

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Fakulta tělesné výchovy a sportu**



**Intraindividuální variabilita opakovaného pohybu  
a její indikátory při řízení motorového vozidla**

Autoreferát disertační práce

Autor:

Mgr. Libor Soumar

Školitel:

Doc. PaedDr. Karel Jelen, CSc.

Praha 2009

## **Anotace**

Neoddělitelnou vlastností pohybů těla a jeho segmentů je variabilita provedení. Ta může být přínosem, ale často bývá zdrojem problémů. Jednou z oblastí, kde je variabilita pohybu nežádoucí jsou operátorské pohyby. Speciálně pak řízení motorového vozidla je jednou z nejfrekventovanější operátorských činností, kde chyby mohou mít značné sociální a ekonomické dopady. V této práci jsme se podrobili analýze vliv dlouhodobého řízení (v trvání dvou hodin) a mírné intoxikace alkoholem (méně než 1,0 g/kg) na variabilitu pohybu pravé ruky při manuálním řazení převodových stupňů. Test probíhal v laboratorních podmínkách na simulátoru osobního automobilu. Pohyb ruky byl detekován pomocí optoelektronického kinematického analyzátoru. Součástí testu byla stíhací úloha (tracking task) a sledování dynamiky vybraných biochemických parametrů.

Zjištěné výsledky se ukazují jako nejednoznačné. Přestože v některých případech došlo ke statisticky významnému zvýšení variability, v obecné rovině se nepodařilo jednoznačně prokázat vliv dlouhodobého řízení ani alkoholu na zvýšení variability sledovaného pohybu. V některých případech došlo i k jejímu zmenšení. Byly identifikovány hodnoty variability, které lze považovat za kritické z pohledu ovládnutí vozu a řešení dopravních situací.

**Klíčová slova:** variabilita, řízení auta, vozidlový simulátor, kinematická analýza, alkohol, dlouhodobé řízení.

## **Abstract**

Variability is an integral part of human body segments movements. Movement variability can be beneficial, but often is a source of problem. Operator's movements are one of the areas when variability is undesirable. Vehicle driving is probably most frequent operator movement in society where errors can result in serious social and economical impact. In this work we focused on influence of longtime driving (two hours) and moderate alcohol intoxication (less than 1,0 g/kg) on right hand movement variability during manual gear selection. Test took place in laboratory setup on passenger vehicle simulator. Hand movement was measured by kinematical analysis with use of optoelectronic motion capture system. Tracking task and blood sample test were included into examination procedure.

Finding are ambiguous. We were not able to firmly confirm influence of longtime driving and/or moderate alcohol intoxication on increased movement variability. Although we found some parameters with significant increase of variability, in others significant decrease was discovered. In some cases measurement data showed values that could be considered critical from point of safe driving and optimum response to particular traffic situation.

**Keywords:** variability, driving, car simulator, kinematical analysis, alcohol, long-distance driving.

## Obsah

<b>1.</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>POPIS PROBLÉMU</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>CÍLE PROJEKTU</b> .....	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>HYPOTÉZY</b> .....	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIE</b> .....	<b>8</b>
5.1.	ORGANIZACE EXPERIMENTU .....	8
5.2.	VÝZKUMNÝ SOUBOR.....	9
5.3.	POUŽITÉ METODY .....	9
5.3.1	<i>Vozidlový simulátor</i> .....	9
5.3.2	<i>Kinematická analýza</i> .....	10
5.3.3	<i>Tracking task</i> .....	11
5.3.4	<i>Vnitřní prostředí organismu</i> .....	11
<b>6.</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>12</b>
6.1.	ALKOHOL .....	12
6.2.	KINEMATICKÁ ANALÝZA .....	13
6.2.1	<i>Trajektorie a rychlost pohybu těžiště ruky</i> .....	13
6.2.2	<i>Plocha směrodatné odchylky</i> .....	14
6.2.3	<i>Trvání pohybu ruky</i> .....	15
6.2.4	<i>Poloha těžiště ruky v okamžiku dotyku páky</i> .....	16
6.2.5	<i>Shrnutí</i> .....	17
6.3.	OVLÁDÁNÍ SIMULÁTORU .....	17
6.3.1	<i>Reakční čas na červené světlo semaforu</i> .....	17
6.3.2	<i>Pohyby volantu</i> .....	18
6.3.3	<i>Čas na jedno kolo</i> .....	19
6.3.4	<i>Shrnutí</i> .....	19
6.4.	TRACKING TASK .....	19
6.4.1	<i>Korelační koeficient</i> .....	19
6.4.2	<i>Časový posun</i> .....	20
6.4.3	<i>Chyba polohy kurzoru</i> .....	20
6.4.4	<i>Výkonové spektrum</i> .....	21
6.4.5	<i>Shrnutí</i> .....	21
6.5.	DYNAMIKA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ ORGANISMU.....	22
<b>7.</b>	<b>DISKUSE</b> .....	<b>22</b>
7.1.	ALKOHOL .....	22
7.2.	ŘÍZENÍ VOZIDLA .....	23
7.3.	POHYB RUKY V SIMULÁTORU .....	23
7.4.	TRACKING TASK .....	25
7.5.	VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	25
7.6.	APLIKAČNÍ DOPORUČENÍ .....	26
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚRY</b> .....	<b>27</b>
<b>9.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY</b> .....	<b>29</b>

# 1. Úvod

Variabilita pohybu člověka je předmětem studia mnoha vědních disciplín. Teoretické vysvětlení a původ intraindividuální variability nabízí např. Newell a kol. (1993, 1998), který tvrdí, že variabilita je součástí všech úrovní organizace pohybu jak mezi jednotlivci, tak i u jedné osoby.

Variabilita pohybu je zpravidla vnímána jako negativní. Někdy ovšem může být variabilita i přínosná. Tento názor vychází ze studia chování chaotických nelineárních dynamických systémů aplikovaných na lidský pohyb. Z tohoto pohledu je variabilita pokládána za nutnou součást sebeorganizujícího se chování nelineárních dynamických vlastností neuromotorického systému (Turvey, 1990).

Stergiou (2004) celkovou variabilitu popisuje následujícím vztahem:

$$V_T = V_n + V_e \quad (1)$$

kde  $V_T$  = celková variabilita systému sledovaná při pohybu,  $V_n$  = variabilita způsobená nelineárními dynamickými procesy v systému a  $V_e$  = variabilita způsobená chybami, přičemž  $V_e$  můžeme dále rozložit na další komponenty následovně:

$$V_e = V_{eb} + V_{em} + V_{ee} \quad (2)$$

kde  $V_{eb}$  = biologický šum (chyby) v neuromotorických systémech,  $V_{em}$  = metodologické chyby vznikající při měření a zpracování dat a  $V_{ee}$  = externí chyby (mimo organismus – změny v okolním prostředí, změny v plněném úkolu, apod.)

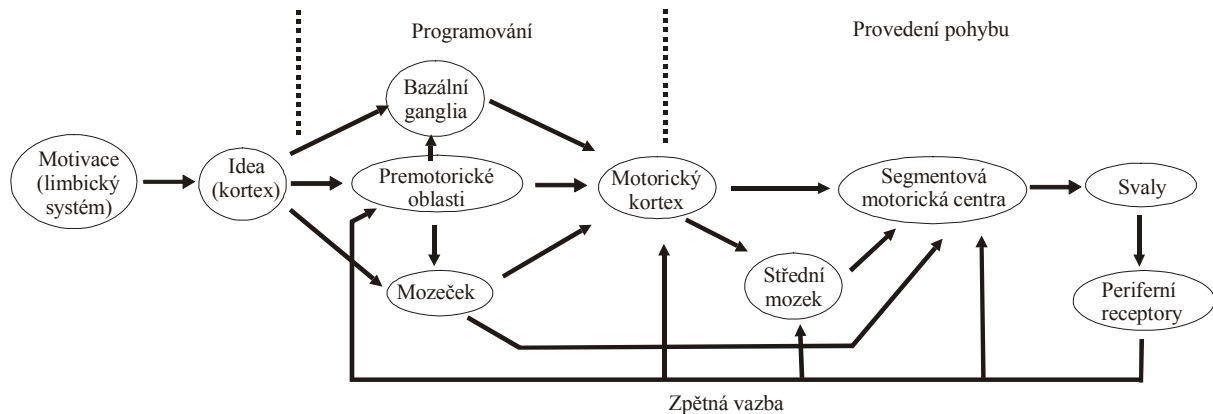
Několik pokusů k provedení stejného pohybu vždy vede k trochu rozdílnému výkonu, který se projeví ve změně kinematických a kinetických parametrů společně se způsoby svalové aktivace (Bernstein, 1967). Jednou z hlavních příčin pohybové variability je motorická redundance (Latash a kol., 2002). Motorická redundance vychází z předpokladu, že na každé úrovni analýzy systému zajišťujícího volní pohyby, existuje mnohem více elementů přispívajících k pohybu, než je nezbytně nutné pro úspěšnou realizaci pohybového úkolu. Jinak řečeno, pohybový úkol nepředepisuje jednoznačný motorický vzorec, takže centrální nervový systém (CNS) je konfrontován s problémem výběru jakou cestu zvolit pro vyřešení příslušné úlohy.

Omezování variability pohybu je často cílem učení se pohybu (tréninku) jak v reálném životě, tak i v laboratorních podmínkách (včetně tréninku sportovců či rehabilitace pacientů s poruchami motorického ústrojí). Toto omezování variability se zpravidla děje mnohočetným opakováním téhož pohybu.

Konkrétní vzorec informace pro úmyslný pohyb si můžeme podle dnešních znalostí představit jako sled následujících kroků (viz obrázek 1):

- **Idea** pohybu, jejímž výsledkem je vůle pohyb vykonat. Vzniká pravděpodobně součinností frontální kůry a limbických podkorových struktur.
- **Taktika** provedení pohybu pochází z asociačních korových oblastí, odkud se dostává do bazálních ganglií a mozečku. Bazální ganglia se podílejí na iniciaci pohybu a realizují programy pro malou a ustálenou hybnost. Jednotlivé mozečkové struktury kontrolují provedení pohybu, přičemž mozečkové hemisféry přeprogramují rychlou cílenou motoriku.

- **Start** pohybu náleží motorickému kortexu, který přijal programy cestou talamu a nadále pohyb řídí.



Obrázek 1 – Schéma plánování a provedení pohybu (Enoka 1988)

Přesnost a spolehlivost je ovlivňována celou řadou okolností např. monotónností prováděných úkonů, dlouhodobým opakovaným prováděním pohybů, tělesnou a psychickou únavou, aktuálním zdravotním a psychickým stavem, rozdělením pozornosti na více úkolů současně, alkoholem, věkem, léky, rušivými vlivy okolí (např. hlukem či vibracemi), aj.

Studium variability má význam především v situacích, kdy má nepřesné provedení pohybu následky. Mezi takové pohyby patří například operátorské činnosti. Mezi frekventované operátorské činnosti patří řízení motorového vozidla, kde chyby v provedení pohybů mohou mít vážné následky na majetku a zdraví osob.

Studium variability pohybů lidského těla je poměrně častým předmětem zkoumání v mnoha vědních oborech a literatura ukazuje, že k tomuto účelu se hojně využívají kinematické analyzátoři. Z literatury i našeho vlastního experimentu vyplývá, že optoelektronické kinematické analyzátoři jsou dostatečně přesné a jsou vhodným nástrojem pro studium variability pohybů člověka. V literatuře lze poměrně často nalézt výzkumy týkající se bezpečnosti silničního provozu. K tomuto účelu se používají vozidlové simulátory a problém je studován z řady hledisek (např. vliv věku, různých onemocnění, léků, toxických látek, spánkové deprivace aj.).

V rámci provedené literární rešerše jsme našli jen velmi kusé informace o studiu variability operátorských pohybů člověka v podmínkách řízení motorového vozidla a vlivu dalších faktorů na tuto variabilitu. Nenašli jsme žádnou metodiku jak takové testování provádět.

## 2. Popis problému

Technologický pokrok pomáhá rozvoji společnosti, stroje usnadňují manuální práci, zvyšují produktivitu práce a zlepšují životní úroveň. Ale zvyšující se počet strojů sebou nese mimo jiné i nárůst operátorských činností v populaci, s čímž roste význam přesného a bezchybného provádění operátorských činností v každodenním životě a s tím spojených problémů v případě chybného ovládní. Pro minimalizování negativních důsledků chybného ovládní strojů je nezbytné provádět operátorské pohyby s dostatečnou přesností a spolehlivostí.

Významným společenským problémem jsou z ekonomického hlediska tzv. dopravní zácpa (kongesce). Podle Bílé knihy existuje vážné nebezpečí, že Evropa z důvodu kongescí ztratí svou hospodářskou konkurenceschopnost. Externí náklady kongescí pouze u silniční dopravy již dnes dosahují výše 0,5 % HDP Evropské unie. Uvědomíme-li si, že HDP EU v roce 2008 činil 11,2 bilionů €, jedná se o značné finanční prostředky. Dopravní prognózy pro následujících deset let naznačují, že pokud nebude v této oblasti nic vykonáno, dojde do roku 2010 k výraznému nárůstu kongescí v silniční dopravě. Rovněž náklady, které je možno zácpám přisoudit, vzrostou o 142 % a v absolutní výši dosáhnou 80 miliard EUR ročně (White book, 2001).

