

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ  
Katedra biomedicínské techniky

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Taťána Chroustová



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
Katedra biomedicínské techniky

# **Analýza otáčení při analýze chůze pacientů s Parkinsonovou chorobou**

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský inženýr

Autor diplomové práce: Bc. Taťána Chroustová

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Slávka Vítěčková

---

**Kladno 2017**

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2015/2016

## Z a d á n í   d i p l o m o v é   p r á c e

Student: **Taťána Chroustová**  
Studijní obor: Biomedicínský inženýr  
Téma: **Analýza otáčení při vykonávání TUG testu pacientů s Parkinsonovou chorobou**  
Téma anglicky: Turn in Gait Analysis of Parkinson Disease

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

Analyzujte vliv Parkinsonovy choroby na chůzi. Při analýze se zaměřte na otáčení při Timed Up & Go Testu. Na základě akcelerometrických dat či dat z nich odvozených navrhněte parametry popisující otáčení. Navržené parametry vypočítejte a statisticky zhodnoťte jejich rozlišovací schopnost mezi kontrolní skupinou a skupinou osob s Parkinsonovou chorobou.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Rose J., Gamble J. G, Human Walking, ed. 1st, Williams & Wilkins , 1994, ISBN 978-0683073607
- [2] Cris Zampieri, Arash Salarian, Patricia Carlson-Kuhta, Kamiar Aminian, John G Nutt, Fay B Horak, The instrumented timed up and go test: potential outcome measure for disease modifying therapies in Parkinson's disease, J Neurol Neurosurg Psychiatry, číslo 81, 2010

Vedoucí: Mgr. Slávka Vítečková  
Konzultant: Mgr. Radim Krupička, Ph.D.

Zadání platné do: 20.08.2017

.....  
vedoucí katedry / pracoviště

.....  
děkan

V Kladně dne 20.01.2015

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Analýza otáčení při analýze chůze pacientů s Parkinsonovou chorobou“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové 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 Kladně 19. 5. 2017

.....

Bc. Taťána Chroustová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji paní Mrg. Vítěčkové za její vedení, připomínky, trpělivost a pomoc.  
Děkuji své mamince za podporu při studiu. Děkuji Ladislavu Zástěrovi za oporu.

**Název diplomové práce:**

Analýza otáčení při analýze chůze pacientů s Parkinsonovou chorobou

**Abstrakt:**

Cílem této práce je analyzovat parametry otáčení při chůzi v rámci provádění Timed Up and Go testu u pacientů s Parkinsonovou chorobou, a zjistit schopnost těchto parametrů rozlišovat mezi skupinou s Parkinsonovou chorobou a kontrolní skupinou. V diplomové práci jsem se zaměřila na výpočet hladkosti pomocí indexu ryvu a bezrozměrného ryvu za použití dat z 3D akcelerometru. Vypočítané hodnoty byly vyhodnoceny pomocí Wilcoxon rank sum testu. Metoda bezrozměrného ryvu neprokázala dostatečnou rozpoznávací schopnost pro takto malý vzorek. Podařilo se mi zjistit, že metoda rozlišení pomocí indexu ryvu je dostatečně citlivá pro odlišení skupiny subjektů trpících Parkinsonovou chorobou.

**Klíčová slova:**

Parkinsonova choroba, chůze, otočka, hladkost.

**Master's Thesis title:**

Turn in Gait Analysis of Parkinson's Disease

**Abstract:**

The aim of this work is to analyze parameters of turn during gait while subjects with Parkinson disease perform Timed Up and Go test. This work also aims to determine the ability of these parameters to distinguish between healthy subjects and subjects suffering with Parkinson disease. This diploma thesis focuses on the evaluation of smoothness using jerk index and dimensionless jerk using data from 3D accelerometer. Calculated values were compared and evaluated by using Wilcoxon rank sum test. The dimensionless jerk method has not demonstrated sufficient recognition for such a small sample. I have managed to find out that method using jerk index is sufficiently sensitive to distinguish a group of healthy subjects from these with Parkinsons disease.

