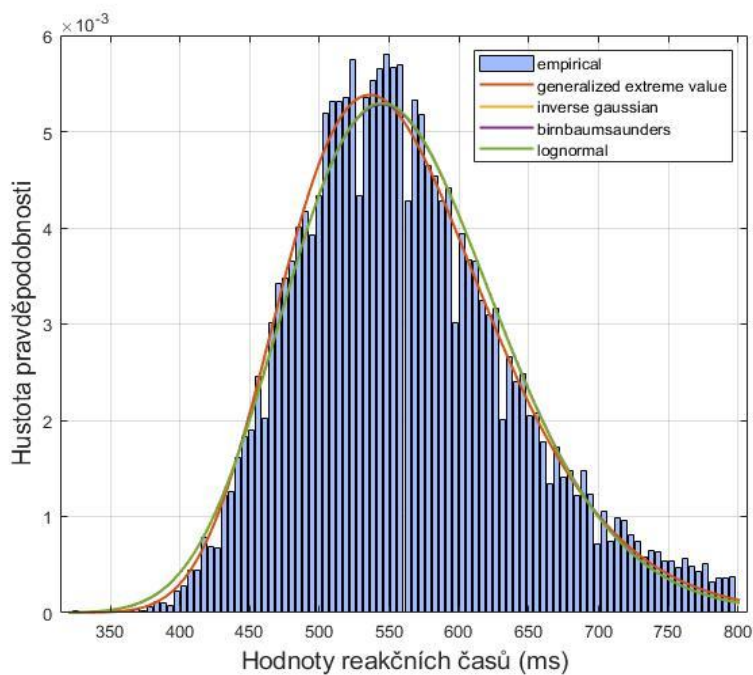
Obrázek 15: Histogram pro rozhodovací reakční čas horních končetin

Ke každému histogramu vznikla také tabulka obsahující statistická rozdělení popisující daný histogram. U histogramu pro rozhodovací reakční čas horních končetin je to tabulka 2. Rozdělení jsou v tabulce seřazena pod sebou podle pořadí, které nám program Matlab na základě naměřených dat vybral. Z tabulky můžeme vidět, že na prvním místě je zastoupeno rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value), u kterého je parametr 1 s hodnotou popisující tvar (shape) = -0.1282, parametr 2 s hodnotou směrodatné odchylky (scale) = 73.9884 a parametrem 3 s hodnotou střední hodnoty (location) = 342.4935.

Tabulka 2: Hodnoty parametrů pro rozhodovací reakční časy horních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2	Parametr 3
Rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value)	tvar (shape) = -0.1282	směrodatná odchylka (scale) = 73.9884	střední hodnota (location) = 342.4935
Logaritmicko normální rozdělení (Lognormal)	logaritmická střední hodnota (log location) = 5.9080	logaritmická směrodatná odchylka (log scale) = 0.2200	
Rozdělení Gama (Gamma)	tvar (shape) = 20.9782	směrodatná (scale) = 17.9665	
Birnbaum Saunders rozdělení (Birnbaumsaunders)	směrodatná odchylka (scale) = 367.8793	tvar (shape) = 0.2215	

Druhým a třetím výstupem byl histogram výběrového reakčního času horních končetin a histogram reakčního času dolních končetin. Jednotlivé histogramy jsou na obrázku 16 a 17. Na svislé ose je funkce hustoty pravděpodobnosti a na vodorovné ose je hodnota reakčního času v ms.



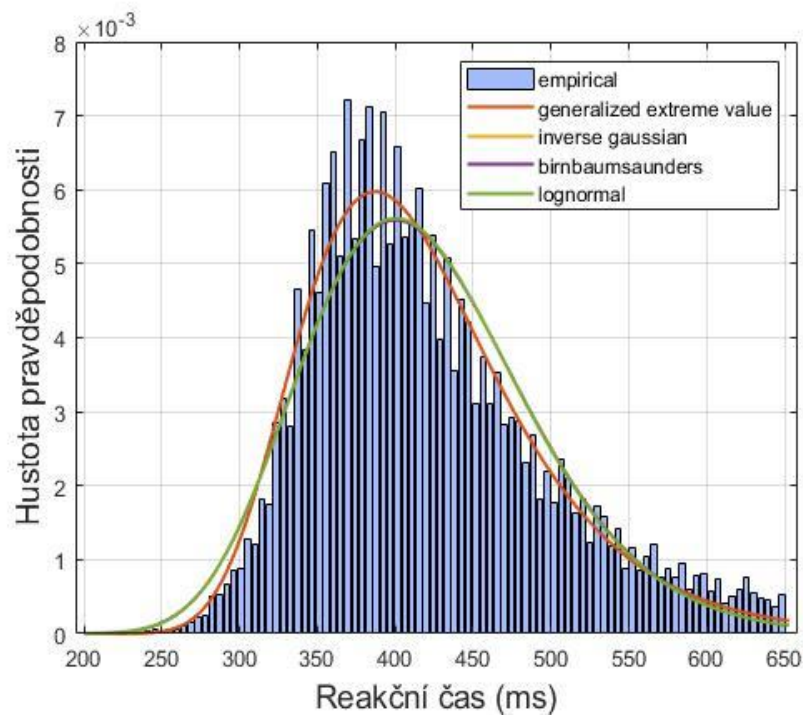
Obrázek 16: Histogram výběrových reakčního času horních končetin



K obrázku 16 vznikla tabulka 3, která znázorňuje navrhovaná rozdělení. První navrhované rozdělení je také rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value). Toto rozdělení nám popisuje parametr s hodnotou tvaru (shape) = -0.1158, parametr 2 s hodnotou směrodatné odchylky (scale) = 68.8459 a parametr 3 s hodnotou střední hodnoty (location) = 527.5001.

Tabulka 3: Hodnoty parametru pro rozhodovací reakční časy horních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2	Parametr 3
Rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value)	tvar (shape) = -0.1158	směrodatná odchylka (scale) = 68.8459	střední hodnota (location) = 527.5001
Inverzní Gaussovo rozdělení (Inverse Gaussian)	střední hodnota (scale) = 560.2603	tvar (shape) = 2.9565e+04	
Birnbaum Saunders rozdělení (Birnbaumsaunders)	směrodatná odchylka (scale) = 555.0263	tvar (shape) = 0.1373	
Logaritmicko normální rozdělení (Lognormal)	logaritmická střední hodnota (log location) = 6.3189	logaritmická směrodatná odchylka (log scale) = 0.1370	



Obrázek 17: Histogram reakčního času dolních končetin

K obrázku 17 vznikla tabulka 4, kde je na prvním místě programem také přiřazeno rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value). S hodnotou parametru 1 (shape) = -0.0316, parametru 2 znázorňující směrodatnou odchylku (scale) = 61.6156 a parametru 3 znázorňující střední hodnotu (location) = 384.9824.