Důležitost studia operátorských činností řidiče dokládá například zpráva infoservisu ÚAMK (2008), podle níž zahynulo v roce 2001 v důsledku silniční dopravní nehodovosti na území Evropské unie cca 55 000 lidí a vysoký byl i počet zraněných lidí. Podceňovat nelze ani vysoké hmotné škody (na úrovni 2 % HDP) a nemalé jsou i dopady nehodovosti do sociální sféry. Tato fakta vedla orgány Evropské unie (EU) k vyhlášení ambiciózního cíle, který byl formulován v tzv. Bílé knize (White book, 2001). V roce 2007 bylo usmrceno v rámci EU cca 43 000 lidí, tedy o cca 12 000 méně ve srovnání s rokem 2001, ale tempo poklesu je pomalejší než se očekávalo. Aby bylo dosaženo cíle uvedeného v Bílé knize, musel by v uvedeném období klesnout počet usmrcených osob o 37 %, resp. meziročně o 7,4 %. Skutečnost je taková, že v období let 2001–2007 bylo snížení počtu obětí dopravních nehod jen o 20 %, resp. meziročně o 4 %.

Nehodovost v Evropské unii sice v souladu s Bílou knihou (White book, 2001) a v důsledku vládních intervencí pomalu klesá, ovšem míra poklesu je pomalejší, než se očekávalo. Lepší porozumění vlivu různých faktorů na operátorské pohyby řidičů má význam, protože počty usmrcených osob a osob s trvalými následky, jakož i sociální dopady a finanční náklady s tím spojené, jsou tak vysoké, že i malý efekt (v řádu setin či tisícin procent) znamená nemalý přínos. Vždyť snížení počtu smrtelných nehod o 1 % znamená jen v EU snížení počtu mrtvých o 430 osob ročně a celosvětově se jedná o tisíce osob.

Mezi časté jevy při řízení motorového vozidla patří dlouhé jízdy trvající několik hodin, u nichž lze předpokládat, že dlouhodobé provádění monotónní činnosti může mít vliv na koordinaci pohybu. V monotónních podmínkách dálničního provozu může již 80 minut řízení motorového vozidla představovat hranici, při níž dochází k významným změnám v ovládnutí vozu, zvýšené míře ospalosti a zpomaleném reakčním času (Ting a kol. 2008). Bohužel častým jevem je řízení vozidla pod vlivem alkoholu, kde lze rovněž předpokládat negativní vliv alkoholu na schopnost provádět pohyby přesně a koordinovaně.

V literatuře je poměrně dobře zdokumentován vliv alkoholu na řízení motorového vozidla z pohledu dodržování pravidel silničního provozu, ovšem ovlivnění variability operátorských pohybů řidiče faktory jako například monotónnost či alkoholová intoxikace se nám nalézt nepodařilo.

**Z provedené literární rešerše vyplynulo, že prozatím nebyla publikována metoda, kterou by bylo možné spolehlivě měřit a hodnotit operátorské pohyby řidiče motorového vozidla.** Absence takové metody představuje metodologický a metrologický problém a proto jsme se rozhodli navrhnout metodiku měření a hodnocení variability pohybů při ovládnutí vozidla, prověřit zda vybrané závislé proměnné mají dostatečnou výpovědní hodnotu a zda pomocí těchto parametrů lze detekovat vliv nezávislých proměnných na motoriku pravé ruky při řazení převodových stupňů. Používání takové metody by následně pomohlo osvětlit zda a do jaké míry jsou operátorské pohyby řidiče ovlivněny (ovlivnitelné) i dalšími faktory (např. věkem, různými onemocněními, psychoaktivními látkami, kombinací léků a spánkové deprivace, aktuálním psychickým stavem, apod.) a zda (případně do jaké míry) mohou tyto

faktory představovat problém z hlediska bezpečnosti silničního provozu a nehodovosti a mohou v konečném důsledku přispět ke snížení počtu usmrcených osob, trvalých zdravotních následků a materiálních škod.

Vybrali jsme dva parametry (nezávislé proměnné), vliv dlouhodobého řízení motorového vozidla a vliv intoxikace alkoholem a experimentálně sledovali, jak se změna těchto proměnných projeví v pohybech pravé ruky při řazení převodových stupňů.

### 3. Cíle projektu

- Navrhnout metodiku měření variability pohybů pravé ruky při řazení převodových stupňů.
- Objektivizovat vliv dvou vybraných faktorů na variabilitu pohybu pravé ruky při řazení převodových stupňů, a to:
  - o dlouhodobého řízení a
  - o intoxikace alkoholem.
- Ukázat vliv dlouhodobého monotónního řízení vozidla a mírné intoxikace alkoholem na motoriku a schopnost plnit úkoly spojené s řízením vozidla.
- Přispět k osvětlení závislosti dlouhodobosti a intoxikace na spolehlivost pohybových úkonů při řízení motorového vozidla.
- Zjistit, zda řízení vozidla trávající dvě hodiny vyvolá změny ve vnitřním prostředí organismu, které by mohly signalizovat snížení schopnosti ovládat vozidlo a zda se takovéto změny projeví ve variabilitě pohybu ruky.
- Identifikovat parametry, které mohou indikovat vyšší míru rizika pro bezpečnost silničního provozu a případně stanovit jejich kritické meze.

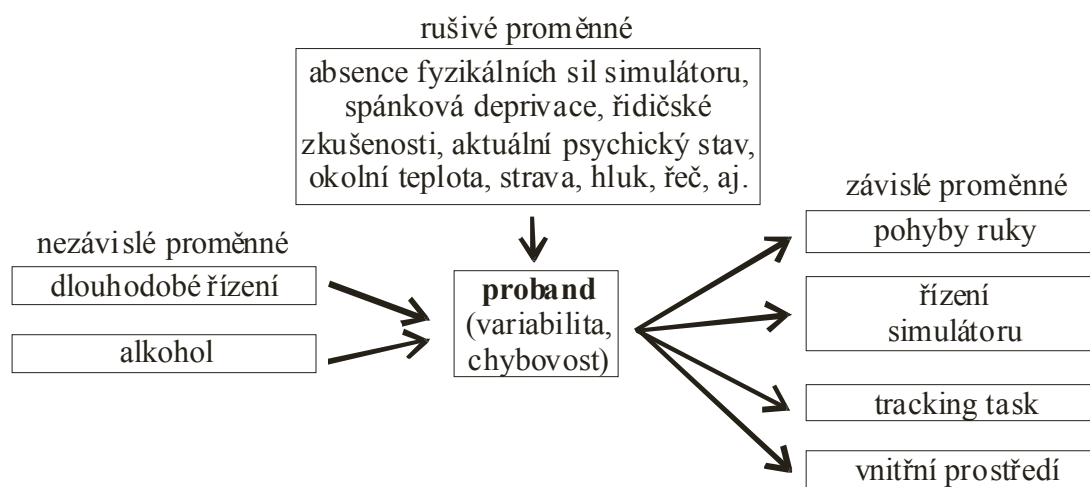
### 4. Hypotézy

Na základě rozboru literatury a výše uvedených skutečností formulujeme následující hypotézy:

- 1) Dlouhodobé monotónní řízení motorového vozidla vyvolá v organismu změny, které se projeví ve vyšší variabilitě opakovaného pohybu (pravé ruky z volantů na řadicí páku a zpět).
- 2) Dlouhodobé monotónní řízení vozidla v kombinaci s mírnou intoxikací alkoholem povede, ve srovnání s jízdou bez alkoholu, ke zvětšení variability opakovaného pohybu.

## 5. Metodologie

Obrázek 2 ukazuje schéma nezávislých, závislých a některých rušivých proměnných experimentu.



Obrázek 2 – Schéma nezávislých, závislých a rušivých proměnných experimentu

### 5.1. Organizace experimentu

Sestavili jsme kombinovaný experiment, který se skládal ze čtyř částí:

- Simulátor automobilu,
- Kinematický analyzátor,
- Tracking task,
- Vnitřní prostředí organismu.

Vlastní sběr dat probíhal v jednom týdnu a byl organizován tak, aby proband absolvoval ve dvou po sobě jdoucích dnech jízdu na simulátoru trvající dvě hodiny s tím, že první den tuto jízdu absolvoval střízlivý a druhý den po konzumaci kontrolované dávky alkoholu. Probandům byl podáván 40 % destilát. Koncentrace alkoholu v krvi byla cílena na 1 gram absolutního etanolu na 1 kg krve [g/kg]. Pro stanovení hladiny alkoholu byl použit Widmarkův vzorec a pro kontrolou byla změřena 30 min., 45 min., 60 min., 120 min. a 180 minut po požití. Widmarkův vzorec zní (Štefan, Hladík, 1998):

$$C_t = \left( \frac{a-d}{m*r} \right) - \beta_{60} * t \quad (3)$$

kde  $C_T$  = koncentrace alkoholu v krvi v čase  $t$  od požití [g/kg],  $t$  = doba od požití [hodiny],  $a$  = množství požitého absolutního etanolu [g],  $d$  = vstřebávací deficit (10–30%),  $m$  = hmotnost osoby [kg],  $r$  = redukční faktor (muži  $r = 0,7$ ; ženy  $r = 0,6$ ),  $\beta_{60}$  = vstřebávací koeficient 0,12–0,20 [g/kg/hod].

Pořadí úkonů při aplikaci alkoholu bylo rozšířeno následovně:

1. požití alkoholu,
2. za 30 minut změření hladiny alkoholu,
3. za 45 minut změření hladiny alkoholu,
4. tracking task,
5. umístění markerů na ruku,
6. odběr kapilární krve,



7. za 60 min. změřeni hladiny alkoholu,
8. jízda – 2 hodiny (po 1 hod. odběr kapilární krve),
9. změřeni hladiny alkoholu,
10. tracking task,
11. odběr kapilární krve.

## 5.2. Výzkumný soubor

Výzkumný soubor se skládal z šesti osob mužského pohlaví. Před vlastním testováním byly vyšetřované osoby seznámeny s průběhem testu a podepsaly informovaný souhlas. Základní charakteristiky souboru se nacházejí v tabulce 1.

	MK	TM	MP	PS	MT	AT
Věk [roky]	27	24	58	47	26	39
Řízení mot.vozidla [roky]	9	3	37	20	8	19
Ročně najeto [km]	15000	20000	5000	10000	15000	15000
Hmotnost [kg]	69	82	105	69	83	73
Konzumace alkoholu týdně	1 láhev vína	20 piv	25–30 piv	15 piv	12–15 piv	6–7 piv
Vzdělání	VŠ	SŠ	VŠ	VŠ	SŠ	VŠ
Subj. hodnocení únavy 1.den	bez vlivu	bez vlivu	bez vlivu	bez vlivu	bez vlivu	bez vlivu
Subj. hodnocení únavy 2.den	bez vlivu	silná ospalost	bez vlivu	ospalost	silná ospalost	povzbuzující

*Tabulka 1 – Charakteristika probandů*

Testované osoby byly požádány, aby den před vlastním experimentem nepožívaly alkoholické nápoje, řádně se vyspaly a přišly přiměřeně najedené. Dále byly požádány, aby druhý den testování konzumovaly pokud možno stejné potraviny jako před prvním testováním, případně i v den prvního testování (až do zahájení testu).

Testované osoby byly během testu dotazovány na pocit únavy (viz subjektivní hodnocení únavy v tabulce 1) a současně byly pozorovány. U osob MT a TM byly přibližně 15–20 minut před koncem dvouhodinové jízdy pod vlivem alkoholu pozorovány mikrosnávkové stavy. Testované osoby byly upozorněny na možnost vzniku nevolností při jízdě na simulátoru. Žádný z probandů neměl problémy tohoto charakteru (bez alkoholu ani po jeho požití).

## 5.3. Použité metody

### 5.3.1 Vozidlový simulátor

Vozidlový simulátor použitý v této práci je postaven na bázi vozu Škoda Super a instalován v Laboratoři spolehlivosti systému (LSS) na Fakultě dopravní UK. Jedná se o tzv. lehký typ, tedy pouze s kokpitem automobilu a je sestaven z dílů současných evropských vozidel střední třídy.

Vlastní jízda probíhala na okruhu dlouhém přibližně 7,5 km. Záměrně byl zvolen jednoduchý okruh s minimem zatáček a v průběhu testování nebyl na okruhu simulován žádný provoz. Silnice a okolní krajina odpovídaly prostředí provozu na komunikaci 1.–2. třídy

Proband dostal pokyn jet stálou rychlostí 90 km/h, kromě případů, kdy by takováto rychlost mohla znamenat opuštění vozovky, sledovat semaforey a na červené světlo zastavit. Semaforey byly rozmístěny rovnoměrně podél trati přibližně ve 300 m odstupech. Semaforey byly ovládány manuálně, červené světlo bylo aktivováno náhodně v intervalu 60–150 sekund, pokaždé v přibližně stejné vzdálenosti auta od semaforu. Vlastní jízda trvala dvě hodiny, průměrná rychlost byla přibližně 70 km/h.

Poté co proband zastavil na červené světlo měl za úkol přeřadit na první rychlostní stupeň a čekat. Po přeřazení na první převodový stupeň obsluha semaforu vyčkala 4–5 sekund a pak rozsvítila zelené světlo. Proband se rozjel a postupně řadil vyšší převodové stupně. Probandi byli instruováni držet volant v poloze „tři čtvrtě na tři“ a po každé změně převodového stupně vracet pravou ruku zpět na volant. Během celé doby jízdy tak došlo přibližně k 50 (přesněji k 42 až 51) zastavením na červené světlo semaforu a bylo získáno 150–200 pohybů pravé ruky z volantu na řadící páku a zpět.