**Key words:**

Parkinson disease, gait, turn, smoothness

# Obsah

Seznam symbolů a zkratek .....	9
1 Úvod .....	10
1.1 Přehled současného stavu .....	10
1.2 Cíle práce .....	12
2 Chůze .....	13
2.1 Parkinsonova choroba a její vliv na chůzi .....	14
2.2 Timed Up and Go test .....	15
3 Hladkost pohybu .....	17
4 Akcelerometr .....	19
4.1 Kvaterniony .....	20
4.2 Eulerovy úhly .....	22
5 Metody .....	24
5.1 Měřené subjekty .....	24
5.2 Protokol měření .....	24
5.3 Postup zpracování dat .....	26
5.3.1 Ryv .....	27
5.3.2 Index ryvu .....	28
5.3.3 Normalizace ryvu .....	28
6 Výsledky .....	30
6.1 Index ryvu .....	30
6.1.1 První část otočky .....	31
6.1.2 Druhá část otočky .....	33
6.1.3 První a druhá část .....	35
6.2 Bezrozměrný ryv .....	38
7 Diskuse .....	42



8	Závěr .....	44
	Seznam použité literatury .....	45
	Seznam příloh .....	49

## Seznam symbolů a zkratek

PCH	Parkinsonova choroba
PD	Skupina s PCH
CNS	Centrální nervová soustava
TUG	Timed Up and Go test
REF	Referenční skupina
ON	Skupina na medikaci
OFF	Skupina bez medikace
LDK	Levá dolní končetina
PDK	Pravá dolní končetina
HD	Hrudník
DLJ	Bezrozměrný ryv (dimensionless jerk)
T	Úkol (task)
t	Čas (time)

# 1 Úvod

Parkinsonova choroba (PCH) je řazena mezi neurodegenerativní onemocnění. Na území České Republiky se nachází na druhém místě v žebříčku nejčastějších neurodegenerativních onemocnění. Ze statistik vyplývá, že choroba postihuje častěji muže než ženy. Průměrný věk pro vypuknutí této choroby je mezi 50 až 60 lety. Nicméně 10 % nemocných je postihnuto touto chorobou již před 40. rokem věku. Podle výzkumu se má do roku 2030 počet nemocných zdvojnásobit oproti momentální situaci, kdy je na našem území okolo 20 tisíc lidí zasažených touto chorobou (r. 2015). [21]

Parkinsonova choroba má mimo jiné vliv na chůzi. Chůze je pro člověka nejpřirozenější pohyb a jeho narušení má fatální následky nejen fyzické, ale také psychické. Mezi fyzické projevy narušení chůze patří ataky třesu a pády. Z důvodu nemožnosti ovládat své tělo se pak vyvíjejí deprese, úzkosti a podobné stavy. Sama choroba propukne nepozorovaně a může trvat roky, než se projeví jako onemocnění, nikoli jen ve formě náhodných „banálních“ příznaků. Právě kvůli těmto projevům bývá rozpoznána až v pozdějších stádiích nemoci. Timed Up and Go test (TUG) je známý nástroj pro určení mobility a zjištění rizika pádu.

Motivací této práce je pomoci vytvořit nástroj pro rozpoznání Parkinsonovy choroby časněji, než je momentálně možné. Vlivu PCH na otočku během chůze není podle mého názoru věnovaná dostatečná pozornost. Jako parametry popisující otáčení při chůzi byly zvoleny index ryvu a bezrozměrný ryv. Tyto parametry jsou ukazateli hladkosti průběhu chůze. Právě narušení hladkosti chůze je jeden z prvních příznaků Parkinsonovy choroby. Včasná diagnostika (a následnou medikací) PCH by mohla vést zlepšení kvality života pacientů i jejich rodin.

## 1.1 Přehled současného stavu

V roce 2010 vyšel článek [22] řešící problematiku vyhodnocování Timed Up and Go testu u parkinsoniků s použitím dat z 3D akcelerometru. Autoři zde řeší, zda 3D akcelerometr zlepšuje šanci na rozpoznání Parkinsonovy choroby. Výsledkem této studie je, že 3D akcelerometr je dostatečně citlivé zařízení pro měření chůze pacientů s Parkinsonovou chorobou. Od té doby byl test TUG mnohonásobně analyzován jako celek, případně pouze část rovné chůze po odstranění části otáčení subjektů.

V roce 2011 byla publikována studie [24] na kvantitativní vyhodnocení chůze parkinsoniků při TUG pomocí tzv. jerk score. Palmerini a spol. konstruovali studii o 20 pacientech s Parkinsonovou chorobou a 20 zdravých subjektech. V průběhu měření pacienti vykonávali klasický TUG test, na jehož základě byl propočítán jerk score pro fázi „sit-to-stand“, tedy pro první fázi testu, mezi sedem a vzpřímeným postojem a následně pro rovnou chůzi. Otočka byla z této analýzy odejmuta. Výsledkem této studie bylo, že jerk score umožňuje přesné klasifikování chůze.