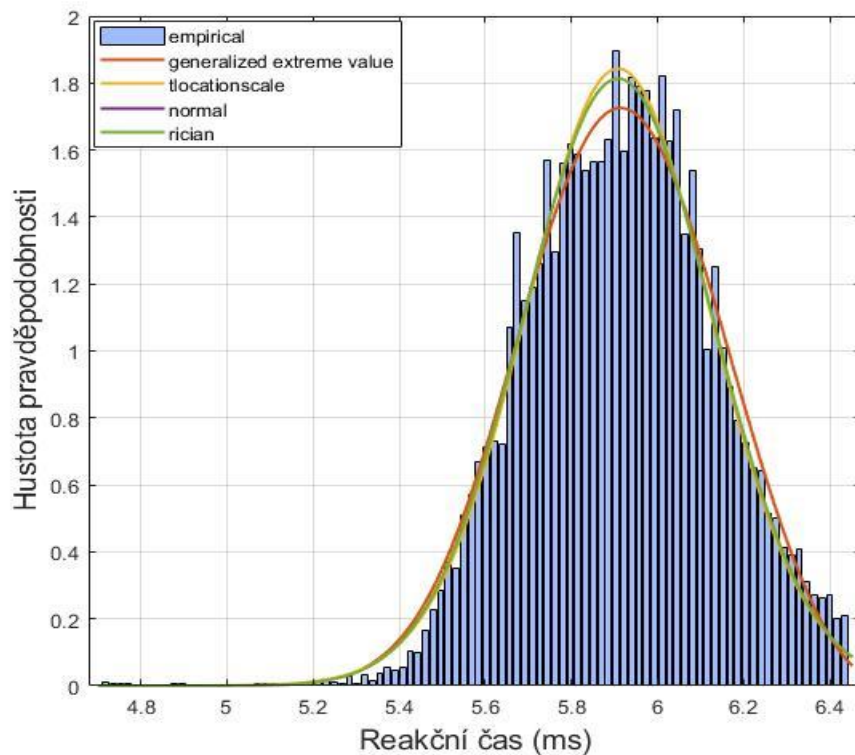


Tabulka 4: Hodnoty parametru pro rozhodovací reakční časy horních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2	Parametr 3
Rozdělení extrémních hodnot (Generalized extreme value)	tvar (shape) = -0.0316	směrodatná odchylka (scale) = 61.6156	střední hodnota (location) = 384.9824
Inverzní Gaussovo rozdělení (Inverse Gaussian)	střední hodnota (scale) = 418.9321	tvar (shape) = 1.3471e+04	
Birnbaum Saunders rozdělení (Birnbaumsaunders)	směrodatná odchylka (scale) = 412.5677	tvar (shape) = 0.1757	
Logaritmicko normální rozdělení (Lognormal)	logaritmická střední hodnota (log location) = 6.0221	logaritmická směrodatná odchylka (log scale) = 0.175	

Žádná ze tří vyšetřených distribucí určitého typu reakčního času nespadá do normálního pravděpodobnostního rozdělení spojité náhodné veličiny. V každé tabulce popisující čtyři nejpravděpodobnější rozdělení pro naměřenou distribuci určitého typu reakčního času je přiřazeno také logaritmicko normální rozdělení. V následujícím kroku jsem za pomoci logaritmické transformace dat dosáhl normální distribuce dat pro jednotlivé typy reakčních časů. Naměřená data jsem logaritmicky transformoval přidáním příkazu $[P,PD]=allfitdist(\log(b), 'PDF')$; k výše zmíněnému zdrojovému kódu.

Výstupem tohoto kroku byly tři histogramy a tabulky s parametry popisujícími přiřazené normální rozdělení. Na horizontální ose histogramů je logaritmicky transformovaná hodnota reakčních časů v ms a na vertikální ose je hustota pravděpodobnosti výskytů reakčních časů. Na obrázku 18 je histogram znázorňující distribuci rozhodovacího reakčního času horních končetin po logaritmické transformaci. V tabulce 5 je popsáno normální rozdělení za pomoci tří parametrů. Parametr 1 je střední hodnota s hodnotou 6.3189, parametr 2 je směrodatná odchylka (scale) s hodnotou 0.1370.

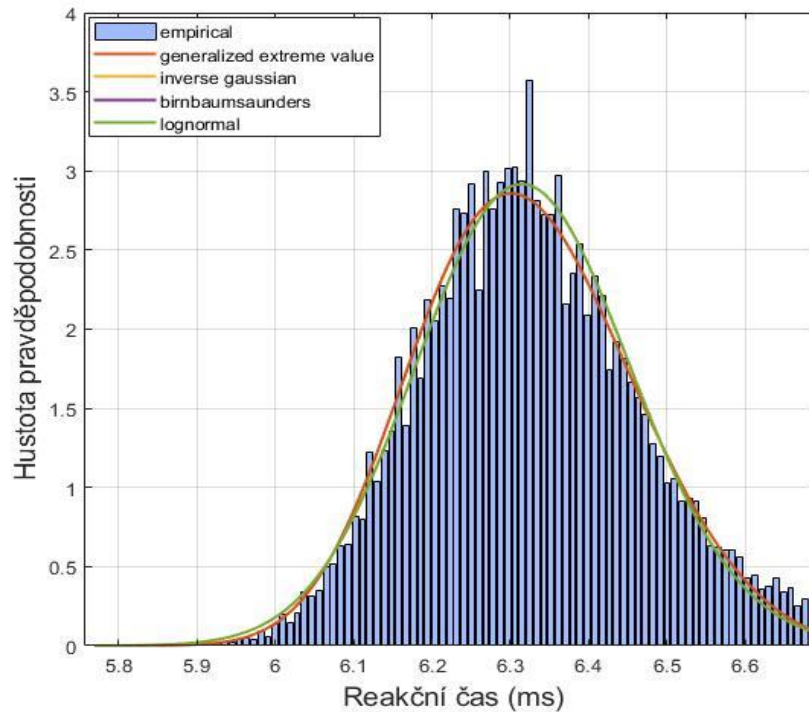


Obrázek 18: Log. Transformace rozhodovacího reakční času horních končetin

Tabulka 5: Parametry Normálního rozdělení pro rozhodovací reakční čas horních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2
Normální rozdělení (normal)	střední hodnota = 6.3189	směrodatná odchylka (scale) = 0.1370

Druhým výstupem dat po logaritmické transformaci je na obrázku 19 rozhodovací reakčního času horních končetin a tabulka 6 s popisem dvou parametrů normálního rozdělení. Parametr 1 je roven střední hodnotě s hodnotou 6.3189 a parametr 2 je roven směrodatné odchylce s hodnotou 0.1370.

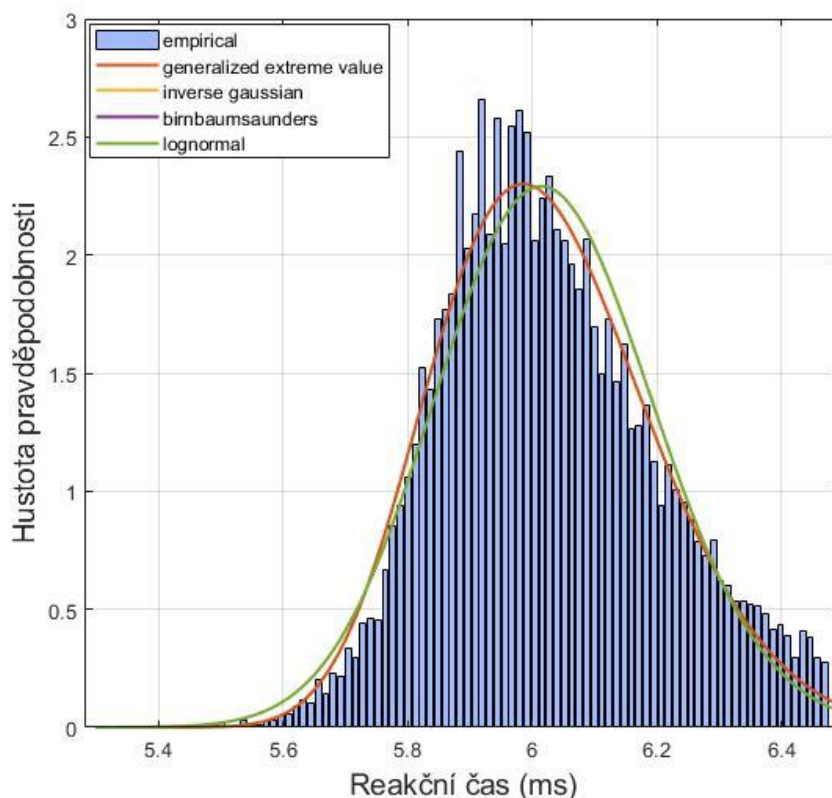


Obrázek 19: Logaritmicky transformovaný výběrový reakční čas horních končetin

Tabulka 6: Parametry normálního rozdělení pro výběrový reakční čas horních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2
Normální rozdělení (normal)	střední hodnota = 6.3189	směrodatná odchylka (scale) = 0.1370

Posledním třetím výstupem po logaritmické transformaci dat je obrázek 20 znázorňující histogram reakčního času dolních končetin a tabulka 7 obsahující parametry normálního rozdělení. Parametr 1 je střední hodnota s hodnotou 6,0221 a parametr 2 je směrodatná odchylka rovna 0,1750.