Použitý simulátor měl nainstalované šestistupňové řazení typu TipTronic, kde se řadí pouze pohybem páky vpřed (na vyšší rychlostní stupeň) nebo vzad (na nižší rychlostní stupeň) a páka se vrací sama do výchozí polohy, což považujeme pro náš experiment za výhodu, protože hlavice řadící páky se nacházela stále ve stejné poloze. Převodování virtuální převodovky simulátoru bylo takové, že při rychlosti 90km/h byl optimální pátý převodový stupeň. Řazení bylo velmi citlivé, takže se občas stávalo, že došlo k přeřazení o dva stupně najednou. Proto jsme nezískali při každém zastavení trajektorie čtyř pohybů, ale v některých případech bylo trajektorií méně.

### 5.3.2 Kinematická analýza

Pro měření variability pohybu pravé ruky byl použit optoelektronický kinematický analyzátor Qualisys, konkrétně pět kamer Oqus-3 (1,3 Mpx), snímací frekvence byla nastavena na 120 Hz.

Počátek globálního souřadného systému byl umístěn do středu otáčení volantu, tak, že osa Y směřovala vzhůru k nejvyššímu bodu volantu, osa X vodorovně vpravo a osa Z, kolmá ně, směřovala k řidiči

Na sledovaný objekt bylo umístěno deset pasivních reflexních markerů velikosti 12 mm následovně:

- Střed volantu,
- Nejvyšší bod na volantu (vystředěný volant),
- Řadící páka 1,
- Řadící páka 2,
- První metakarp pravé ruky,
- Pátý metakarp pravé ruky,
- Pravé zápěstí vně (procesus styloideus ulnae),
- Pravé zápěstí uvnitř (procesus styloideus radii),
- Zevní kondyl pravé pažní kosti (capitulum humeri),
- Acromion.

Sběr dat byl proveden pomocí software Qualisys Track Manager (Qualisys, AB) ve verzi 2.1. Záznam pohybu ruky byl spouštěn automaticky vždy, když se na semaforu rozsvítilo červené světlo. Délka záznamu byla nastavena na 60 sekund. V záznamu byly následně vyhledány tyto čtyři klíčové události (uzlové body):

- okamžik, kdy ruka opustí volant;

- okamžik, kdy se ruka dotkne řadící páky;
- okamžik, kdy ruka opustí řadící páku;
- okamžik, kdy se ruka dotkne volantu.

Z bodů na ruce bylo následně spočítáno těžiště pravé ruky (z *prvního metatarzu, pátého metatarzu, zápěstí vně a zápěstí uvnitř*).

Pro rekonstrukci pohybu ruky jsme se rozhodli použít její těžiště (tvořené čtyřmi body) abychom eliminovali možnost náhodné chyby při špatném výpočtu prostorových souřadnic jednoho bodu, případně se vyvarovali situace, kdy nebude možné souřadnice bodu (ruky) určit z důvodu zakrytí jediného bodu z pohledu některé z kamer. Těžiště segmentu lze spočítat ze tří a více bodů a tudíž byla vyšší pravděpodobnost, že získáme potřebná data. Dále lze předpokládat, že více bodů bude znamenat zmenšení velikosti instrumentálního šumu.

Dále byl spočítán vrchol řadící páky nacházející se na přímce procházející body *řadící páka 1 a řadící páka 2*, a to 60 mm nad bodem *řadící páka 2*. Body *řadící páka 1 a 2* byly umístěny vně řadící páky a tudíž virtuální bod *vrchol řadící páky* neleží ve středu páky, tedy na jejím skutečném vrcholu, ale poněkud vně.

### 5.3.3 Tracking task

Experiment byl realizován na běžném osobním přenosném počítači (notebook Compaq NV8000) s využitím programu TT++ verze 0.20 (Štěpáník, 2004). Vstupním zařízením byl joystick SAITEK ST 290 USB a výstupním zařízením monitor počítače. Použitý tracking task byl jednodimenzionální, stíhací, typu „first order“, umožňující ovládání směru a rychlosti stíhacího kurzoru. Frekvence záznamu byla nastavena na 50 Hz.

Cíl se pohyboval pouze ve vertikálním směru a jeho pohyb byl vypočítán složením tří sinových funkcí daných vztahem:

$$y(t) = \sum_{i=1}^3 A_i \sin(2\pi f_i t + \varphi_i) \quad (4)$$

kde  $t$  [s] je čas,  $A$  [Px] je velikost amplitudy,  $f$  [Hz] je frekvence a  $\varphi$  [°] je počáteční fáze, přičemž velikost amplitud byla volena programem pomocí generátoru náhodných čísel. Zadávané tedy byly následující hodnoty určující pohyb kurzoru:

$$A_{1\max} = 50 \text{ [Px]}, f_1 = 0,025 \text{ [Hz]}, \varphi_1 = 90 \text{ [°]}, \quad (5)$$

$$A_{2\max} = 50 \text{ [Px]}, f_2 = 0,10 \text{ [Hz]}, \varphi_2 = 90 \text{ [°]}, \quad (6)$$

$$A_{3\max} = 100 \text{ [Px]}, f_3 = 0,50 \text{ [Hz]}, \varphi_3 = 90 \text{ [°]}. \quad (7)$$

Použitý tracking task testuje smyčku oko-CNS-ruka. Zvolili jsme takové vstupní zařízení, u kterého je pohyb prováděn celou paží, nikoliv pouze akrálně, čímž se řešená úloha více podobá pohybům ruky při řazení převodových stupňů.

Před vlastním testem každá testovaná osoba absolvovala zácvik trvající 5 minut. Následně byl proveden první experiment v trvání 5 minut. Po skončení jízdy na simulátoru testovaná osoba úkol trvající 5 minut zopakovala.

### 5.3.4 Vnitřní prostředí organismu

U všech probandů byl v obou testovaných dnech třikrát (bezprostředně před jízdou, jednu hodinu po vyjetí a bezprostředně po dojetí) proveden odběr kapilární krve z prstu levé

ruky s cílem zjistit, zda bude možné naměřit dynamiku ve vybraných biochemických parametrech. Vybrány byly takové parametry u nichž lze předpokládat, že by mohly vykazat určitou změnu v důsledku dvouhodinové jízdy (případně pod vlivem alkoholu). Jedná se následující parametry:

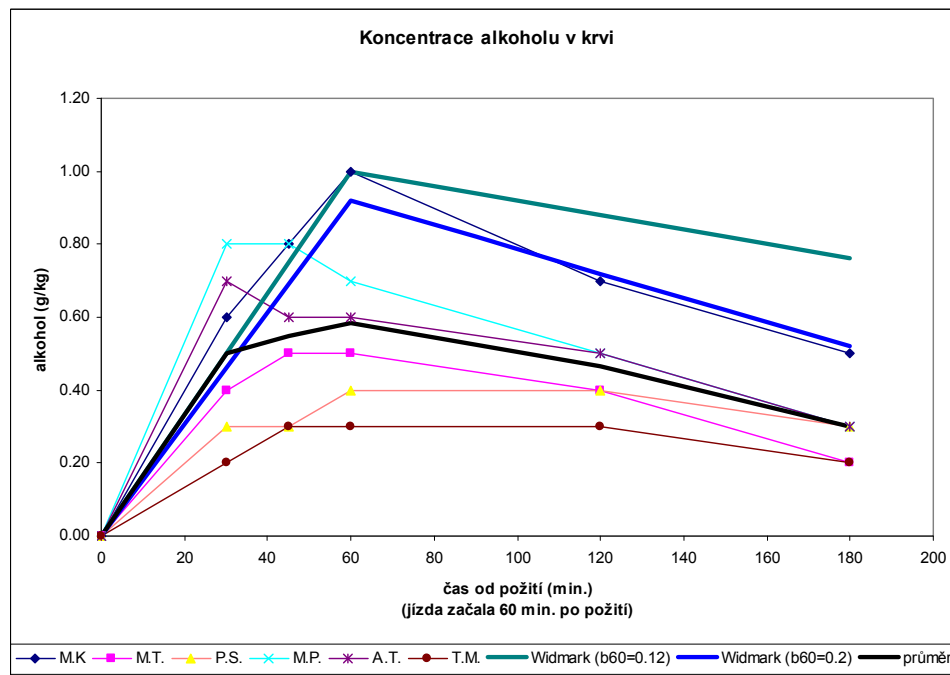
- Hematokrit
- Bilirubin
- ALT (alaninaminotransferáza)
- AST (aspartátaminotransferáza)
- CK
- Inzulin
- Laktát
- Glukóza

## 6. Výsledky

### 6.1. Alkohol

Obrázek 3 ukazuje dynamiku koncentrace alkoholu v krvi, tučná modrá a zelená křivka ukazují teoretické hodnoty, které jsme předpokládali na základě Widmarkova vzorce (viz vzorec 3), tučná černá křivka představuje průměrnou hodnotu všech probandů a ostatní křivky ukazují naměřené hodnoty jednotlivých probandů (viz legenda grafu).

Rozdíly mezi předpokládanými a naměřenými hodnotami jsou značné, zejména 60 minut po požití, tedy na začátku vlastní jízdy. **Počáteční tempo růstu koncentrace v průměru odpovídá předpokladu, rychlost odbourávání a časové umístění maximální dosažené hodnoty také, ale maximální koncentrace je podstatně nižší ( $\bar{x} = 0,58$  g/kg) než předpokládaná (1,0 g/kg).** Výsledky dokládají závislost koncentrace alkoholu na denní době a jsou zřejmě způsobené především rozdílnou náplní žaludku během testu.



Obrázek 3 – Skutečná (tenké čáry) a předpokládaná (tlusté čáry – modrá a zelená) koncentrace alkoholu v krvi. Černá křivka představuje průměr šesti probandů

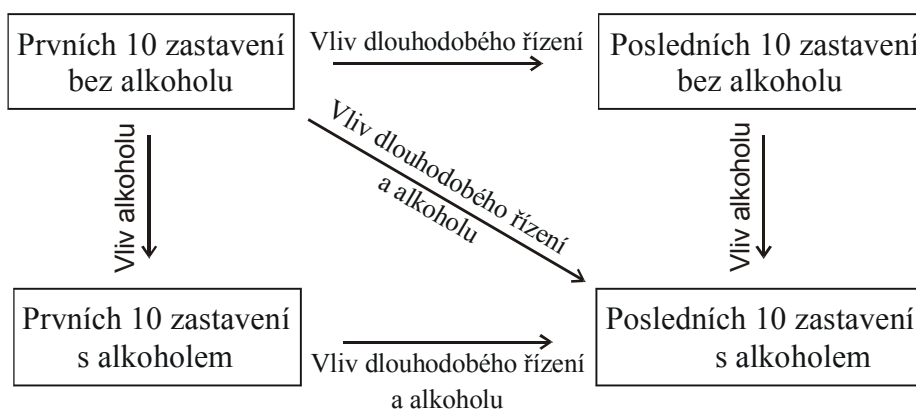
Maximální naměřená koncentrace alkoholu v krvi byla závislá na denní době, resp. na obsahu žaludku a ke konci testování se rozdíly oproti teoretickému předpokladu zmenšují.

## 6.2. Kinematická analýza

Abychom odlišili vliv dlouhodobého řízení na koordinaci pravé ruky od vlivu alkoholu, rozdělili jsme experiment do čtyř fází, které se jsme následně porovnávali mezi sebou. Jedná se o tyto fáze:

1. prvních deset zastavení na semaforu bez požití alkoholu (*prvních 10 bez, f10b*),
2. posledních deset zastavení na semaforu bez požití alkoholu (*posledních 10 bez, l10b*),
3. prvních deset zastavení na semaforu po požití alkoholu (*prvních 10 s, f10a*),
4. posledních deset zastavení na semaforu po požití alkoholu (*posledních 10 s, l10a*).

Jak ukazuje obrázek 4, předpokládáme, že rozdíly ve variabilitě mezi fází *prvních 10 zastavení bez alkoholu* a *posledních 10 zastavení bez alkoholu* ukazují spíše na vliv dlouhodobého řízení, obdobně rozdíly mezi fází *prvních 10 zastavení bez alkoholu* a *prvních 10 zastavení s alkoholem* ukazují na rozdíly způsobené vlivem alkoholu. Prvních (resp. posledních) deset zastavení představuje přibližně 20 minut jízdy. Při srovnávání jiných fází se jedná o kombinovaný vliv dlouhodobého řízení a alkoholu.



Obrázek 4 – Schéma podmínek testu

Počet pohybů ruky z volantu na řadící páku a zpět se u jednoho probanda v každé ze skupin pohyboval mezi 20 a 40.

### 6.2.1 Trajektorie a rychlost pohybu těžiště ruky

Pro hodnocení dat byly definovány čtyři klíčové uzlové body, které byly určeny z první derivace vzdálenosti těžiště ruky od řadící páky a následně manuálně opticky překontrolovány, jsou to:

- opuštění volantu,
- dotyk řadící páky,
- opuštění řadící páky,
- dotyk volantu.

Pro analýzu pohybů byla použita data od opuštění volantu po dotyk řadící páky a od opuštění páky po dotyk volantu. Ostatní pohyby (např. pohyb ruky na volantu) nebyly hodnoceny. Hodnotili jsme průměrnou vzdálenost a rychlost těžiště ruky vzhledem k řadící páce při pohybu ruky z volantu na řadící páku a zpět. Pohyb byl normalizován v čase, osa x tedy reprezentuje 100 % pohybového úkonu.