Tmaura a spol. v roce 2013 publikovali článek [28], ve kterém se zabývali analýzou chůze (v tomto případě bez odstranění otočky) při TUG. Cílem této studie bylo zjistit signifikantní rozdíl mezi pacienty s PCH, kteří mají zvýšené riziko pádu, a těmi, kteří mají nižší riziko pádu. Při této metodě byl použit 3D akcelerometr a tři 1D gyroskopy. Chůzi rozdělili na osm úseků: část mezi sedem a ohnutím, část mezi ohnutím a vzpřímeným postojem, první část chůze, první otočka, druhá část chůze, druhá otočka, část mezi vzpřímeným postojem a ohnutím a část mezi ohnutím a sedem. Naměřená data pak sloužila k vyhodnocení trvání daných úseků. Z výsledků této studie vyplývá mimo jiné, že účastníci studie s vysokým rizikem pádu mají výrazně pomalejší chůzi a otočku než subjekty s nižším rizikem pádu.

V únoru 2016 vyšla studie [29], která se zabývala analýzou vlivu PCH na plánovanou a neplánovanou otočku při chůzi. Subjekty s PCH byly testovány ve stavu bez medikace a na medikaci. Snímacím zařízením v této studii byl osmikamerový systém na snímání pohybu. Hodnocenými parametry byly strategie otočky, vzdálenost otočky, míra rotace těla. Výsledky ukázaly, že strategie otočky vyšla pro obě skupiny zhruba půl napůl. Dále studie ukázala, že vzdálenost otočky pacientů na medikaci se prodloužila (oproti vzdálenosti před podáním medikace), ale míra rotace těla zůstala stejná.

V roce 2017 vyšla další studie [23] zabývající se analýzou pouze otočky pacientů s Parkinsonovou chorobou při provádění Timed Up and Go testu. Studie hodnotí narušení hladkosti chůze pacientů pomocí parametru FoG (Freezing of gait), tedy momentu zamrznutí chůze. Zamrznutí chůze pak může vést k narušení rovnováhy subjektů a následnému pádu. Mancini a spol. testovali 28 pacientů postihnutých Parkinsonovou chorobou ve stavu medikační absence. Výsledky porovnávali s kontrolní skupinou sestávající z 14 zdravých subjektů. Subjekty prováděly dva typy testů. Při jednom se musely otočit na místě o  $360^{\circ}$ . Při druhém testu dostaly subjekty za úkol ujít 7 metrů, otočit se jít zpět. Autoři prokázali, že otočení na místě vyprovokuje zamrznutí

chůze, zatímco při klasickém TUG testu došlo k narušení stability pouze u dvou pacientů s PCH.

V další studii [16], která byla zveřejněna v roce 2017, Ghasemloonia a spol. hodnotí hladkost pohybu zdravých subjektů různých povolání (inženýři, profesionální hráči počítačových her, chirurgové a čerstvě vystudovaní lékaři). Data byla snímána pomocí akcelerometrů umístěných na ruku. Ze zaznamenaných dat pak autoři vyhodnotili tzv. Jerk index (index ryvu), na jehož základě posuzovali hladkost a koordinaci pohybu při úkolech testujících mikromanipulaci a chirurgické dovednosti. Výsledkem této studie bylo, že chirurgové a čerstvě vystudovaní lékaři mají velmi podobné schopnosti (ale přesto je mezi nimi snadno zpozorovatelný rozdíl). Vykazují velmi dobrou hladkost a koordinaci pohybů. Oproti tomu profesionální hráči PC her a inženýři (tyto dvě skupiny byly vzájemně také velmi blízko svými výsledky) vykazují signifikantně horší hladkost než skupiny lékařů.

## **1.2 Cíle práce**

Cílem této práce je analyzovat vliv Parkinsonovy choroby na otočku během chůze. Jedním z dílčích cílů této práce je najít či odvodit parametry, kterými lze popsat otáčení při testu TUG a ty analyzovat. K tomu je potřeba detekovat otočku z naměřených dat. Otočku je vhodné rozdělit na části a věnovat se následně každé zvlášť. Dalším cílem této práce je vyhodnotit rozlišovací schopnosti zjištěných parametrů mezi referenční skupinou a skupinou s Parkinsonovou chorobou.

Účelem práce je vytvořit nástroj, resp. software k analýze chůze pro pozdější rozpoznání choroby na základě zjištěných parametrů.