Obrázek 20: Logaritmicky transformovaný reakční čas dolních končetin

Tabulka 7: Parametry normálního rozdělení reakčního času dolních končetin

Název rozdělení	Parametr 1	Parametr 2
Normální rozdělení (normal)	střední hodnota = 6,0221	směrodatná odchylka (scale) = 0,1750



3.4 Vyhodnocení dat v Excelu

K následné statistické analýze a porovnání dat mezi sebou jsem použil program Excel s rozšiřujícím doplňkem *Analysis ToolPak* a základní operace popisné statistiky. A to především aritmetický průměr naměřených hodnot, funkce četnost v Excelu a směrodatná odchylka. Při vyhodnocování budou vždy zmíněny 3 měřené hodnoty reakčních časů, kde první hodnota je v příloze označovaná rc1 pro HK a představuje rozhodovací reakční čas horních končetin. Druhá hodnota je označena rc2 pro HK a charakterizuje výběrový reakční čas horních končetin a třetí hodnota rc pro DK označuje měřený reakční čas dolních končetin.

3.4.1 Úprava dat před analýzou

Data ze souboru Příloha 1 jsem v Excelu za pomoci funkce *FILTER* roztřídil na základě demografických údajů každého subjektu, a to na základě pohlaví, věku, výšky, váhy, zaměstnání a strany dominantní končetiny do jednotlivých souborů. Dále bylo potřeba z naměřených hodnot reakčních časů odebrat nulové hodnoty a chybné měření. V následujícím kroku jsem z dat odebral prázdné řádky ve sloupcích a data jsem logaritmicky transformoval za pomoci funkce *=IMLOG10(číslo)*, která zvoleným hodnotám reakčních časů přiřadí hodnotu dekadického logaritmu. Na konci statistického porovnání dat jsem výsledné hodnoty zpět převedl na hodnoty reakčních časů v ms pomocí funkce *=10^(číslo)*.

3.4.2 Statistická analýza dat

Na základě dodržené normality dat a ověřeného předpokladu o stejných rozptylech ve všech skupinách dat jsem použil parametrický jednofaktorový test o shodě středních hodnot Anova 1 [34]. Jednofaktorovou Anovu jsem použil k porovnání jednoho demografického znaku, který obsahoval tři a více skupin. Jednalo se o demografické znaky věk, výška, váha a zaměstnání. K porovnání dat o jednom demografickém znaku, který obsahoval dvě skupiny, se budu zabývat v kapitole 3.2.7 a 3.2.8. Data jsem testoval na 5% hladině významnosti (α). Hladinu významnosti jsem následně porovnal s p-hodnotou, která mi vyšla v Excelu za použití Anova testu a nebo t-testu pro jednotlivé skupiny.

Při podmínce

$$\alpha(0,05) < p\text{-hodnota} \quad (14)$$

nezamítám nulovou hypotézu H_0 : Střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou u jednotlivých skupin stejné.

Při opačné podmínce

$$\alpha(0,05) \geq p\text{-hodnota} \quad (15)$$

zamítám H_0 a potvrzuji alternativní hypotézu H_1 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné. Při potvrzení H_1 bylo nutné data dále ověřit v Post-hoc



analýze, při které jsem porovnával maticově rozepsané skupiny z jednoho demografického kritéria pro určitý typ reakčního času mezi sebou. K porovnání jsem použil dvou výběrový t-Test s rovností rozptylů. Jelikož se jednalo o opakované měření, bylo za potřeby použít Bonferoniho korekci.

K zachování 5% hladiny významnosti je zapotřebí při opakovaném měření vydělit stávající hodnotu $\alpha(0,05)$ počtem provedených t-testů [35]. Následným porovnáním p-hodnot s opravenou α lze dojít závěru, že p-hodnoty menší než opravená α jsou statisticky významné a p-hodnoty větší než opravená α nejsou statisticky významně rozdílné.

3.4.3 Vliv věku na reakční čas

K vyhodnocení reakčního času bylo nutné naměřená data rozdělit do pěti skupin na základě věku jedince. Každá skupina obsahovala jedince s podobným věkovým intervalem okolo 10 let. Kvůli malému zastoupení jedinců ve věku od 56 do 74 let jsem tyto jedince zařadil do stejné věkové skupiny (56+). Veškerá data ze statistického porovnání jsou součástí souboru Příloha 2 a souhrn dat je součástí tabulky 8. Nejrychlejší hodnoty všech tří druhů reakčního času měli jedinci spadající do věkové skupiny 36-45 let, hodnoty reakčních časů jsou v tabulce zvýrazněné zelenou barvou. Naopak nejpomalejších hodnot dosahovali u všech tří měřených reakčních časů jedinci spadající do skupiny 56+, tyto hodnoty jsou v tabulce zvýrazněné červenou barvou. Jednofaktorová Anova stanovila 0 p-hodnotu u všech tří měřených typů reakčního času, proto zamítám H_0 a potvrzuji H_1 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné.

Tabulka 8: Reakční doba v závislosti na věku jedince

Věková skupina	Počet naměřených dat	Průměr r_c (ms)	Rozptyl	Směrodatná odchylka (ms)
rc1-hk				
(15-25)	12885	375,9	1,045	142,01
(26-35)	10899	372	1,038	127,18
(36-45)	7168	366,4	1,048	144,10
(46-55)	490	458,8	1,051	185,02
(56+)	386	655,4	1,103	399,71
rc2-hk				
(15-25)	12884	572,01	1,015	117,44
(26-35)	10899	568,00	1,013	108,61
(36-45)	7167	563,14	1,015	113,98
(46-55)	490	685,48	1,027	192,34
(56+)	386	943,89	1,030	283,95
rc-dk				
(15-25)	10317,00	439,24	1,034	139,82
(26-35)	8674,00	432,27	1,027	121,97
(36-45)	5712,00	428,45	1,029	125,50
(46-55)	359,00	569,93	1,053	233,69
(56+)	295,00	860,66	1,051	346,56

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas, hk – horních končetin, dk – dolních končetin



Následný Post-hoc test stanovil, že porovnávané hodnoty jednotlivých věkových skupin jsou u všech druhů reakčních časů statisticky významné, až na porovnání jednoduchého reakčního času mezi skupinou 15-25 a 26-35, kde p-hodnota 0,009 je větší než opravená $\alpha = 0,005$. Lze tedy stanovit, že existuje dostatek důkazů na to, abych v rámci mnou naměřených dat potvrdil, že věk má vliv na hodnotu reakčního času u všech tří druhů reakčního času mimo dvě zmíněné statisticky nevýznamné věkové skupiny pro hodnotu rozhodovacího reakčního času horních končetin.

Dalším kritériem, které bylo potřeba s věkem zhodnotit, je počet chyb při jednotlivých měřeních, aby bylo možné stanovit, zda věk jedince má vliv na chybné vyhodnocení reakce při jednotlivých měřeních. Počet chyb při měření, chybovost, jsem stanovil jako procentuální vyjádření celkového počtu špatně vyhodnocených reakcí z celkového počtu správných reakcí pro všechny měření u věkově stejných subjektů rozdělených podle pohlaví.

Součástí souboru Příloha 3 je graficky znázorněná míra chybovosti jedinců napříč věkem. Celková chybovost pro všechna měření byla stanovena na 4,63 %. Tento údaj byl stanoven z 55445 samostatných měření reakčních časů, během kterých došlo k 2691 špatným rozhodnutím. Dále můžeme určit, že chybovost má tendenci se postupně zvětšovat s věkem. Rozdíl chybovosti mezi nejmladším a nejstarším jedincem roste. Největší chybovost byla zaznamenána u subjektů ve věku 49 let, ale u blízkého věku nedocházelo k tak extrémním hodnotám. Nejstarší jedinci staří 74 let dosahovali chybovosti 13,51 % a nejmladší jedinci ve věku 15 let dosahovali chybovosti 3,03 %. U 15letých jedinců se jedná o hodnotu s nejmenší zaznamenanou chybovostí.