**Při vizuálním porovnání grafů jsme mezi jednotlivými fázemi experimentu nezjistili podstatné rozdíly.**

U těchto průměrných křivek jsme spočítali křížové korelace (bez posunu) pro všechny fáze experimentu podle vztahu (Stergiou, 2004):

$$\rho_{xy}(l) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x}) * (y_{i-l} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (y_{i-l} - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Výsledek křížových korelací ukazuje, že křivky jsou si velmi podobné a **z pohledu hodnocení křížových korelací lze křivky považovat za prakticky shodné** ve všech případech. Obdobným způsobem jsme spočítali křížové korelace pro rychlost pohybu těžiště pravé ruky. **I tyto křivky považovat za prakticky shodné.**

## 6.2.2 Plocha směrodatné odchylky

Průměrné křivky však mohou být identické a variabilita pohybu se může projevit ve velikosti směrodatné odchylky. Směrodatná odchylka vytváří jakési pásmo, které jsme nazvali *pásmem směrodatné odchylky*. Rozhodli jsme se spočítat velikost („plochu“) tohoto pásma ( $P$ ). Pro výpočet jsme použili následující vztah:

$$P = \sum_{i=1}^{n=101} (x_i + s_i) - \sum_{i=1}^{n=101} (x_i - s_i) \quad (9)$$

kde  $x_i$  je průměrná vzdálenost těžiště ruky od řadící páky v daném bodě křivky a  $s_i$  je odpovídající směrodatná odchylka.

Spočítali jsme velikost této plochy pro vzdálenost (resp. rychlost) ruky vzhledem k řadící páce jak pro pohyb směrem k řadící páce tak pro pohyb směrem k volantu ve čtyřech fázích experimentu. **Variabilita vyjádřená plochou směrodatné odchylky byla nejvyšší v prvních deseti zastaveních bez alkoholu.** Vysvětlením by mohl být probíhající proces učení se novému (respektive modifikovanému) pohybu. To by naznačovalo, že podmínky na simulátoru byly značně odlišné od běžného řízení auta v silničním provozu a že zácvik trvající 10–15 minut nebyl dostatečný. Dále se zdá, že **variabilita pohybu z volantu na řadící páku byla větší než zpět na volant.**

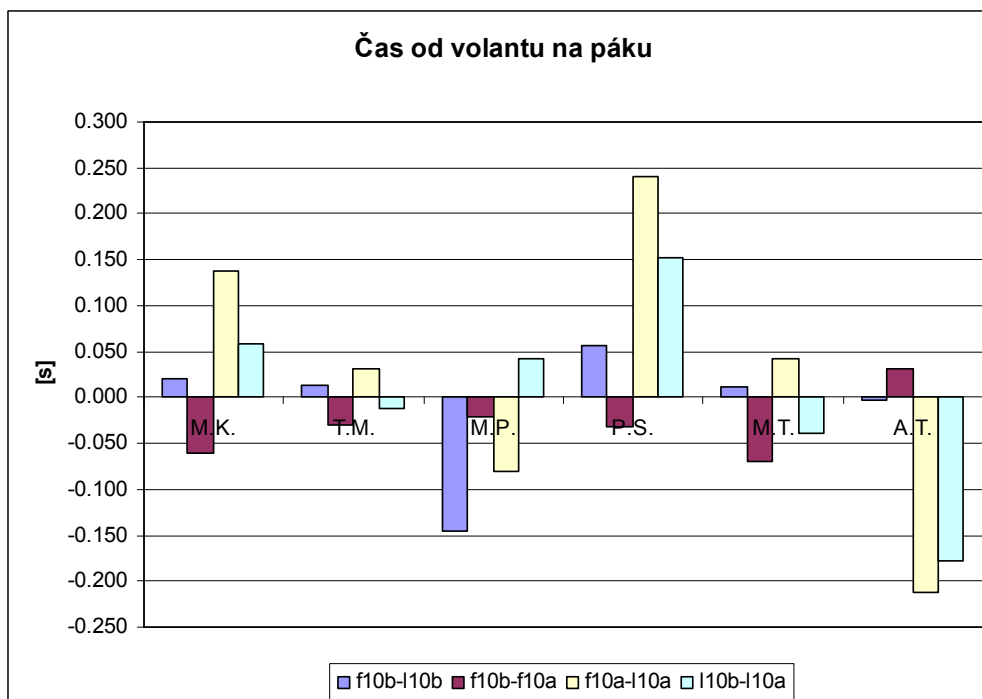
Pokud by platily hypotézy, měla by hodnota prvních 10 zastavení bez alkoholu ( $f10b$ ) být menší než posledních 10 zastavení bez alkoholu ( $l10b$ ) a prvních 10 zastavení bez alkoholu ( $f10b$ ) být menší než prvních 10 zastavení s alkoholem ( $f10a$ ), přičemž rozdíl mezi  $f10b-l10b$  (vliv dlouhodobosti) by měl být menší než  $f10b-f10a$  (vliv alkoholu). **Hypotéze odpovídá 33 % případů při hodnocení vzdálenosti a 29 % případů při hodnocení rychlosti.**

Ukazuje se, že reakce probandů byly značně individuální. Přestože nelze z tak malého souboru probandů učinit zobecňující závěry, **zdá se, že dlouhodobé řízení i alkohol mají na**

plochu směrodatné odchylky spíše opačný účinek, než jsme předpokládali, čili, že pod jejich vlivem variabilita klesá. Ovšem potvrzení takovýchto závěrů by si vyžadovalo další zkoumání.

### 6.2.3 Trvání pohybu ruky

Jako další parametr sledovali čas, který proband potřeboval k uskutečnění pohybu. Ukazuje se, že čas potřebný na přesun ruky z volantu na řadící páku se blíží času cca 0,4 sekundy. Ovšem je nutné brát v úvahu, že pohybová úloha nebyla limitována v čase. Lze předpokládat, že bude-li nutně pohyb vykonat za kratší čas, výrazně poroste jeho chybovost (Fitts, 1954). Ukazuje se, že rozdíly mohou být značné (až 0.24 sekund, neboli až 20 % trvání pohybu).



f10b = prvních deset zastavení bez alkoholu, l10b = posledních deset zastavení bez alkoholu,  
 f10a = prvních deset zastavení pod vlivem alkoholu, l10a = posledních deset zastavení pod vlivem alkoholu

Obrázek 5 – Rozdíl času pohybu z volantu na řadící páku

U pěti probandů jsme zjistili **statisticky významný rozdíl v prvních deseti zastaveních mezi stavem bez alkoholu a s alkoholem (f10b-f10a)**. U čtyřech z nich došlo k prodloužení času (přibližně o 0.04 s) a u jednoho ke zkrácení. Vliv dlouhodobého řízení na čas pohybu z volantu na řadící páku (f10b-l10b) se prokázal pouze u jednoho z nich, kde také došlo k významného.

Řešená pohybová úloha nevyžadovala provést pohyb v přesně definovaném čase, neboli proband měl relativně velkou možnost volby, jak rychle pohyb provést, aniž by to mělo vliv na vyřešení úlohy. Pokusíme-li se o určité zobecnění poznatků, **zdá se, že vliv alkoholu se projevil v prodloužení času pohybu z volantu na řadící páku, zatímco u dlouhodobého řízení se tento trend neprojevil.**

#### 6.2.4 Poloha těžiště ruky v okamžiku dotyku páky

Jako další parametr hodnotili variabilitu (přesnost) dohledání koncové polohy ruky při pohybu z volantů na řadící páky, tedy vzdálenost těžiště ruky od vrcholu řadící páky v okamžiku, kdy se ruka dotkne řadící páky. V opačném směru (pohyb z řadící páky na volant) jsme tento ukazatel nehodnotili, protože konečná poloha ruky při návratu na volant závisí na dopravní situaci (otočení volantů).

Abychom vyloučili chyby způsobené různým umístěním počátku globálního souřadného systému (protože není možné jej zcela přesně umístit do středu otáčení volantů), odečetli jsme polohu těžiště ruky od polohy vrcholu řadící páky. Dále uvedené hodnoty tudíž představují skutečnou vzdálenost těchto dvou bodů v osách globálního souřadného systému.

**Průměrné hodnoty i směrodatná odchylka se nijak významně neliší**, ovšem průměr nemusí být rozhodujícím ukazatelem. Pokud by se pod vlivem alkoholu nebo dlouhodobého řízení častěji objevovaly významné chyby v dohledání řadící páky, mohlo by to znamenat značné riziko z hlediska bezpečnosti silničního provozu. Tabulka 2 ukazuje rozdíl minimální a maximální naměřené polohy ruky v okamžiku dotyku řadící páky v osách souřadného systému. Je zřejmé, že **maximální variabilita se pohybuje od 0,043 m v ose X po 0,070 m v ose Y**. V ose X je přibližně poloviční než v osách Y a Z. Vysvětlení může být ve tvaru ruky a řešené úloze. Zatímco v ose Y lze změnu převodového stupně provést proximálním koncem dlaně stejně jako konečky prstů (čili v rozsahu cca 15 cm), šířka ruky je přibližně 8 cm a tudíž přesnost v ose X musí být vyšší.

Proband	Osa x [m]	Osa y [m]	Osa z [m]
MK	0.018	0.034	0.047
TM	0.024	0.033	<b>0.069</b>
MP	0.009	0.032	0.017
PS	0.028	0.018	0.033
MT	<b>0.043</b>	0.050	0.063
AT	0.007	<b>0.070</b>	0.016

Tabulka 2 – Rozdíl minima a maxima polohy ruky vzhledem k řadící páce

Pokud by ruka minula řadící páku, mohlo by to, při souhře událostí, představovat vážný problém v pohledu bezpečnosti silničního provozu. Domníváme se, že naměřená variabilita od 0,007 do 0,07 m nepředstavuje vážné nebezpečí z pohledu bezpečného řešení pohybové úlohy (změny převodového stupně), protože velikost hlavice řadící páky a velikost ruky včetně prstů umožňují značně velké rozdíly v konečné poloze pohybu bez rizika, že by ruka mohla řadící páku minout. Odhadujeme, že za hraniční lze považovat hodnoty okolo 0,05 m v ose X a 0,10 m v ose Y a Z. Lze předpokládat, že variabilita by se zvyšovala, pokud by testovaná osoba musela úkol řešit v omezeném čase (co nejrychleji) eventuálně v kombinaci s dalšími faktory (např. alkoholem). V takovém případě by se pravděpodobně zvyšoval počet chyb (čestnost minutí páky), ovšem takové případy jsme nezaznamenali.

Tento trend by mohl být zřejmý pokud by dlouhodobé řízení resp. alkohol vedly ke zvětšení variability dohledání koncové polohy ruky na řadící páce. Proto jsme porovnali velikost směrodatné odchylky, ale **neobjevili žádný jednoznačný trend**.

Tabulka 3 ukazuje rozdíly ve velikosti směrodatné odchylky polohy ruky vzhledem k řadící páce v různých fázích experimentu. Pokud by platila hypotéza, měla by se variabilita vlivem dlouhodobého řízení (*f10b-110b*) i vlivem alkoholu (*f10b-f10a*) zvětšovat. **Zeleně**



označené hodnoty odpovídají tomuto předpokladu (44,4 %), červené jsou s ním v rozporu.

Proband	Osa X [m]		Osa Y [m]		Osa Z [m]	
	f10b-l10b	f10b-f10a	f10b-l10b	f10b-f10a	f10b-l10b	f10b-f10a
MK	0.0012	-0.0006	0.0036	-0.0028	0.0019	-0.0036
TM	0.0030	0.0008	-0.0030	-0.0002	0.0010	-0.0037
MP	0.0015	0.0012	0.0087	0.0089	0.0028	0.0026
PS	0.0019	-0.0032	0.0026	0.0007	-0.0010	-0.0028
MT	-0.0092	-0.0022	-0.0052	-0.0015	-0.0054	-0.0019
AT	-0.0002	0.0019	0.0134	0.0109	0.0033	0.0014

Tabulka 3 – Rozdíly směrodatné odchytky polohy těžiště ruky v okamžiku dotyku páky v osách globálního souřadného systému (zelená pole ukazují rozdíl větší než 5 % v souladu s předpokladem, červená ukazují rozdíl větší než 5 % v rozporu z předpokladem, bílá pole ukazují rozdíl menší než 5 %.)

## 6.2.5 Shrnutí

Na vzdálenosti ani rychlosti těžiště ruky vzhledem k řadící páce se vliv dlouhodobosti ani alkoholu neprojevil. Plocha směrodatné odchytky měla v průběhu fází experimentu postupně klesající tendenci, což je v rozporu s předpoklady a by mohlo naznačovat pokračující proces učení se novému pohybu. Zdá se, že vliv alkoholu se projevil v prodloužení času pohybu z volantů na řadící páku, zatímco u dlouhodobého řízení se tento trend neprojevil. Přestože variabilita dohledání koncové polohy ruky na řadící páce byla značná, neprokázal se jednoznačný vliv dlouhodobosti či alkoholu. Domníváme se, že zjištěná variabilita nepředstavuje problém pro řešení pohybového úkolu (změnu převodového stupně). Na druhou stranu se lze domnívat, že v případě potřeby provést pohyb maximální rychlostí v co nejkratším čase, by se zvyšovala pravděpodobnost, že řidič v klíčovém okamžiku páku mine a tím se prodlouží jeho reakce na vzniklou dopravní situaci.

## 6.3. Ovládání simulátoru

### 6.3.1 Reakční čas na červené světlo semaforu

Předpokládali jsme, že by se měl vliv alkoholu či dlouhodobého řízení projevit prodloužením času reakce na červené světlo semaforu. Proto jsme změřili čas od okamžiku rozsvícení červeného světla do okamžiku, kdy noha zcela uvolní plynový pedál. U každého z probandů jsme zaznamenali situaci, kdy reagoval viditelně opožděně na červené světlo. V několika případech došlo i k pozdnímu brzdění, takže proband zastavil až za semaforem. V jednom případě proband červené světlo nezaregistroval a vůbec nezastavil.

**Reakční čas se pohyboval od 0,375 sec. až po 2,391 sec. a z hodnot vyplývá, že vozidlo nezačne zpomalovat dříve než za cca 0,4 sec, ovšem naměřili jsme i časy delší než 2 sekundy, což při rychlosti 90 km/h představuje více než 50 metrů!**

Tabulka 4 ukazuje počet reakčních časů delší než 1,5 sekundy a jejich procentuální výskyt v obou jízdách. Hodnota 1,5 s odpovídá přibližně trojnásobku směrodatné odchytky a pokládáme ji za hranici (z hlediska odpovídající rychlosti reakce na jednoduchý vizuální

podnět), při níž je již evidentní, že řidič tzv. „zaspal“. **Podle našich měření k takovéto situaci dochází v jednom procentu případů a častěji!**

Proband	MK	TM	MP	PS	MT	AT
n pro čas > 1.5 s	1	0	1	1	7	2
% případů	2.94	0.00	0.94	0.95	7.00	1.86

Tabulka 4 – Četnost výskytu reakčního času delšího než 1,5 sec

Reakční čas v průběhu celé jízdy neukazuje **žádný jednoznačný vliv dlouhodobého řízení nebo řízení pod vlivem alkoholu na reakční čas.**

U **pěti probandů došlo k prodloužení reakční doby, ovšem statisticky významné byly tyto rozdíly pouze u jednoho z nich.** U jednoho z probandů došlo k významnému zrychlení rychlosti reakce (o 0,196 sec.) což je dáno tím, že jsme u něj během jízdy první den sedmkrát naměřili reakční čas delší než 1,5 sec a druhý den žádný. Vysvětlení pro takový rozdíl v jízdě bez alkoholu a s alkoholem u tohoto probanda nemáme.

**Dva probandi vykázali významné rozdíly v reakčním čase jízdy bez alkoholu a pod jeho vlivem v průběhu celé jízdy (MP a MT), u jednoho z nich došlo ke zkrácení reakčního času u druhého k prodloužení.** Předpokládali jsme, že by se vliv alkoholu mohl projevit spíše na začátku jízdy, proto jsme porovnali i prvních 20 zastavení. **Tento předpoklad se prokázal pouze u jednoho z probandů (TM).**

Proband	Celá jízda	Prvních 20 zastavení
MK	0.802	0.384
TM	0.608	<b>0.044</b>
MP	<b>0.021</b>	0.748
PS	0.350	0.153
MT	<b>0.012</b>	0.147
AT	0.235	0.087

Tabulka 5 – Kritická hodnota statistické významnosti pro rozdíly reakčního času na červené světlo při jízdě bez alkoholu a po požití alkoholu,  $p < 0,05$  označeno červeně)

**Nepodařilo se nám prokázat vliv dlouhodobého řízení ani alkoholu na reakční čas.** Alarmujícím zjištěním je fakt, že relativně často (v 1 % případů i častěji) dochází k velmi opožděné reakci na červené světlo.

### 6.3.2 Pohyby volantu

Předpokládali jsme, že dlouhodobé řízení či alkohol se projeví v pohybech volantu. U **všech probandů došlo pod vlivem alkoholu ke zmenšení směrodatné odchylky pohybů volantu,** čili, že volantem pod vlivem alkoholu pohybovali méně. U dvou osob bylo zmenšení pohybů volantu o více než 10 %. Pod vlivem alkoholu se variabilita pohybů volantu zmenšila, ale méně než o 0,7°.

Provedli jsme Fourierovu transformaci pohybů volantu a porovnali prvních a posledních 20 minut jízdy. **Vizuálním hodnocením Fourierovi transformace jsme nezjistili žádné rozdíly mezi pohyby volantu při dlouhodobém řízení a při řízení pod vlivem alkoholu.**

### 6.3.3 Čas na jedno kolo

Z literatury vyplývá, že alkohol vede k rychlejší jízdě (Linnoila, Mattila, 1975; Harrison, Fillmore, 2005). Analyzovali jsme čas potřebný na ujetí jednoho kola a **u všech osob došlo pod vlivem alkoholu ke zkrácení času na jeden okruh, u čtyřech z nich bylo toto zkrácení statisticky významné** (viz tabulka 6).

Proband	MK	TM	MP	PS	MT	AT
p	0.002	0.002	0.025	0.009	0.281	0.430

Tabulka 6 – Kritická hladina statistické významnosti ( $p$ ) času na jednoho kolo bez alkoholu a pod vlivem alkoholu ( $p < 0.05$  označeno červeně)

### 6.3.4 Shrnutí

Překvapivým zjištěním je fakt, že **poměrně často docházelo ke zjevně opožděné reakci na červené světlo** (u jednoho z probandů dokonce v sedmi procentech případů), ale **nepodařilo se vysledovat vliv dlouhodobého řízení ani alkoholu na tento ukazatel. U pohybů volantu jsme naměřili zmenšení rozsahu pod vlivem alkoholu, ale neobjevili jsme žádné změny ve frekvenční analýze pohybů.** Dále se ukázalo, že **všichni probandi jezdili pod vlivem alkoholu rychleji.**

## 6.4. Tracking task

Pohyb kurzoru a pohyb cíle v čase vytvoří dvě křivky, které by při nulové chybovosti měly být identické, ve skutečnosti se však vždy liší. Právě z odlišnosti obou křivek lze usuzovat na progresi psychomotorických funkcí probanda v závislosti na jeho okamžitém stavu (v našem případě únavě a množství alkoholu v krvi). Míru odlišnosti křivek lze objektivně hodnotit výpočtem řady různých parametrů jak v časové, tak ve frekvenční závislosti proměnné, jelikož obě křivky jsou vysoce harmonického charakteru. My jsme, pro větší objektivitu hodnocení, použili čtyři nezávislé parametry – korelační koeficient křivek, časový posun křivek, průměrnou velikost absolutní chyby polohy v jednotlivých časových okamžicích a hodnoty výkonového spektra pro jednotlivé realizované frekvence.

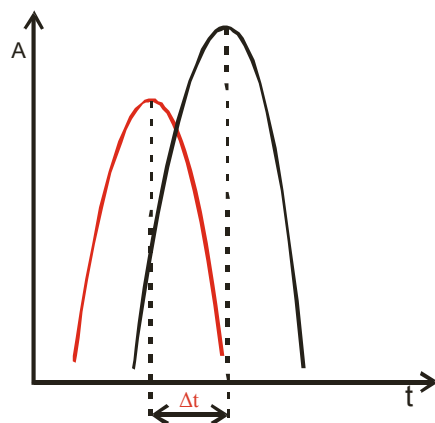
### 6.4.1 Korelační koeficient

Korelační koeficient křížových korelací udává míru lineární závislosti sledovací a stíhací křivky bez ohledu na absolutní hodnoty proměnných a jejich polohy v ose Y. Výpočtově jednoduchý parametr udává schopnost probanda kopírovat trajektorii cíle, potažmo tedy reakční čas na změnu směru jeho pohybu.

Vliv dlouhodobého řízení či alkoholu by se měl podle hypotéz projevit ve zvětšení variability pohybu kurzoru, v tomto případě snížením korelačního koeficientu. Odečteme-li odpovídající koeficienty a za významné budeme považovat změny větší než 5 %, zjistíme, že **vliv dlouhodobé jízdy se na řešení úlohy neprojevil a vliv alkoholu se ukázal u jednoho z probandů.**

### 6.4.2 Časový posun

Proband vždy sleduje pohyb cíle s určitým zpožděním. Toto zpoždění jsme nazvali časový posun a vypočetli jej jako průměrnou vzdálenost odpovídajících si vrcholů autokorelační a kroskorelační funkce na časové ose, viz obrázek 6. Parametr je uveden v sekundách a dal by se interpretovat jako průměrný reakční čas probanda na změnu pohybu cíle.



Obrázek 6 – Schématické znázornění cíle časového posunu pohybů a kurzoru ( $\Delta t$  = časový posun)

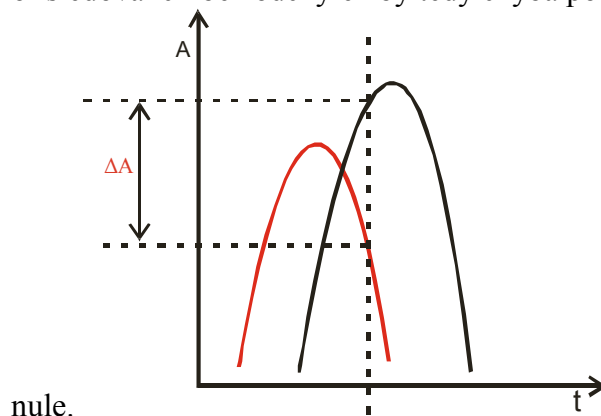
Hypotézám by odpovídal stav, kdy bychom po skončení jízdy a pod vlivem alkoholu naměřili větší časový posun. Pokud tedy odečteme hodnoty časového posunu v jednotlivých fázích, zjistíme, že tomuto předpokladu odpovídá pouze malá část případů (20,8 %).

Zdá se tedy, že **dlouhodobé řízení i alkohol vedly spíše ke zmenšení časového posunu**. Vysvětlením může být pokračující proces učení, protože průměrný časový posun byl největší první den před jízdou. Zajímavé je, že po jízdě (bez alkoholu i s alkoholem) se časový posun zpravidla snižoval.

### 6.4.3 Chyba polohy kurzoru

Chybu polohy kurzoru jsme měřili jako absolutní rozdíl ve velikosti amplitudy obou křivek v jednotlivých časových okamžicích daných vzorkovací frekvencí snímání. (obrázek 7).

Parametr ukazuje schopnost probanda zaměřit a udržet polohu sledovaného cíle. V ideálním případě, pokud by kurzor sledoval cíl bez odchylek by tedy chyba polohy kurzoru byla rovna

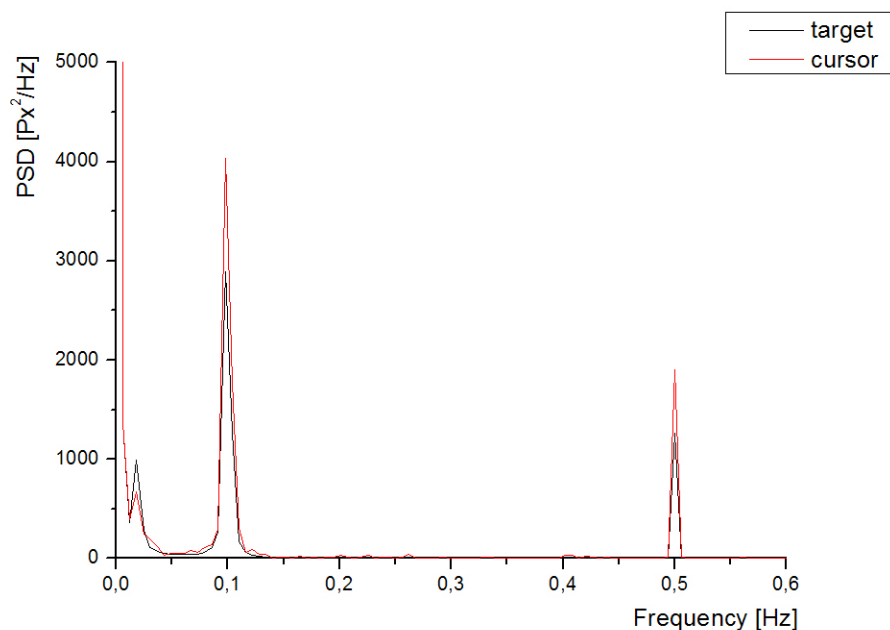


Obrázek 7 – Schématické znázornění (detail obrázku 31) chyby polohy vertikálních pohybů cíle a kurzoru v čase  $t$  ( $\Delta A$  = chyba polohy kurzoru)

Spočítali jsme průměrnou hodnotu absolutní chyby ve čtyřech fázích experimentu a vzájemně je porovnali podobně jako časový posun. Také u absolutní chyby se ukázalo, že rozdíly jsou skoro ve všech případech statisticky významné, ovšem **z naměřených údajů nelze vysledovat žádné tendence**.

#### 6.4.4 Výkonové spektrum

Předpokládali jsme, že rozdíly v naměřených křivkách by se mohly projevit i ve frekvenční závislosti (frekvenční posun, fázový posun, výskyt specifických frekvencí, amplitudová charakteristika, atd.). Převod do frekvenční závislosti byl realizován rychlou numerickou Fourierovou transformací v programu OriginPro. K našemu překvapení se v pohybu kurzoru u žádného měření **nevyskytly jiné frekvence než u zadaného pohybu cíle**, ba **nedošlo ani k žádnému frekvenčnímu posunu**. **Žádnou zákonitost jsem neprokázali ani ve fázovém posunu**. Jediné změny byly patrné v hodnotách amplitud na jednotlivých realizovaných frekvencích. Pro zvýraznění rozdílů a odstranění šumu jsme pro porovnávání použili velikosti výkonových spekter na daných frekvencích 0,025; 0,1 a 0,5.