3.4.4 Vliv výšky na reakční čas

Při vyhodnocení dat podle výškového údaje bylo nutné subjekty rozdělit do devíti výškových intervalů. Intervaly byly v rozmezí po 5 cm výšky. První začínal hodnotou 150 cm a poslední končil hodnotou 194 cm. Data použitá k statistickému porovnání jsou součástí souboru Příloha 4.

Ke shrnutí nutných údajů jsem vytvořil tabulku 9. Nejvíce dat bylo změřeno na jedincích měřících od 180 cm do 184 cm, tyto jedinci také dosahovali nejrychlejšího rozhodovacího a výběrového reakčního času horních končetin oproti ostatním výškovým skupinám. Jejich průměrná doba reakčního času je pro rozhodovací reakční čas horních končetin $369,98 \pm 132,96$ ms, pro výběrový reakční čas horních končetin je $564,21 \pm 109,38$ ms a pro reakční čas dolních končetin je $427,40 \pm 125,03$ ms. Nejrychlejší reakční čas dolních končetin byl naměřen na jedincích měřících od 185 cm do 190 cm s průměrnou hodnotou $423,08 \pm 118,02$. Nejpomalejšího reakčního času dosahovali jedinci měřící od 150 cm do 154 cm. Jejich průměrná doba reakčního času je pro rozhodovací reakční čas horních končetin $781,13 \pm 401,76$ ms, pro výběrový reakční čas horních končetin je $1132,56 \pm 347,4$ ms a reakční čas dolních končetin je $986,15 \pm 331,96$ ms.

Jednofaktorová Anova stanovila p-hodnotu $1,36E-95$ pro rozhodovací reakční čas horních končetin, $1,09E-227$ pro výběrový reakční čas horních končetin a 0 pro reakční čas dolních končetin. Na 5% hladině významnosti zamítám H_0 a potvrzuji H_1 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné.



Tabulka 9: Vliv výšky na reakční čas

Výšková skupina	Počet naměřených dat	Průměr rc (ms)	Rozptyl	Směrodatná odchylka (ms)
rc1-hk				
(150-154)	41	781,13	0,032	401,76
(155-159)	279	461,89	0,027	212,03
(160-164)	998	396,45	0,035	211,59
(165-169)	3275	381,32	0,022	153,22
(170-174)	4659	380,68	0,021	148,91
(175-179)	10201	371,39	0,018	136,28
(180-184)	10665	369,98	0,018	132,96
(185-189)	1445	377,18	0,008	87,31
(190-194)	168,000	447,979	0,030	219,073
rc2-hk				
(150-154)	41	1132,56	0,013	347,40
(155-159)	281	681,04	0,012	198,97
(160-164)	1001	607,09	0,012	178,24
(165-169)	3291	581,75	0,009	140,82
(170-174)	4688	580,63	0,008	130,93
(175-179)	10227	568,76	0,006	110,99
(180-184)	10683	564,21	0,006	109,38
(185-189)	1445	564,33	0,004	92,40
(190-194)	168,000	664,546	0,017	229,038
rc-dk				
(150-154)	34	986,15	0,016	331,96
(155-159)	221	554,73	0,029	268,58
(160-164)	787	475,82	0,022	191,30
(165-169)	2569	456,90	0,020	174,20
(170-174)	3708	456,58	0,014	145,66
(175-179)	8148	427,48	0,012	120,75
(180-184)	8515	427,40	0,012	125,03
(185-189)	1249	423,08	0,0003	118,02
(190-194)	126,000	535,135	0,044	331,993

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas, hk – horních končetin, dk – dolních končetin

V posledním kroku jsem provedl Post-hoc test tím, že jsem porovnal jednotlivé výškové skupiny mezi sebou. Tabulka 10 je shrnutím všech statisticky nevýznamných porovnání.

Ostatní porovnání výškových skupin vyšla statisticky významná. Opravená α na 5% hladinu významnosti je $\alpha=0,00139$. V rámci naměřených dat existuje dostatek důkazů na to, že lze potvrdit vliv výšky na reakční čas u porovnávaných skupin, které se prokázaly jako statisticky významné.



Tabulka 10: Post-hoc vliv výšky na reakční čas (výčet statisticky nevýznamných porovnání)

Skupina	P-hodnota	Statisticky významné?
rc1-hk		
(155-159), (190-194)	0,417259804	Ne
(160-164), (165-169)	0,00287563	Ne
(165-169), (170-174)	0,82446974	Ne
(165-169), (185-189)	0,255322661	Ne
(170-174), (185-189)	0,315645878	Ne
(175-179), (180-184)	0,375168682	Ne
(175-179), (185-189)	0,068240587	Ne
(180-184), (185-189)	0,020679955	Ne
rc2-hk		
(155-159), (190-194)	0,355640789	Ne
(165-169), (170-174)	0,685147615	Ne
(175-179), (185-189)	0,112699862	Ne
(180-184), (185-189)	0,966133237	Ne
rc-dk		
(155-159), (190-194)	0,452927406	Ne
(160-164), (165-169)	0,002312257	Ne
(165-169), (170-174)	0,926480196	Ne
(175-179), (180-184)	0,961907269	Ne

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas, hk – horních končetin, dk – dolních končetin

3.4.5 Vliv hmotnosti na reakční čas

Testovaný subjekt se přihlásil k jedné ze čtyř hmotnostních kategorií. Z kolonky počet naměřených dat v souhrnné tabulce 11 můžeme vidět, že skoro polovina měření byla naměřena na subjektech vážících 70-90 kg. U všech tří typů měřených reakčních časů dosahovali nejrychlejších hodnot jedinci patřící do hmotnostní kategorie 4. (90+ kg), naopak nejpomalejších hodnot dosahovali jedinci vážící 40-55kg. Hodnoty jsou v tabulce barevně vyznačené. Veškerá data k statistickému porovnání subjektů na základě hmotnostní kategorie jsou součástí souboru Příloha 5. Jednofaktorová Anova stanovila p-hodnotu 1,77E-12 pro rozhodovací reakční čas horních končetin, 2,57E-24 pro výběrový reakční čas horních končetin a 1,91E-10 pro reakční čas dolních končetin. Na 5% hladině významnosti zamítám H₀ a potvrzuji H₁: střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné.



Tabulka 11: Vliv hmotnosti na reakční čas

Hmotnostní kategorie	Počet naměřených dat	Průměr rc (ms)	Rozptyl	Směrodatná odchylka (ms)
rc1-hk				
1. (40-55 kg)	2353	393,41	1,050	156,66
2. (55-70kg)	8022	373,75	1,051	149,85
3. (70-90 kg)	14961	376,68	1,043	138,19
4. (90+ kg)	6492	371,59	1,048	144,27
rc2-hk				
1. (40-55 kg)	2353	597,39	1,023	152,70
2. (55-70kg)	8022	572,85	1,018	126,75
3. (70-90 kg)	14959	572,01	1,015	116,97
4. (90+ kg)	6492	570,21	1,016	119,07
rc-dk				
1. (40-55 kg)	1900	453,45	1,045	169,53
2. (55-70kg)	6391	444,28	1,038	150,75
3. (70-90 kg)	11905	436,63	1,030	130,69
4. (90+ kg)	5161	434,88	1,033	136,24

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas, hk – horních končetin, dk – dolních končetin

V rámci Post-hoc testu jsem jednotlivé hmotnostní skupiny mezi sebou porovnal. Opravená α na 5% hladinu významnosti je $\alpha = 0,00833$. V tabulce 12 je kompletní výčet statisticky významných a nevýznamných porovnání. V rámci naměřených dat existuje dostatek důkazů na to, že lze potvrdit vliv hmotnosti na reakční čas u porovnávaných skupin, které se prokázaly jako statisticky významné.