Obrázek 8 – Příklad hustoty výkonového spektra jednoho z probandů při porovnání pohybů cíle (target) a kurzoru (cursor)

#### 6.4.5 Shrnutí

U jedné osoby jsme naměřili snížení korelačního koeficientu křížových korelací pod vlivem alkoholu. Časový posun pohybů kurzoru vůči cíli vykázal trend postupného zkracování času, což neodpovídá předpokladu a bylo by možné je vysvětlit pokračujícím procesem učení. **Velikost absolutní chyby neukázala žádné jednoznačné tendence**. Zajímavé je, že rozdíly v časovém posunu i v absolutní chybě byly skoro ve všech porovnávaných případech statisticky významné. **Ve výkonovém spektru jsme pod vlivem dlouhodobého řízení ani alkoholu neobjevili žádné další frekvence**.

## 6.5. Dynamika vnitřního prostředí organismu

Pro orientační posouzení vlivu dlouhodobé řízení a alkoholu na vnitřní prostředí organismu byla sledována dynamika vybraných biochemických parametrů bezprostředně před začátkem jízdy, po jedné hodině a po dojetí.

Vliv dlouhodobého řízení by se měl projevit v dynamice biochemických hodnot získaných v průběhu jízdy. Přestože u některých parametrů (např. inzulin) byly zjištěny značné změny, lze je považovat za oscilace v rámci normálního fyziologického rozpětí.

Obdobně by se měl vliv alkoholu projevit porovnáním jízdy bez alkoholu a pod vlivem alkoholu. Také v tomto případě jsme zjistili u některých parametrů (např. bilirubin) významné změny, které ovšem věcně lze považovat za běžnou dynamiku v referenčním pásmu.

Přestože u některých parametrů došlo ke statisticky významným změnám, žádný parametr se nevychýlil z referenčních hodnot (s výjimkou glykémie u probandů MP, který trpí hyperglykemií). **Dynamika biochemických ukazatelů tak odpovídá normální oscilaci v běžném fyziologickém rozpětí** a dvouhodinové řízení motorového vozidla, a to ani pod vlivem alkoholu, se na těchto parametrech neprojevovalo a lze tedy předpokládat, že **nedošlo k měřitelnému zvýšení fyzické zátěže**.

## 7. Diskuse

Protože naše práce byla zaměřena především metodologicky a metrologicky, pokusíme se v rámci diskuze kromě komentáře výsledků upozornit také na problémové oblasti, které při experimentu vyvstaly a navrhnout další možné směřování výzkumu.

Pro zobecnění poznatků na širší populaci byl výzkumný soubor příliš malý. K omezení počtu probandů na šest nás vedly především organizační důvody, protože simulátor je značně vytížen a testování, které by blokovalo simulátor na delší dobu, nebylo možné.

### 7.1. Alkohol

Přestože výpočet koncentrace alkoholu vychází ze Skript soudního lékařství (Štefan, Hladík, 1998; Štefan, Hladík, Adámek, 2003), námi naměřené maximální koncentrace se značně odlišují od očekávaných.

Na individuální reakci orálně podávaného alkoholu upozorňuje např. Rohrbaugh a kol. (1988) a Grant a kol. (2000), který doporučuje intravenózní podávání. Jejich poznatky odpovídají i našim zjištěním a proto doporučujeme pro případný opakovaný experiment intravenózní podávání alkoholu, testovat všechny osoby ve stejnou denní dobu, nejlépe po ránu a před experimentem důsledně kontrolovat stravovací a pitný režim.

Ideström a Cadenius (1968) naměřili nejvyšší zhoršení motorických funkcí 30–60 minut po požití alkoholu, dvě hodiny po požití bylo již jen minimální. Proto jsme očekávali výrazný vliv alkoholu na variabilitu pohybu ruky a na řízení vozidla. Z našeho experimentu takové jednoznačné závěry nevyplývají. **Ukázalo se, že reakce probandů byly značně individuální, u některých jedinců došlo ve vybraných parametrech i ke zlepšení.**

V souladu s literaturou (Linnoila, Mattila, 1975; Harrison, Fillmore, 2005) se ukázalo, že všichni probandi jezdili pod vlivem alkoholu rychleji (u všech jsme naměřili kratší čas na jedno kolo). U čtyřech z nich bylo toto zrychlení statisticky významné.

## 7.2. Řízení vozidla

Ting a kol. (2008) ukázal, že 80 minut nepřerušovaného řízení simulátoru v monotónních podmínkách dálničního provozu vede ke zpomalení rychlosti reakce a považuje tuto hodnotu za hraniční pro bezpečné řízení. Naše výsledky k takto jednoznačným zjištěním nevedou, odpovídají spíše zjištěním Philipa (2005), který nezjistil žádné významné zhoršení výkonu u řádně vyspalých osob ani při jízdě trvající 1000 km (se čtyřmi krátkými přestávkami). Obdobně také v našem experimentu **žádný sledovaný parametr nevykázal jednoznačné zvětšení variability během dvouhodinové jízdy.**

V literatuře lze nalézt řadu experimentů sledujících vliv různých faktorů na řízení vozidla. Dle publikovaných studií již relativně malá dávka alkoholu (do 1 g/kg) negativně ovlivní řízení vozidla a projeví se vyšší mírou kličkování v jízdním pruhu (Vakulin a kol., 2007; Harrison, Fillmore, 2005; Linnoila a Mattila, 1975; Arnedt a kol. (2001), zpomaleným reakčním časem (Zhang a kol., 2007; Vakulin a kol., 2007) a zanedbáváním pravidel silničního provozu, především rychlejší jízdou (Vakulin a kol., 2007; Linnoila a Mattila, 1975).

Naše výsledky k takto jednoznačným závěrům nevedou. Nezjistili jsme, že by řidiči pod vlivem alkoholu reagovali pomaleji na červené světlo semaforu ani nepohybovali více volantem, naopak naměřili jsme zmenšení variability pohybů volantu pod vlivem alkoholu (u dvou osob o více než 10 %). Přestože se ukázalo, že všichni probandi pod vlivem alkoholu jezdili rychleji, vysvětlení může být i v postupném naučení se jízdě v simulátoru a lepší znalosti virtuální trati. Délka trati byla cca 7,5 km, každý proband tedy absolvoval stejný okruh více než dvacetkrát za den a více než čtyřicetkrát během celého dvoudenního testování a lze tedy předpokládat detailní znalost okruhu ke konci testu. Pro případné opakování experimentu by bylo vhodné zvolit delší okruh, na kterém by se zapamatovatelnost omezila.

Přestože jsme se snažili červené světlo semaforu používat náhodně (v intervalu 60–150 sec.), testované osoby uváděly, že si tento fakt uvědomovaly a v únavě (po rozjetí a dosažení rychlosti 90 km/h) vědomě uvolňovaly svou pozornost, protože bylo zřejmé, že mají krátký časový interval, kdy nebude vyžadována maximální pozornost. Pochopitelně v normálním silničním provozu, by takové chování bylo značně rizikové. U dvou osob jsme okolo devadesáté minuty jízdy pod vlivem alkoholu pozorovali mikrosnávkové stavy.

Simulátor byl vybaven řazením typu TipTronic. Protože žádný z probandů toto řazení normálně nepoužívá, bylo zřejmé, že probandi potřebovali určitý čas na přivyknutí ovládání simulátoru. Zejména se jako složité ukázalo nutit probanda po každé změně převodového stupně vracet ruku zpět na volant, což je sice obecně doporučený způsob řízení, ale v běžném provozu ne zcela obvyklý. Řazení TipTronic bylo sice výhodou z pohledu stálé polohy hlavice řadicí páky v prostoru (vzhledem k souřadnému systému, k řidiči a dalším ovládacím prvkům vozidla), ale protože simulátor měl v době testování drobnou konstrukční vadu, která způsobovala občasně přeřazení o dva rychlostní stupně najednou, bylo zřejmé že řazení nebylo zcela standardním pohybovým úkonem, na který byli probandi zvyklí a vyžadovalo vyšší míru vědomé koncentrace na pohyb a důslednější volní kontrolu.

## 7.3. Pohyb ruky v simulátoru

V literatuře jsme našli jen velmi málo informací k variabilitě pohybů člověka v podmínkách řízení motorového vozidla a vlivu dalších faktorů na tuto variabilitu. Našli jsme několik prací sledujících časové charakteristiky pohybu nohou při ovládání pedálů

(Cantin a kol., 2004; Zhang a kol. (2007), ale prostorová kinematická analýza pohybů paží v kokpitu vozidla není v literatuře prozatím zdokumentována. Nemůžeme tedy naše zjištění porovnat s poznatky jiných výzkumníků.

Ukázalo se, že plocha směrodatné odchylky byla největší v prvních deseti zastavení bez alkoholu. To by se dalo vysvětlit pokračujícím procesem učení se novému pohybu a znamenalo by to prodloužit čas závěru na simulátoru.

Pohyb ruky je do značné míry podobný testům typu „reach-to-grasp“ s tím rozdílem, že výchozí poloha pohybu (na volantu) není přesně definována, protože ruka opouští volant a vrací se zpět v různých polohách otáčení volantu. Ovšem opačný konec pohybu se nachází stále ve stejném místě. Poloha ruky v okamžiku dotyku řadící páky vykazovala značné odchylky (až 7 cm), ale z pohledu splnění pohybového úkolu (změny převodového stupně) jsou takovéto odchylky ještě přijatelné a neovlivní schopnost spolehlivě měnit převodové stupně ani bezpečnost silničního provozu. Otázkou je, jak by se přesnost koncové polohy změnila při pohybu maximální rychlostí (odpovídajícímu řešení krizové dopravní situace). Navíc hlavice řadící páky byla poměrně veliká (oválného tvaru o rozměrech 3 x 6 cm), hlavici lze uchopit prsty nebo dlaní, takže radius, kdy je ruka a hlavice v takové poloze, aby bylo možné úspěšně provést pohybový úkon je značný. Protože jsme nezaznamenali případ, kdy by proband řadící páku minul, předpokládáme, že naměřená variabilita koncové polohy pohybu byla menší než hodnota kritická. **Odhadujeme, že za kritickou mez lze považovat přibližně 5 cm v ose X a 10 cm v osách Y a Z.**

Z ústních sdělení vyplývá, že chyby v řazení převodových stupňů mohou způsobit takový pokles výkonu motoru, že to ve sportovním motorismu znamená propad v pořadí o několik míst. Lze se domnívat, že obdobně, i když v menším rozsahu, mají podobné řidičské chyby důsledky i v běžném silničním provozu, kde špatné řazení způsobí neočekávaný pokles výkonu motoru (v případě přeřazení na špatný rychlostní stupeň), případně prodlouží interval, kdy výkon motoru není využíván (nezařazení žádného stupně a sešlápnutí plynového pedálu „na prázdno“), může v rozhodujícím kritickém okamžiku představovat zpomalení dopředného pohybu auta o několik metrů, čímž se vytvářejí podmínky pro zhoršení plynulosti dopravy, dopravní kongesce a potencionálně nebezpečné dopravní situace.

Již roku 1954 formuloval Paul M. Fitts tzv. Fittsův zákon, který zní: „Čas potřebný k dosažení cíle je funkcí podílu vzdálenosti a velikosti cíle“. Lze tedy předpokládat, že čím vyšší bude rychlost pohybu, tím vyšší budou i nepřesnosti v jeho provedení. V případech, kdy není trvání pohybu, jeho rychlost, trajektorie ani přesní dohledání koncové polohy pohybu kritickým parametrem úspěšného vyřešení pohybového úkolu, není řidič nucen důsledně kontrolovat provedení pohybu, a proto má značnou „svobodu volby“ různých způsobů řešení pohybové úlohy. Tím je možné vysvětlit nejednoznačnost výsledků. Ovšem při řízení vozidla nastávají situace, kdy rozhodujícím faktorem může být rychlá změna převodového stupně. Proto by bylo vhodné případný následující experiment sestavit tak, aby řidič byl nucen řešit pohybový úkon v kritické situaci, kdy je rychlé a úspěšné zvládnutí pohybu nutnou podmínkou vyřešení komplexnější úlohy vyšší řádu (např. vyhnutí se překážce na silnici, maximální zrychlení, apod.).

Zdá se, že jeho variabilita není příliš ovlivněna dlouhodobým opakováním, a to ani v kombinaci s intoxikací alkoholem. Vysvětlením může být fakt, že sledovaný pohyb je velmi jednoduchý, odehrává se v ergonomickém prostředí a navíc je mnohočetným opakováním silně automatizován. U námi testovaným osob v řadě případů sice došlo ke statisticky významným změnám, ovšem **nelze vysledovat jednoznačné, hypotézy potvrzující, trendy.** Přestože rozdíly byly v některých případech statisticky významné, domníváme se, že věcně významné byly jen vyjímečně (koncová poloha ruky, reakční čas na červené světlo).



Vysvětlením nejednoznačnosti výsledků může být fakt, že úspěšné vyřešení pohybového úkolu (pohyb ruku z volantu na řadící páku, změna převodového stupně a pohyb ruky zpět na volant) se odehrává ve značně standardních podmínkách ergonomicky vyladěného prostředí kokpitu osobního automobilu. Podmínky testování navíc byly takové, že řidič nebyl nucen pohyb řešit v krizové situaci. Lze tedy prohlásit, že dvouhodinové řízení není dostatečně dlouhá doba, aby se na řízení pohybu projevila monotonie. Navíc reakce organismu na alkohol je značně individuální, protože alkohol může působit stimulačně i inhibičně.