Tabulka 12: Post-hoc test vliv hmotnosti na reakční čas

Skupina	P-hodnota	Statisticky významné?
rc1-hk		
1. (40-55 kg), 2. (55-70kg)	8,74E-11	Ano
1. (40-55 kg), 3. (70-90 kg)	5,55333E-10	Ano
1. (40-55 kg), 4. (90+ kg)	7,17455E-13	Ano
2. (55-70kg), 3. (70-90 kg)	0,079044354	Ne
2. (55-70kg), 4. (90+ kg)	0,296909761	Ne
3. (70-90 kg), 4. (90+ kg)	0,003903477	Ano
rc2-hk		
1. (40-55 kg), 2. (55-70kg)	5,19491E-18	Ano
1. (40-55 kg), 3. (70-90 kg)	2,69461E-24	Ano
1. (40-55 kg), 4. (90+ kg)	6,04291E-22	Ano
2. (55-70kg), 3. (70-90 kg)	0,577024626	Ne
2. (55-70kg), 4. (90+ kg)	0,156901505	Ne
3. (70-90 kg), 4. (90+ kg)	0,258505975	Ne
rc-dk		
1. (40-55 kg), 2. (55-70kg)	0,008819902	Ne
1. (40-55 kg), 3. (70-90 kg)	1,54858E-08	Ano
1. (40-55 kg), 4. (90+ kg)	4,98217E-08	Ano
2. (55-70kg), 3. (70-90 kg)	4,06182E-05	Ano
2. (55-70kg), 4. (90+ kg)	5,6286E-05	Ano
3. (70-90 kg), 4. (90+ kg)	0,363340536	Ne

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas,
hk – horních končetin, dk – dolních končetin

3.4.6 Vliv zaměstnání na reakční čas

Celkem bylo stanoveno pět možných skupin zaměstnání, do kterých byli testovaní jedinci zařazeni na základě kritérií. Skupina sedavé zaměstnání popisuje jedince, kteří delší dobu výkonu zaměstnání tráví v sedě než ve stoje nebo v pohybu. Do této skupiny jsem také zařadil studenty. Jedinci, kteří tráví větší část pracovní doby ve stoje nebo v pohybu jsem zařadil do skupiny nesedavé zaměstnání, do této skupiny byli zařazeni také vrcholoví sportovci.

Do skupiny řidič z povolání jsem zařadil jedince, kteří mají v popisu práce jako hlavní náplň řízení motorového vozidla. Jelikož bylo testováno mnoho dopravních pilotů a jedinců s rozsáhlým náletem, kteří jsou součástí leteckého výcviku, ale ještě nevlastní pilotní licenci, stanovil jsem, že pro zařazení do skupiny pilot byl kritériem minimální nálet 60 letových hodin ve dvojím s instruktorem na motorovém letounu. Poslední skupina představuje řidiče záchranné služby. Jako jediné kritérium byl stanoven aktuální výkon práce s minimální jednoletou praxí. Vstupní data a následná analýza jsou součástí souboru Příloha 6. Souhrn vyhodnocených dat je součástí tabulky 13.



Nejvíce naměřených dat pocházelo od jedinců spadajících do skupiny nesedavé zaměstnání s průměrnou hodnotou rozhodovacího reakčního času $371,78 \pm 138,32$ ms, průměrnou hodnotou výběrového reakčního času $570,47 \pm 117,02$ ms a průměrnou hodnotou reakčního času dolních končetin $432,23 \pm 127,23$ ms.

Nejrychlejších reakčních časů dosahovali řidiči záchranné služby s průměrnou hodnotou rozhodovacího reakčního času $363,15 \pm 120,33$ ms, průměrnou hodnotou výběrového reakčního času $533,01 \pm 120,01$ ms a průměrnou hodnotou reakčního času dolních končetin $384,47 \pm 85,44$ ms.

Naopak nejpomalejších hodnot reakčního času dosahovali řidiči z povolání s průměrnou hodnotou rozhodovacího reakčního času $441,22 \pm 212,69$ ms, průměrnou hodnotou výběrového reakčního času $667,32 \pm 176,92$ ms a průměrnou hodnotou reakčního času dolních končetin $519,35 \pm 185,81$.

Jednofaktorová Anova stanovila p-hodnotu $2,23E-56$ pro rozhodovací reakční čas horních končetin, $9,73E-77$ pro výběrový reakční čas horních končetin a $3,13E-69$ pro reakční čas dolních končetin. Na 5% hladině významnosti zamítám H_0 a potvrzuji H_1 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné.

Tabulka 13: Vliv zaměstnání na reakční čas

Zaměstnání	Počet naměřených dat	Průměr rc (ms)	Rozptyl	Směrodatná odchylka (ms)
rc1-hk				
Sedavé zaměstnání	13586	374,92	1,048	145,20
Nesedavé zaměstnání	15578	371,78	1,044	138,32
Řidič z povolání	447	441,22	1,070	212,69
Pilot	1907	409,53	1,048	159,15
Řidič záchranné služby	310	363,15	1,036	120,33
rc2-hk				
Sedavé zaměstnání	13640	573,51	1,017	125,23
Nesedavé zaměstnání	15578	570,47	1,015	117,02
Řidič z povolání	447	667,32	1,024	176,92
Pilot	1905	587,68	1,017	128,66
Řidič záchranné služby	310	533,01	1,018	120,01
rc-dk				
Sedavé zaměstnání	10839	442,69	1,037	148,47
Nesedavé zaměstnání	12387	432,23	1,029	127,23
Řidič z povolání	347	519,35	1,041	185,81
Pilot	1532	469,23	1,041	166,81
Řidič záchranné služby	252	384,47	1,018	85,44

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, rc – reakční čas, hk – horních končetin, dk – dolních končetin



V následném Post-hoc testu jsem porovnával jednotlivá zaměstnání mezi sebou. Opravená α na 5% hladinu významnosti je $\alpha=0,005$. Součástí tabulky 14 je souhrn porovnání jednotlivých zaměstnání pro rozhodovací a výběrový reakční čas horních končetin. Součástí tabulky není reakční čas dolních končetin, neboť všechna porovnání byla statisticky významná. V rámci naměřených dat existuje dostatek důkazů na to, že lze potvrdit vliv hmotnosti na reakční čas u porovnávaných skupin, které se prokázaly jako statisticky významné.

Tabulka 14: Post-hoc test vliv zaměstnání na reakční čas

Skupina	P-hodnota	Statisticky významné ?
rc1-hk		
Sedavé zaměstnání, Nosedavé zaměstnání	0,0257502	Ne
Sedavé zaměstnání, Řidič z povolání	1,10946E-24	Ano
Sedavé zaměstnání, Pilot	3,61333E-28	Ano
Sedavé zaměstnání, Řidič záchranné služby	0,088951051	Ne
Nosedavé zaměstnání, Řidič z povolání	5,17077E-29	Ano
Nosedavé zaměstnání, Pilot	5,62253E-36	Ano
Nosedavé zaměstnání, Řidič záchranné služby	0,194729268	Ne
Řidič z povolání, Pilot	3,41637E-05	Ano
Řidič z povolání, Řidič záchranné služby	2,49929E-13	Ano
Pilot, Řidič záchranné služby	1,40011E-09	Ano
rc2-hk		
Sedavé zaměstnání, Nosedavé zaměstnání	0,018229283	Ne
Sedavé zaměstnání, Řidič z povolání	4,14587E-56	Ano
Sedavé zaměstnání, Pilot	4,49314E-07	Ano
Sedavé zaměstnání, Řidič záchranné služby	1,14411E-10	Ano
Nosedavé zaměstnání, Řidič z povolání	5,15552E-67	Ano
Nosedavé zaměstnání, Pilot	7,45603E-11	Ano
Nosedavé zaměstnání, Řidič záchranné služby	2,42702E-10	Ano
Řidič z povolání, Pilot	4,36764E-31	Ano
Řidič z povolání, Řidič záchranné služby	4,05627E-38	Ano
Pilot, Řidič záchranné služby	1,65537E-15	Ano

rc1 – rozhodovací reakční čas, rc2 – výběrový reakční čas, hk – horních končetin



3.4.7 Vliv pohlaví na reakční čas

Anova test nelze v tomto případě použít, neboť naměřená data obsahují jen dvě skupiny, a to skupinu mužského pohlaví a skupinu ženského pohlaví. Ověřil jsem, že data mají stejný rozptyl a k následnému vyhodnocení tohoto demografického znaku jsem použil parametrický dvou výběrový t-test s rovností rozptylů. Vstupní data a následná analýza jsou součástí souboru Příloha 7. Výsledkem t-testů jsou tři p-hodnoty. P-hodnota pro rozhodovací reakční čas horních končetin je $p=0,00264$, pro výběrový reakční čas horních končetin je $p=0,32072$ a pro reakční čas dolních končetin je $p=0,81353$. Na 5% hladině významnosti potvrzují H_0 pro výběrový reakční čas horních končetin a reakční čas dolních končetin. Dále pro rozhodovací reakční čas horních končetin zamítám H_0 a potvrzují H_1 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou rozdílné. Na základě dostupných důkazů potvrzují, že v rámci naměřených dat lze potvrdit vliv pohlaví na hodnotu rozhodovacího reakčního času. K potvrzení tohoto tvrzení u výběrového reakčního času horních končetin a reakčního času dolních končetin chybí dostatek důkazů.

Dále jsem z naměřených dat stanovil průměrné hodnoty reakčních časů. U mužů dosahoval průměrný rozhodovací reakční čas horních končetin $377,71 \pm 142,51$ ms, průměrný výběrový reakční čas horních končetin $573,21 \pm 119,63$ ms a průměrný reakční čas dolních končetin $439,29 \pm 136,7$ ms. U žen dosahoval průměrný rozhodovací reakční čas horních končetin $373,49 \pm 146,12$ ms, průměrný výběrový reakční čas horních končetin $574,48 \pm 127,93$ ms a průměrný reakční čas dolních končetin $439,66 \pm 145,37$ ms.

3.4.8 Vliv dominantní horní končetiny na reakční čas

K vyhodnocení dat na základě vlivu dominantní horní končetiny na reakční čas jsem postupoval obdobně jako u vlivu pohlaví na reakční čas, neboť tento demografický znak obsahuje dvě skupiny, a to subjekty s pravou dominantní končetinou a subjekty s levou dominantní končetinou. Po ověření rozptylů u obou skupin dat jsem použil také parametrický dvou výběrový t-test s rovností rozptylů. Vstupní data a následná analýza jsou součástí souboru Příloha 8.

První p-hodnota pro rozhodovací reakční čas horních končetin vyšla $p=0,6157$. Druhá p-hodnota pro výběrový reakční čas horních končetin vyšla $p=0,71535$ a třetí p-hodnota pro reakční čas dolních končetin je $p=0,43171$. Všechny tři p-hodnoty jsou větší než $\alpha=0,05$, proto nezamítám H_0 : střední hodnoty naměřených dat pro určitý typ reakčního času jsou u jednotlivých skupin stejné. V rámci naměřených dat chybí dostatek důkazů k potvrzení vlivu dominantní horní končetiny na reakční čas.

U jedinců s pravou dominantní končetinou byla hodnota rozhodovacího reakčního času horních končetin $376,2 \pm 142,98$ ms, hodnota výběrového reakčního času horních končetin $573,76 \pm 123,06$ ms a hodnota reakčního času dolních končetin $439,26 \pm 140,85$. Jedinci s levou dominantní končetinou vykazovali nepatrně nižší průměrné reakční časy u rozhodovacího reakčního času s hodnotou $374,93 \pm 154,75$ ms a výběrového reakčního času horních končetin s hodnotou $572,92 \pm 120,14$. U reakčního času dolních končetin vykazovali naopak nepatrně delší průměrný reakční čas dolních končetin s hodnotou $441,48 \pm 130,25$ ms.



4. Diskuse výsledků

Z naměřených dat reakčních časů na širokém vzorku populace jsem stanovil hodnoty reakčního času pro odlišné skupiny jedinců v populaci. Z kapitoly 1.2 Zařízení víme, že na trhu existuje široké spektrum zařízení na měření reakčního času, které měří různé typy reakčních časů a dosahují odlišných naměřených hodnot. Kvůli unikátní stavbě zařízení a použitého specifického softwaru nejdou mnou stanovené hodnoty reakčních časů porovnat s hodnotami naměřenými na konkurenčních zařízeních.

Jediné oficiální měření, které proběhlo na tomto zařízení, bylo po jeho sestavení. Strůjce zařízení Bc. Jakub Šimerka stanovil při opakovaných měřeních na 22letém subjektu průměrnou hodnotu výběrového reakčního času horních končetin $469,15 \pm 115,31$ ms a průměrnou hodnotu reakčního času dolních končetin $659,75 \pm 122,01$ [24]. Mnou stanovené hodnoty pro subjekt podobného věku jsou $572,01 \pm 117,44$ ms pro hodnotu výběrového reakčního času horních končetin a $439,24 \pm 139,82$ ms pro hodnotu reakčního času dolních končetin. Má hodnota výběrového reakčního času horních končetin je pomalejší, to může být způsobeno tím, že student Šimerka prováděl 99 opakovaných měření. Měřený jedinec měl větší předchozí zkušenost s měřením na daném zařízení. Mnou změřený jedinec měl jen omezený čas 30 s na vyzkoušení zařízení a poté následovalo 5minutové měření. Z kapitoly 1.1.3 Faktory ovlivňující reakční čas víme, že při následných opakovaných měření se reakce jedince zrychlují. Naopak mnou stanovená hodnota reakčního času dolních končetin byla nižší oproti hodnotě, kterou stanovil student Šimerka. Mimo věk jedince autor neuvádí ostatní faktory, jako je hmotnost nebo výška jedince, které by mohly významně ovlivňovat hodnotu reakčního času.

V teoretické části této práce jsem zmínil, že jedinci ve věku okolo 30 let mají dosahovat nejnižších hodnot reakčního času oproti mladším nebo starším jedincům [8]. Z naměřených dat jsem určil, že věk je statisticky významný faktor, který může ovlivnit reakční čas a nejrychlejších průměrných časů dosahovali jedinci 36-45 let, jedinci ve věku 26-35 let dosahovali druhých nejlepších výsledků. Tak lze i přes větší věkové rozpětí potvrdit, že z naměřených dat dosahovali jedinci ve věku okolo 30 let nejnižších hodnot u všech tří reakčních časů.

Vyhodnocení reakčních časů na základě hmotnosti jedince může být nepřesné, neboť váha jedince nám neurčuje, zda má jedinec normální hmotnost, nadváhu nebo podváhu. Ta závisí na výšce jedince, věku, pohlaví nebo tělesné stavbě. Lepšího vyhodnocení, zda má tento faktor vliv na reakční čas, by bylo dosaženo, kdyby se použil Body mass index, který tyto faktory zohledňuje [25]. V rámci této práce jsem se rozhodl k vyhodnocení dat vždy jenom na základě použití jednoho faktoru najednou.

Vědec Sir Francis Galton uvádí, že jedinci vyššího věku mají rychlejší reakce, avšak existují studie, které toto tvrzení vyvrací [21]. Mé výsledky toto tvrzení také vyvrací, neboť nejvyšší jedinci dosahovali vždy průměrných hodnot reakčního času u všech tří naměřených kategorií.

U jedinců patřících do skupiny s nejnižším věkem, nejnižší hmotností a u jedinců patřících do věkové skupiny 56+ jsem zaznamenal u všech tří měřených hodnot průměrného reakčního času vždy nejdelsí hodnotu. U jedinců nejnižšího věku jsem při měření pozoroval, že musejí mít výše položené ruce oproti ostatním jedincům tak, aby mohli ovládat zařízení. To mohlo mít za následek potřebu vyvíjet větší sílu k pohybu rukou, neergonomické ovládání přístroje a tím pádem zhoršení reakčních časů. Tento jev by šel pravděpodobně eliminovat použitím stolu s nastavitelnou výškou, na kterém je zařízení umístěno tak, aby si jedinec mohl nastavit výšku zařízení.