#### **7.4. Tracking task**

Dlouhodobé měření výkonu v tracking tasku (30 minut) nevykazuje jednoznačné souborné charakteristiky (Prouza, 2007). Naše měření jsou s těmito poznatky v souladu, protože opakovaně realizovaný tracking task (bez alkoholu ani pod jeho vlivem) po dvouhodinovém řízení vozidla také neukázal žádné jednoznačné tendence.

Literatura poskytuje značně nejednoznačný pohled na vliv alkoholu na výkon ve stíhací úloze. Přestože většina publikací potvrzuje zhoršení výkonu v tracking tasku vlivem alkoholu (např. Dalrymple, 2003; Landauer, 1990), někteří autoři (např. Maylor a kol. 1990) tvrdí opak. Stejně tak i naše zjištění jsou nejednoznačná a bylo by nutné zjištěné poznatky ověřit na větším testovaném souboru.

Testované osoby tvrdily, že pohyby cíle byly po určité době částečně predikovatelné, takže lze předpokládat, že výsledky byly tímto faktem ovlivněny. Tuto skutečnost by mohly potvrzovat i hodnoty časového posunu, kde jsme v průběhu testování naměřili postupné zkrácování času zpoždění kurzoru proti cíli.

#### **7.5. Vnitřní prostředí**

Dlouhodobé řízení v náročných podmínkách (24 hodin jízdy soutěžního charakteru) má vliv na vnitřní prostředí organismu (Tsopanakis, 1998). Naše zjištění ukazují, že dvouhodinové řízení v klidných podmínkách ke změnám ve vnitřním prostředí nevede. Zdá se, že k tomu, aby se dlouhodobé řízení projevilo významnou změnou ve vnitřním prostředí by bylo zapotřebí značně delšího a náročnějšího řízení sportovního charakteru, případně v obtížných klimatických podmínkách (horko, vysoká vzdušná vlhkost).

Důležitým biochemickým ukazatelem ovlivňujícím výkon řidiče může být glykémie (Cheyne a kol., 2004). Graveling, Warren, Frier (2004) konstatují, že ke zhoršení řídičských schopností dochází již při poklesu glykémie pod 4 mmol/l. V našem případě žádný z probandů neměl hodnoty glykémie nižší než 4 mmol/l., lze tedy předpokládat, že řídičský výkon probandů nebyl hypoglykemií negativně ovlivněn.

Vybrané biochemické parametry neukázaly žádný trend. Lze předpokládat, že vliv řízení v trvání dvou hodin a alkoholu v koncentraci nižší než 1,0 g/kg byl tak nízký, že jej všichni probandi dokázali kompenzovat v rámci normálního fyziologického rozpětí měřených parametrů.

Všechny sledované biochemické parametry (s výjimkou glukózy u MP, kde byla zjištěna patologicky vysoká hodnota) se v průběhu testování pohybovaly v mezích normy, dynamika měřených parametrů vykazuje pouze normální oscilace a absolvované zatížení lze z tohoto hlediska hodnotit jako velmi nízké (klidové). Statisticky významné rozdíly (jako pokles bilirubinu pod vlivem alkoholu nebo insulinu v průběhu jízdy) lze tedy považovat za běžné oscilace, nezpůsobené řízením vozidla či alkoholem. Konstatujeme tedy, že

**dvouhodinové řízení ani v kombinaci s mírnou alkoholovou intoxikací nemá vliv na sledované biochemické parametry.**

## 7.6. Aplikační doporučení

Je zřejmé, že pro vyšší standardizaci podmínek testování by bylo nutné test provádět u všech probandů ve stejnou denní dobu (nejlépe ráno) a se stejnou náplní žaludku. Podle ústního sdělení zaměstnanců LSS, kteří s testováním pod vlivem alkoholu na předemném simulátoru mají také zkušenosti, koncentrace alkoholu ve výši okolo 2 g/kg již ve zvýšené míře způsobuje žaludeční nevolnosti a tím komplikuje měření.

Nikdo z probandů nepřiznal, že by mu jízda vyvolala žaludeční nevolnost způsobenou změněným vnímání a absencí setrvačné a odstředivé síly, a to ani ve střízlivém stavu ani pod vlivem alkoholu. Problémy s nucením na zvracení přiznala pouze osoba při předexperimentu (první den testování), kdy jsme test pro nevolnost předčasně ukončili po jedné hodině a čtyřiceti sedmi minutách. Osoba, u níž jsme na počátku jízdy naměřili 1,0 g/kg přiznala nevolnost následně cca 1–2 hodiny po dojetí. Lze předpokládat, že koncentrace alkoholu převyšující 1,0 g/kg by vyvolaly nevolnost u více probandů.

Při jízdě v simulátoru si je testovaná osoba, i přes značně reálné podmínky, vždy vědoma faktu, že případné chyby v řízení nemají žádné následky (nehoda, zranění, apod.) a proto nelze nikdy z tohoto pohledu řízení v simulátoru považovat za identické skutečným podmínkám. V průběhu experimentu se ukázalo, že probandi si byli vědomi nezvyklé situace způsobené jednak neobvyklým zážitkem (jízdou v simulátoru poskytujícím vjemy blízké podmínkám řízení skutečného auta), ale také možností vyzkoušet si jízdu pod vlivem alkoholu. Zejména u mladších osob lze předpokládat, že budou test vnímat jako dokonalou počítačovou hru a budou mít snahu v průběhu testu „závodit“. U mladších probandů bylo na začátku testu zřetelné expresivní chování a vyšší míra vzrušení, ovšem po cca 30 minutách jízdy tento stav odezněl.

Z toho lze vyvodit, že pro získání objektivních údajů by bylo nutné experiment rozšířit jak z pohledu počtu probandů, tak i vytvořit kontrolní skupinu osob, která by dostávala placebo, nejlépe v podmínkách dvojité slepé studie. Velikost plochy směrodatné odchylky naznačuje, že zácvik jízdy v simulátoru by měl být delší než 10–15 minut, proto by bylo vhodné prodloužit dobu zácviku. Delší zácvik by minimalizoval i vliv vzrušení z neobvyklého zážitku.

Z výše uvedeného je zřejmé, že při opakování stejného experimentu by bylo nutné zajistit skupinu více než dvaceti osob a přibližně stejně velkou kontrolní skupinu a každého probanda testovat za stejných podmínek (tzn. ve stejnou denní dobu – nejlépe ráno a se stejnou náplní žaludku). V praxi by to znamenalo, že testování jedné osoby by zabralo dva dny (přesněji dvě dopoledne) a celý experiment asi 80 pracovních dní (testovaný soubor: 20 osob x 2 dny + kontrolní skupina: 20 osob x 2 dny), což je z praktických důvodů obtížně realizovatelné. Proto by bylo možné experiment zkrátit tím, že by jízda pod vlivem alkoholu trvala pouze cca 20 minut. U většího výzkumného souboru by bylo možné změnit pořadí testových podmínek a část osob nechat jet první den pod vlivem alkoholu a druhý den bez něho.

Problémem z pohledu standardizace testu se ukázal závěr testu, kdy si testované osoby byly vědomi blízkého konce testu a viditelně „ožili“.

Bylo by zajímavé sledovat vliv dlouhodobého řízení či alkoholu na variabilitu pohybu při provádění více úkonů současně, např. schopnost koordinovat pohyby obou rukou nebo

rukou a nohou, případně při řešení složitějších multitaskových úkonů (např. telefonování za jízdy).

Tracking task by v ideálních podmínkách měl být více specifický vzhledem k řešené úloze (pohyb ruky na řadící páku). Takové zařízení by mělo testovat tracking taskovou úlohu postavenou na stejném řízení pohybu a vstupním zařízením by měla být kombinace volantu a joysticku (případně pedálů) umístěných stejně jako v kokpitu auta. Ovšem takové zařízení jsme neměli k dispozici a jeho vývoj a ověření by přesáhly rámec řešené práce.

Domníváme se, že při řízení simulátoru v trvání dvou hodin nemá smysl sledovat změny ve vnitřním prostředí. Význam takového měření by rostl při jízdě trvající mnoho hodin, případně v extrémních klimatických podmínkách.

## 8. Závěry

**Nepotvrdilo se jednoznačně, že by řízení simulátoru v trvání dvou hodin zvýšilo variabilitu pohybu ruky při řazení převodových stupňů.** Protože dvouhodinové řízení nevedlo ke zvětšení variability u žádného ze sledovaných parametrů **zamítáme první hypotézu.**

U následujících parametrů se vliv dvouhodinového řízení neprojevil vůbec nebo se sice projevil, ale u některých probandů došlo ke zvětšení variability a u jiných ke zmenšení:

- Trajektorie ruky vzhledem k řadící páce,
- Rychlost ruky vzhledem k řadící páce,
- Prodloužení času pohybu z volantu na řadící páku,
- Dohledání polohy hlavice řadící páky,
- Reakční čas na červené světlo,
- Tracking task – korelační koeficient,
- Tracking task – chyba polohy kurzoru,
- Tracking task – výkonové spektrum,
- Všechny sledované biochemické parametry.

Ve dvou případech došlo po dvouhodinovém řízení ke zmenšení variability:

- Plocha směrodatné odchylky,
- Tracking task – časový posun.

**Obdobně se nepodařilo z obecného pohledu jednoznačně prokázat, že mírná intoxikace alkoholem vede ke zvýšení variability pohybů ruky ve srovnání s jízdou bez alkoholu a proto zamítáme i druhou hypotézu.**

Vliv alkoholu se projevil zvětšením variability u následujících parametrů:

- Prodloužení času pohybu z volantu na řadící páku,
- Rychlost jízdy.

U následujících parametrů se vliv alkoholu neprojevil vůbec nebo se sice projevil, ale u některých probandů došlo ke zvětšení variability a u jiných ke zmenšení:

- Trajektorie ruky vzhledem k řadící páce,
- Rychlost ruky vzhledem k řadící páce,
- Dohledání polohy hlavice řadící páky,
- Reakční čas na červené světlo,
- Frekvenční analýza pohybů volantu,
- Tracking task – korelační koeficient,

- Tracking task – chyba polohy souboru,
- Tracking task – výkonové spektrum,
- Všechny sledované biochemické parametry.

V některých případech alkohol variabilitu i snížil:

- Plocha směrodatné odchylky,
- Směrodatná odchylka pohybů volantů,
- Tracking task – časový posun.

Domníváme se, že naměřená variabilita opakovaného pohybu nepředstavuje závažný problém pro úspěšné splnění pohybového úkonu (změny převodového stupně) či dokonce z hlediska schopnosti bezpečně ovládat vozidlo. Výsledky ovšem otvírají řadu nových otázek a odhalují, že toho o variabilitě jednoduchých operátorských pohybů víme zatím málo. Ukazuje se, že sice **jsme pomocí navržené metody schopni detekovat změny v motorice pravé ruky** způsobené vlivem dlouhodobého řízení či alkoholem, ale prozatím je obtížné tyto změny interpretovat. Domníváme se, že **hlavní cíl práce – navrhnout metodiku měření variability operátorských činností řidiče – lze považovat za splněný.**

Lze-li z omezeného počtu probandů usuzovat, zdá se, že intraindividuální variabilita pohybu ruky neměla v naší testované situaci jednoznačný trend. U některých probandů bylo naměřeno více parametrů, které vykazovaly statisticky významné rozdíly, u jiných bylo parametrů méně. Navíc **v některých případech byly zjištěné rozdíly v rozporu s předpokladem** (tj. došlo ke zmenšení variability vlivem dlouhodobého řízení či alkoholové intoxikace).

Přestože se nepodařilo jednoznačně prokázat vliv dvouhodinového řízení ani alkoholu (v koncentraci nižší než 1,0 g/kg) na míru variability pohybů ruky při řazení převodových stupňů, zjištěné poznatky ukazují na „bílá místa“ v našem porozumění variabilitě operátorských pohybů. Poznatky této práce mohou sloužit jako východisko pro další výzkum operátorských činností řidiče. Z tohoto pohledu **považujeme práci za přínosnou, navrženou metodu za užitečnou a při zohlednění zjištěných poznatků za prakticky aplikovatelnou.** Jako slibné se nám jeví zejména studování plochy směrodatné odchylky pohybu a dohledání koncového bodu pohybu.