U jedinců pařících do nejnižší hmotnostní skupiny a do věkové skupiny 56+ jsem zaznamenal obtíže při sešlápnutí pedálů. U hardwarové části pro měření reakčních časů dolních končetin docházelo při aplikování menší síly nutné k sešlápnutí pedálu k jeho zadrhávání. To může být způsobené použitým výrobním materiálem. Plastové tělo zařízení obsahuje malé výstupky, které při špatném seřizení pedálu tření prohlubují. Tření negativně ovlivňuje reakční čas u lehčích a slabších jedinců, kteří potřebují vynaložit více síly k překonání tření. Tento jev lze částečně eliminovat pravidelným mazáním pedálů nebo úplně eliminovat použitím jiného materiálu na výrobu dané části zařízení.

Věková skupina 56+ vykazovala také nejpomalejší hodnoty rozhodovacího a výběrového reakčního času horních končetin a také jednu z nejvyšších mír chybovosti při měření. Hlavním vysvětlením, proč jedinci dosahují pomalejších reakcí je pravděpodobně kvůli věkovému faktoru, neboť reakční čas se u starších jedinců zhoršuje. Dalším možným vysvětlením je, že i přes snahu delšího vysvětlení principu fungování, kterou jsem pozoroval, jedinci z věkové skupiny 56+ vykazovali určitou míru nejistoty a problém porozumění, jak ovládat zařízení. To může mít vliv na hodnotu reakčních časů. Menší míra porozumění, jak ovládat zařízení, také může dokazovat vyšší míra chybovosti při měření, která se u nejstarší věkové skupiny vyskytla. V teoretické části této práce bylo uvedeno, že méně aktivní jedinci a jedinci vykonávající sedavé zaměstnání mají dosahovat pomalejších reakcí oproti aktivnějším jedincům a jedincům vykonávající nesedavé zaměstnání [21]. Mé výsledky stanovily, že rychlejších průměrných reakčních časů vždy dosahovali jedinci vykonávající nesedavé zaměstnání. Ale jedná se o zanedbatelný rozdíl a při statistické analýze bylo pro tyto dvě skupiny stanoveno, že rozhodovací a výběrový reakční čas je při porovnání statisticky nevýznamný a jenom reakční čas dolních končetin byl staticky významný.

Řidiči z povolání dosahovali nejhorších reakčních časů, naopak řidiči záchranné služby měli reakční doby nejkratší. Obě profese jsou svým popisem činnosti velice podobné, a přitom dosahují opačných výsledků. U řidičů z povolání pravděpodobně může za zhoršené reakce to, že tato skupina byla tvořena jedinci staršího věku a jedinci vykazovali vyšší hmotnost. Naopak řidiči záchranné služby byli spíše zastoupeni jedinci středního věku a adekvátní hmotností. Dále je také možné, že řidiči záchranných vozidel jsou schopni svoji zkušenost rychle reagovat přenést i mimo řízení, jako by mohlo být například toto měření. Piloti se od naměřené populace odlišovali tím, že jejich reakce dosahovali druhých nejhorších výsledků pro všechny tři měřené reakční časy. Studie zmíněná v teoretické části uvádí, že při jejich měření dosahovali piloti pomalejších reakčních časů oproti zbytku testovaných jedinců, zato odezva reakce byla rychlejší a také piloti dělali méně chyb při měření. Tento jev vysvětlují tím, jakým způsobem je pilot vycvičen, a to tak, že má pilot správně vyhodnotit podnět a následně rychle reagovat [22]. Z mnou naměřených výsledků se také potvrdilo, že piloti dosahovali nejnižšího počtu chyb během měření v porovnání s ostatními profesemi.

Při vyhodnocení vlivu dominantní ruky na reakční čas chybí dostatek důkazů k určení vlivu tohoto faktoru na reakční čas. To může být způsobené tím, že měření se zúčastnilo jen 42 jedinců s levou dominantní rukou. Tato data byla porovnána s daty od 496 jedinců s pravou dominantní rukou. Vzorek 42 jedinců s levou dominantní horní končetinou je poměrně malý k porovnání a stanovení závěru.

Ke všem měřením bylo přistupováno zodpovědně a byl kladen důraz na dodržování měřených postupů a eliminaci možných faktorů ovlivňujících reakční čas. I přesto byla naměřená data do určité míry ovlivněna samotnými jedinci, kteří přistupovali k měření ledabyle nebo nebyli schopni se během měření plně soustředit. Každý jedinec se sám dobrovolně rozhodl podstoupit měření, i přesto chyběla u určité části jedinců motivace snažit se o rychlé reakce. Určitá část jedinců vykazovala nejrychlejší reakce v úplném začátku měření, postupně se tyto reakce



zpomalovaly a rostl počet chyb při měření. Na druhou stranu určitá část jedinců přistupovala k měření soutěživě a snažili o nejrychlejší reakce v každém pohybu. Osobní motivace jedinců mohla ovlivnit jednotlivá měření, při vyhodnocení ale nebyla brána v potaz.



5. Závěr

V rámci této práce jsem provedl analýzu reakčního času. Teoretická část této práce popisuje biologický proces reakce, známá rozdělení reakčního času a jednotlivé faktory, které mají vliv na délku reakčního času. Následně jsem vyhotovil přehled dostupných zařízení na trhu, která se současně používají k měření reakčního času a rozebral studie popisující vliv reakčního času na výkon profese jedince.

Tyto informace mi následně pomohly k vykonání měření v praktické části této práce. Před měřením bylo důležité stanovit jednotný postup a podmínky, za kterých měření probíhalo tak, aby se zamezilo vlivu faktorů ovlivňujících měření reakčního času. Mimo hodnotu reakčního času se u testovaných jedinců sbíraly také demografické údaje ve formě dotazníku. Za pomoci těchto údajů jsem data seskupil a následně vyhodnotil. Při vyhodnocení dat jsem postupoval objektivně a použil jsem neinvazivní operace tak, aby naměřená data nebyla zkreslena. K vyhodnocení dat byl použit počítač s programy vhodnými ke statistické analýze. Ke konci této práce na základě statistické analýzy stanovuji výsledky a jejich validitu diskutuji. V průběhu vypracování této práce byla limitující omezení v důsledku pandemické situace, která po určitou dobu zamezovala měření. I přesto se mi podařilo naměřit 555 subjektů a tím překonat původně požadovaných 500 subjektů. Více naměřených dat pomohlo k doplnění skupin, které měly malé zastoupení. Data byla naměřena na dostupném vzorku populace. Jediným omezením k účasti na měření byl věk jedince 15-75 let.

Zařízení ČVUT, na kterém probíhalo měření reakčního času, měřilo hodnoty rozhodovacího a výběrového reakčního času bez obtíží. U měření hodnoty reakčního času dolních končetin docházelo u malé skupiny subjektů k chybným nebo zkresleným měřením kvůli tření, které vznikalo uvnitř části pedálu. Při testování došlo také k malému množství technických poruch na zařízení, ale díky jednoduché konstrukci zařízení šlo vše rychle opravit. Pro další použití zařízení bych doporučil výrobcí vymyslet úchytný systém ke stolu a kotvící systém k podlaze, neboť dosavadní postup uchycení zařízení k povrchu pomocí lepící pásky není dlouhodobě efektivní, ekonomický a také ekologický. Naměřená data a stanovené výsledky lze použít k objektivizaci a komparaci měření vůči populaci při budoucím využití tohoto zařízení.



Seznam použité literatury

- [1] STRAUS, Jiří a Viktor PORADA. *TEORIE FORENZNÍ BIOMECHANIKY* [online]. Praha: VŠFS, 2017 [cit. 2021-10-16]. ISBN 978-80-7408-140-8. Dostupné z: https://is.vfsfs.cz/repo/6412/Teorie_forezni_biomechanika-finale-ed.pdf. Str. 30-40.
- [2] V. SOCHA, L. HANÁKOVÁ a A. LALIŠ, ed. *New Trends in Civil Aviation: Reaction time measurement device for flight crew testing* [online]. London: Taylor & Francis Group, 2018. ISBN 978-0-8153-7602-6.
- [3] *Lidské tělo: srozumitelný a zevrubný průvodce po strukturách a funkcích lidského organismu*. Bratislava: Gemini, 1991, s. 205-227. ISBN isbn80-85265-13-3.
- [4] I. NOVOTNÝ a M. HRUŠKA. *Biologie člověka*. 5., rozšířené a upravené vydání. Praha: Fortuna, 2015, s. 157-159. ISBN isbn978-80-7373-128-1.
- [5] *Oči* [online]. [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://www.symptomy.cz/anatomie/oci>
- [6] *Nervová soustava* [online]. [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/89?TSPD_101_R0=08fe5d4b84ab2000161776ad729216d8b9e5994c621f71d6c4adcaec26a85bc368eda4771a445eb2089fd142e8143000b31b423d9ebc85e098bce671f7eab405adeaad70c6ccc30e3f667972d37ee5e6353cbee9a9d405814726e4955bedfc6
- [7] POLSON, David. *Mental Chronometry* [online]. 2014, , 44-47 [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: https://web.uvic.ca/~dbub/Cognition_Action/Reading_Assignments_files/Chronometry.pdf
- [8] TILLMAN B., FITTS D. J., WOODSON W. E. a ROSE-SUNDHOLM R. *Human factors and ergonomics design handbook*. 3rd ed. San Francisco: McGraw-Hill Education, 2016, s. 669-673. ISBN 9780071702874.
- [9] AMINI VISHTEH, Rasoul, Ali MIRZAJANI, Ebrahim JAFARZADEHPOUR a Samireh DARVISHPOUR. Evaluation of Simple Visual Reaction Time of Different Colored Light Stimuli in Visually Normal Students. *Clinical Optometry* [online]. 2019, 11, 167-171 [cit. 2021-10-16]. ISSN 1179-2752. Dostupné z: doi:10.2147/OPTO.S236328
- [10] HODGKINS, Jean. Reaction Time and Speed of Movement in Males and Females of Various Ages. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation* [online]. 2013, 34(3), 335-343 [cit. 2021-10-16]. ISSN 1067-1188. Dostupné z: doi:10.1080/10671188.1963.10613242
- [11] Khan, Aiesha & Ashwini, Amalladonna & Malipatil, Basavaraj. (2015). Effect of Body Mass Index and Gender on Visual and Auditory Reaction Times in Young Adults. *Journal of US-China Medical Science*. Dostupné z: doi: 10.17265/1548-6648/2015.02.004



- [12] M. RUSSO. *Visual Perception, Flight Performance, and Reaction Time Impairments in Military Pilots during 26 Hours of Continuous Wake: Implications for Automated Workload Control Systems as Fatigue Management Tools* [online]. [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.215.465&rep=rep1&type=pdf>
- [13] STRAUS J. Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu [online]. 2010, , 11-19 [cit. 2021-09-17]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/prodlouzeni-reakcni-doby-v-zavislosti-na-hladine-alkoholu.aspx>
- [14] BALKÓ, Štefan, Miroslav ROUS, Iva BALKÓ, Jan HNÍZDIL a Zbigniew BORYSIUK. Influence of a 9-week training intervention on the reaction time of fencers aged 15 to 18 years. *Physical Activity Review* [online]. 2017, 5, 146-154 [cit. 2021-10-26]. ISSN 23005076. Dostupné z: doi:10.16926/par.2017.05.19
- [15] *Fitro Reaction* [online]. [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: <http://new.fitronic.sk/project/fitro-reaction/>
- [16] *Fitro Agility* [online]. [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: <http://new.fitronic.sk/project/fitro-agility/>
- [17] *MOART Reaction Time and Movement Time Panel Model 35601* [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <http://www.limef.com/Downloads/MAN960-35601-rev2-forpdf.pdf>
- [18] *Batak Professional* [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: https://www.batak.com/index_htm_files/BATAK_PRO_MANUAL.pdf
- [19] R.R. ZANA a A. ZELEI. Introduction of a Complex Reaction Time Tester Instrument. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* [online]. 2019, 64(1), 20-30 [cit. 2021-8-07]. ISSN 1587-379X. Dostupné z: doi:10.3311/PPme.13807
- [20] Holden, Jameson & Francisco, Eric & Lensch, Rachel & Tommerdahl, Anna & Kirsch, Bryan & Zai, Laila & Dennis, Robert & Tommerdahl, Mark. (2019). Accuracy of different modalities of reaction time testing: Implications for online cognitive assessment tools. 10.1101/726364.
- [21] IRWIN W. SILVERMAN. Simple reaction time: It is not what it used to be. *The American Journal of Psychology* [online]. 2010, 123(1) [cit. 2021-10-28]. ISSN 00029556. Dostupné z: doi:10.5406/amerjpsyc.123.1.0039
- [22] BARKHUIZEN, Werner, Johann SCHEPERS a Johan COETZEE. Rate of information processing and reaction time of aircraft pilots and non-pilots. *SA Journal of Industrial Psychology* [online]. 2002, 28(2) [cit. 2021-10-16]. ISSN 2071-0763. Dostupné z: doi:10.4102/sajip.v28i2.53
- [23] ZHUK, Mykola, Volodymyr KOVALYSHYN, Yurii ROYKO a Khrystyna BARVINSKA. Research on drivers' reaction time in different conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* [online]. 2017, 2(3 (86), 24-31 [cit. 2021-10-13]. ISSN 1729-4061. Dostupné z: doi:10.15587/1729-4061.2017.98103



[24] ŠIMERKA, Jakub. *Návrh systému pro měření reakčního času* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-09-13]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/90476/F6-BP-2020-Simerka-Jakub-pristroj_na_reakcny_cas.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.

[25] *About Adult BMI* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: https://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html

[26] I. NAGY a P. PECHERKOVÁ. *Statistika* [online]. PRAHA: FD ČVUT, s. 21-30 [cit. 2021-09-10]. Dostupné z: <http://staff.utia.cas.cz/uglickich/pdfka/Statistika.pdf>

[27] M. MELOUN a J. MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat* [online]. Praha: Karolinum, 2013 [cit. 2021-10-08]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/zprac_exp/ZE3.pdf

[28] R. MORAVEC. *Inverzní Gaussovo rozdělení a jeho užití v pojistné matematice* [online]. Praha [cit. 2021-10-09]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/16986/BPTX_2007_1_11320_0_22824_2_0_48496.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze.

[29] M. BUDÍKOVÁ. *Logaritmicko normální rozdělení* [online]. Přírodovědecká fakulta Masarykovi univerzity, ,1 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps15/statistika/web/pages/logaritmicko-normalni.html>

[30] *Generalized Extreme Value Distribution* [online]. , 1 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/stats/generalized-extreme-value-distribution.html?s_tid=srchtitle

[31] M. FORBELSKÁ. *Náhodné veličiny a náhodné vektory: 6. Příklady spojitých rozdělení* [online]. Přírodovědecká fakulta Masarykovi univerzity, , 1 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps13/prav_stat/web_1/pages/03_06-priklady-spoj-rozdel.html

[32] *Birnbaum-Saunders Distribution* [online]. 1 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/stats/birnbaum-saunders-distribution.html?searchHighlight=Birnbaumsaunders&s_tid=srchtitle

[33] *Mentem* [online]. [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://www.mentem.cz/blog/neuron/>

[34] UGLICKICH, Evžen. *Statistika - Přednáška 8 - Testy hypotéz více veličin* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: http://staff.utia.cas.cz/uglickich/pdfka/PrednaskaSTAT8_DISTAN.pdf

[35] *Problém násobného testování hypotéz. Matematická biologie* [online]. Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovi univerzity [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--uvod-do-testovani-hypotez--poznanky-k-testovani-hypotez--problem-nasobneho-testovani-hypotez>



Seznam příloh

Příloha 1: Vstupní data

Příloha 2: Data a vyhodnocení vlivu věku na reakční čas

Příloha 3: Grafické znázornění míry chybovosti napříč věkem

Příloha 4: Data a vyhodnocení vlivu výšky na reakční čas

Příloha 5: Data a vyhodnocení vlivu hmotnosti na reakční čas

Příloha 6: Data a vyhodnocení vlivu zaměstnání na reakční čas

Příloha 7: Data a vyhodnocení vlivu pohlaví na reakční čas

Příloha 8: Data a vyhodnocení vlivu dominantní horní končetiny na reakční čas