## 9. Seznam literatury

1. Arnedt, J.T., Wilde G.J., Munt P.W., MacLean A.W. How do prolonged wakefulness and alcohol compare in the decrements they produce on a simulated driving task? *Accid Anal Prev.* 2001, 33(3), s. 337-44.
2. Bernstein, N.A. *The coordination and regulation of movement.* Pergamon Press, Oxford, 1967.
3. Cantin, V., Bloumin, J., Simoneau, M., Teasdale, N. Driving in a simulator and lower limb movement variability in elderly persons: can we infer something about pedal errors. *Advances in Transportation Studies*, 2004, Special Issue.
4. Dobbelsteen J.J., Brenner E., Smeets J. Endpoints of arm movements to visual targets. *Exp Brain Res.* 138, 2001, s.279–287.
5. Doebelin, E.O. *Measurement systems: Application and design.* McGraw-Hill. 1975.
6. Doeringer J. A., Hogan N. Intermittency in Preplanned Elbow Movements Persists in the Absence of Visual Feedback. *Journal of Neurophysiology* Vol. 80 No. 4. 1998, s. 1787-1799.
7. Enoka, R.M. *Neuromechanical basis of kinesiology.* Human Kinetics, Champaign. 1988.
8. Graveling, A.J., Warren, R.E., Frier, B.M. Hypoglycaemia and driving in people with insulin-treated diabetes: adherence to recommendations for avoidance. *Diabet Med.*;21(9) 2004, s.1014-1019.
9. Ferigno, G. Elite system. The state of the art. In U. Boenick, *Gait analysis*, Mecke Druck und Verlag. 1990.
10. Fitts, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, volume 47, number 6, June 1954, s. 381-391. (Přetištěno In *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(3):262–269, 1992).
11. Franklin, D.W., Liaw, G., Milner, T.E., Osu, R., Burdet, E., Kawato, M.: Endpoint stiffness of the arm is directionally tuned to instability in the environment. *Motor Control.* 2008. 12(3) s. 252-266.
12. Grant, S.A., Miller, K., Kenny, G.N. Blood alcohol concentration and psychomotor effects. *Br J Anaesth.*; 85(3), 2000, s. 401-406.
13. Harrison, E. L.R., Marczinski C. A., Fillmore, M. T. Driver Training Conditions Affect Sensitivity to the Impairing Effects of Alcohol on a Simulated Driving Test. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, Volume 15, Issue 6, 2007, s. 588-598.
14. Harrison, E. L. R., Fillmore, M. T. Are bad drivers more impaired by alcohol?: Sober driving precision predicts impairment from alcohol in a simulated driving task. *Accident analysis and prevention.* Volume 37, Issue 5, 2005, s. 882-889. ISSN 0001-4575.
15. Heath M., Neely K., Krigolson O. Response modes influence the accuracy of monocular and binocular reaching movements. *Motor Control.* 12(3), 2008, s. 252-66.
16. Heath M. Role of limb and target vision in the online control of memory-guided reaches. *Motor Control.* 9(3), 2005, s. 281-311.
17. Chen, J.C., Chen, Y.J., Chang, W.P., Christiani, D.C. Long driving time is associated with haematological markers of increased cardiovascular risk in taxi drivers. *Occup Environ Med.* 62(12), 2005, s. 890-4.
18. Cheyne, E.H., Sherwin, R.S., Lunt, M.J., Cavan, D.A., Thomas, P.W., Kerr, D. Influence of alcohol on cognitive performance during mild hypoglycaemia; implications for Type 1 diabetes. *Diabet Med.*, 21(3), 2004, s. 230-7.
19. Churchland, M. M., Afshar, A., Shenoy, K.V. A central source of movement variability. *J Biomech.* 39(16) 2006, s. 3076-9.
20. Idestrom, C., Cadenius, B. Time Relations of the Effects of Alcohol Compared to Placebo. *Psychopharmacologia* (Berl.) 13, 1968, 189-200.
21. Jones, A.W., Neri, A. Age-related differences in the effects of ethanol on performance and behaviour in healthy men. *Alcohol Alcohol.* 29(2), 1994, s. 171-9.
22. Katoh, Z. Slowing effects of alcohol on voluntary eye movements. *Aviation, Space, and Environmental Medicine.* 59, 1988, s. 606-610.
23. Kelso, J.A.S. Order parameters for the neural organization of single, multijoint limb movement patterns. *Exp Brain Res*, 85, 1991, s. 432-444.
24. Latash, M. *Control of Human Movement.* Human Kinetics, Champaign. 1993.
25. Latash, M., Gutman, S.R. Variability of fast single-joint movements and the equilibrium point hypothesis. In Newell, K., Corcos, D.M. *Variability of motor control*, Human Kinetics, Champaign. 1992.
26. Latash, M., Scholz, J.P., Schoner, G. Motor control Strategies Revealed in the Structure of Motor Variability. *Exercise and Sport Science Reviews*, 30, 2002, s. 26-31.
27. Lewis, J.L., Lew, W.D., Schmidt, J. Description and error evaluation of an in vitro knee joint testing system. *Journal of Biomechanical Engineering*, 110, 1988, s. 238-248.

28. Light, W.O., Keiper, C.G. Effects of Moderate Blood-Alcohol Levels on Automobile Passing Behavior. *Rpt No ICRL-RR-69-4*. Washington: Department of Health, Education and Welfare, 1969.
29. Linnoila, M., Mattila, M. J. Interaction of alcohol and drugs on psychomotor skills as demonstrated by a driving simulator. *Br J Pharmacol*. 47(3), 1973, s. 671P–672P.
30. Linnoila, M., Erwin, C.W., Ramm, D., Cleveland, W.P. Effects of age and alcohol on psychomotor performance of men. *Journal of Studies on Alcohol*. 41(5), 1980, s. 488-495.
31. Loomis T.A., West T.C. The influence of alcohol on automobile driving ability. *Q J Stud Alcohol*, 19, 1958, s.30-46.
32. Ma-Wyatt, A. M., McKee, S. Visual information throughout a reach determines endpoint precision. *Experimental Brain Research*, 179 (1), 2007, s. 55-64.
33. Maylor, E. A., Rabbitt, P. M., James, G. H. and Kerr, S. A. Effects of alcohol and extended practice on divided-attention performance. *Perception and Psychophysics* 48, 1990, s. 445–452.
34. Milton, G.V., Randall, P.K., Erickson, C.K. Low-dose effect of ethanol on locomotor activity induced by activation of the mesolimbic system. *Alcohol Clin Exp Res*. 19(3), 1995, s. 768-76.
35. Mortimer, R.G. *Effect of alcohol on save driving skills*. Highway Safety Research Institute. University of Michigan, 1975. <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/1156/2/31889.0001.001.pdf>
36. Moskowitz, H., Burns, M. Effects of alcohol on driving performance. *Alcohol Health & Research World*, 14(1), 1990, s. 12-14.
37. Newell, K. M., Cordos, D.M. Issues in variability and motor control. IN K.M. Newell, D.M. Cordos (eds.), *Variability and Motor Control* (s.1-12), Champaign, IL: Human Kinetics, 1993.
38. Newell, K.M., Slifkin, A.B. The nature of movement variability. In J.P.Piek (ed.) *Motor Behavior and Human Skills*. (s. 143-160). Champaign, IL: Human Kinetics, 1998.
39. Nianfeng, Y., Ming, Z., Changhua, H., Dewen, J. Synergic analysis of upper limb target-reaching movements. *Journal of Biomechanics*. 35, 2002, s.739–746.
40. Ojakangas, C.L., Ebner, T.J. Scaling of metrics of visually guided arm movements during motor learning in primates. *Exp Brain Res*, 85, 1991, s. 314-323.
41. Pavelka, K. *Fotogrammetrie 10*, ČVUT, 2004.
42. Pavelka, K. *Fotogrammetrie 20*, ČVUT, 2006.
43. Piek, J.P. *Motor behaviour and human skills*. Human Kinetics, Champaing, 1998.
44. Philip, P., Sagaspe, P., Moore, n., Taillard, J., Charles, A., Guilleminault, C., Bioulac, B. Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accident Analysis & Prevention*. Volume 37, Issue 3, 2005, s. 473-478.
45. Ting, P.H., Hwang, J.R., Doong, J.L., Jeng, M.C. Driver fatigue and highway driving: A simulator study. *Physiology & Behavior*, Volume 94, Issue 3, 2008, s. 448-453.
46. Plamondon, R., Alimi, A.M. Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements. *Behavioral and Brain Sciences*, 20 (2), 1997, s. 279-349.
47. Poliner, J., Wilmington, R.P., Klute, G.K., Micocci, A. *Evaluation Of Lens Distortion Errors In Video Based Motion Analysis*. NASA Technical Paper 3266. 1993.
48. Pourcelot, P., Audigié, F., Degueurce, C., Geiger, D., Denoix, J. M. A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique. *Journal of Biomechanics*, 33, 2000, s. 1751-1754.
49. Prouza, O. *2D síhací tracking task, zhodnocení za stabilních experimentálních podmínek*, Diplomová práce, UK FTVS. 2007.
50. Qualisys AB. *Qualisys Track Manager Manual, version 2.1*. www.qualisys.se. 2009
51. Quinn, T.P., Mote, C.D. A six degree of freedom acoustic transducer for rotation and translation measurements across the knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, 112, 1990, s. 371-378.
52. Rohrbaugh, J.W., Stapleton, J.M., Frowein, H.W., Adinoff, B., Varner, J.L., Lane, E.A., Eckardt, M.J., Linnoila, M. Acute effects of ethanol on motor performance and movement-related brain potentials. *Adv Alcohol Subst Abuse*.7(3-4), 1988, s. 53-7.
53. Rohrbaugh, J.W., Stapleton, J.M., Parasuraman, R., Frowein, H. W., Adinoff, B., Varner, J. L., Zubovic, E. A., Lane, E. A., Eckardt, M. J., Linnoila, M. Alcohol intoxication reduces visual sustained attention. *Psychophysiology*, 96, 1988, s. 442–446.
54. Schmidt, R.A., Sherwood, D.E., Walter, C.B. Rapid movements with reversals in direction. *Exp Brain Res*, 69, 1988, s. 344-354.
55. Simmoneta, M., Clanet, M. Rascol,O. Bereitschaftpotential in a simple movement or in a motor sequence starting with the same simple movement. *Electroencefalogram Clin Neurophysiol*, 81, 1991, s. 129-134.
56. Soechting, J.F., Lacquantini, F. Invariant characteristics of pointing movement in man. *Journal of Neuroscience*, 1, 1981, s. 710-720.
57. Sosnoff, J.J., Newell, K.M. The Generalization of Perceptual-Motor Intra-Individual Variability in Young and Old Adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences* , 61, 2006, s. P304-P310.
58. Stergiou, N. *Innovative analyses of human movement*. Human Kinetics, Champaing. 2004.

59. Stivers, K.A., Ariel, G.B., Vorobiev, A., Penny, M.A., Gousskov, A., Yakunin, N. Photogrammetric Transformation With Panning., *In Sborník XIVth International Society of Biomechanics Congress*, Paris, France, 1993.
60. Suntay, W.J., Grood, E.S. Error analysis of a system for measurement three-dimensional joint motion. *Journal of Biomechanical Engineering*, 105, 1983, s. 127-135.
61. Štefan, J., Hladík, J. *Soudní lékařství a zdravotnicko-právní otázky*. Karolinum. Praha, 1998.
62. Štefan, J., Hladík, J., Adámek, T. *Skripta: Soudní lékařství a zdravotnicko-právní otázky*. 2003. [http://old.lf3.cuni.cz/studium/materialy/soudni\\_lekarstvi/index.html](http://old.lf3.cuni.cz/studium/materialy/soudni_lekarstvi/index.html)
63. Taniai Y., Nishii J. Optimality of the minimum endpoint variance model based on energy consumption. *International Congress Series*, Volume 1291, 2006, s. 101-104.
64. Thies, S. B., Tresadern, P. A., Kenney, L. P., Smith, J., Howard, D., Goulermas, J. Y., Smith, C., Rigby, J. Movement variability in stroke patients and controls performing two upper limb functional tasks: a new assessment methodology. *J Neuroeng Rehabil.*; 6, 2009, s. 2.
65. Todorov, E., Michael I. J. Smoothness maximi- etc. This impressive ability to take into account a diverse set of complex arm movements. *J. Neurophysiol.* 80, 1998, s. 696-714.
66. Tsopanakis, C., Tsopanakis, A. Stress hormonal factors, fatigue, and antioxidant responses to prolonged speed driving. *Pharmacol Biochem Behav.* 60(3), 1998, s. 747-51.
67. Triggs, B., McLauchlan, P., Hartley, R., Fitzgibbon, A. Bundle Adjustment - A Modern Synthesis, In sborník: *Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms: Theory and Practice*, 1999, <http://citeseer.ist.psu.edu/correct/337207>.
68. Trojan, S., Druga, R., Pfeiffer, J., Votava, J. *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Grada. Praha, 2001.
69. Turvet, M.T. Coordination. *American psychologist*, 1990, s. 938-953.
70. Vakulin, A., Baulk, S.D., Catcheside, P.G., Anderson, R., van den Neucel, C.J., Banks, S., McEvoy, R.D. Effects of moderate sleep deprivation and low-dose alcohol on driving simulator performance and perception in young men. *SLEEP*, 30(10), 2007, s. 1327-1333.
71. Winter, D.A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Second edition. John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1990.
72. *WHITE PAPER: European transport policy for 2010: time to decide*. Commission of The European Communities. Brussels. 2001, [http://ec.europa.eu/transport/white\\_paper/documents/doc/lb\\_com\\_2001\\_0370\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/doc/lb_com_2001_0370_en.pdf).
73. Wood, G.A. Marshall, R.N. The accuracy of the DLT extrapolation in three-dimensional film analysis. *Journal of Biomechanics*, 19, 1986, s. 781-785.
74. Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E. Aging and rapid aiming arm movement control. *Experimental aging research*, vol. 24, no2, 1998, s. 155-168, ISSN 0361-073X.
75. Yeadon, M.R., King, M.A. A method for synchronizing digitized video data. *Journal of Biomechanics*, 32, 1999, s. 983-986.
76. Yuan, X., Ryd, L. Accuracy analysis for RSA: a computer simulation study on 3D markers reconstruction. *Journal of Biomechanics*, 33, 2000, s. 493-498.
77. Zhang, Z. Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations. *Computer Vision*, Vol. 1, 1999. s. 666-673.
78. Zhang, L., Baldwin, K., Munoz, B., Munro, C., Turano, K., Hassan, S., Lyketsos, K., Bandeen-Roche, K., West, S. K. Visual and Cognitive Predictors of Performance on Brake Reaction Test: Salisbury Eye Evaluation Driving Study. *Ophthalmic Epidemiol.* 14(4), 2007, s. 216-222.
79. Zima, T. *Laboratorní diagnostika*. Galén. Karolinum. Praha, 2007.