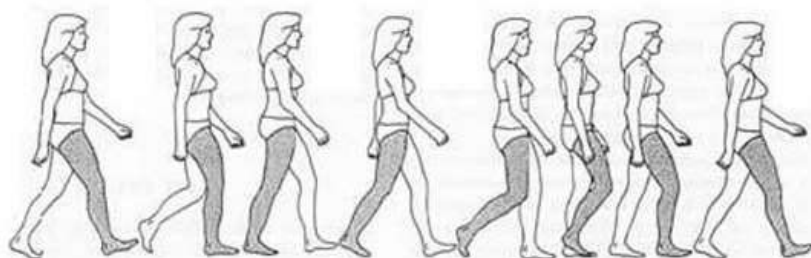
## 2 Chůze

Chůze je lokomoce člověka, nejčastěji sloužící k transportu z jednoho místa na druhé. Subjektivně je vnímána jako jeden z nejpřirozenějších pohybů.

Americký lékař A. A. Marks jako první definoval osm základních pohybů, které po koordinovaném plynulém napojení na sebe, tvoří „normální chůzi“. Výrazné odlišnosti od tohoto vzorce mohou být patologickým příznakem.

Parametry měřené při chůzi: [3]

- a. časově prostorové parametry:
  - i. Rytmus - kadence - počet kroků/minuta
  - ii. délka kroku - vzdálenost mezi stejnými body na obou chodidlech (většinou paty), během dvojité končetinové opory
  - iii. délka dvojkroku - vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími dopady chodidla téže nohy
  - iv. kroková báze - vzdálenost mezi chodidly, obvykle od středu paty
  - v. rychlost chůze - průměrná rychlost dosažená přibližně ve třech krocích (m/s)
- b. kinematické parametry:
  - i. úhel
  - ii. poloha
  - iii. rychlost
  - iv. zrychlení



Obr. 1 Ukázka chůze [27], přeloženo

Na obrázku 1 můžeme vidět podrobný popis a grafické znázornění dvojkroku.

Termínem dvojkrok se označuje krokový cyklus. Dvojkrok určuje délku mezi místy, do kterých dopadla pata jedné končetiny nohy na začátku a na konci jednoho

krokového cyklu. Tento cyklus začíná vzpřímeným postojem, kdy jsou paty u sebe. Takto fáze se nazývá stojná. Z této fáze přechází člověk do fáze švihové (také výkročná). Švihovou fází člověk započíná transport těla z výchozího bodu do cílového. Tato fáze se dále ještě dělí na tři další části (iniciační, střední a terminační). Moment, kdy noha opustila povrch podložky a tělo se nachází v jednooporovém postavení, se nazývá iniciační. Následuje střední část švihové fáze, během které dojde ke kyvu celé končetiny vpřed. V poslední části dochází k terminačnímu švihů a přípravě na další cyklus. [26]

## 2.1 Parkinsonova choroba a její vliv na chůzi

Parkinsonova choroba je chronické degenerativní onemocnění centrální nervové soustavy. PCH je druhou nejčastější chorobou CNS a postihuje 4,1 milion lidí po celé zeměkouli. V současné době neexistuje lék, který by chorobu vyléčil, nebo alespoň zastavil zhoršování PCH. Pomocí medikamentů lze dlouhodobě a účinně potlačit jednotlivé příznaky. Příčina této choroby je neznámá, ale podle většího počtu studií existuje spojení výskytu choroby s genetickým a enviromentálním faktorem. Choroba negativně ovlivňuje jak motorické funkce (pomalost pohybů, svalová ztuhlost, třes, problémy s chůzí), tak nonmotorické funkce (nálada, spánek) [1],[2]

Parkinsonova choroba je označována jako porucha extrapyramidového systému. Tento systém je souhrnným systémem veškerých korových a podkorových jader, která nejsou součástí pyramidových jader. Právě tento systém je zodpovědný za mimovolní pohyb a má za úkol udržet svalové napětí a koordinovat pohyby. Porucha tohoto systému pak působí značným vlivem na motoriku člověka. [30], [31]

Při této chorobě dochází k úbytku buněk v substantia nigra, produkujících dopamin zodpovědný za přenos signálů mezi neurony. Nemoc negativně ovlivňuje jak volní tak mimovolní pohyby. K diagnostice PCH vede mimo jiné i přítomnost minimálně dvou z následujících příznaků: třes, ztuhlost, nestabilita v postoji a akineze. Ne všichni pacienti musí být všechny příznaky. Postoj typický pro parkinsonismus je znázorněn na obr. 2. Chůze pacientů zasažených touto chorobou je charakterizována malými posuvnými kroky (a pomalejšími pohyby obecně), kdy pacient došlapuje na celou plochu nohy. Délka dvojkroku je kratší a po přešlapování na místě je obtížné se znovu rozejít. Otočný pohyb pacienta postiženého PCH je velmi nejistý. Rychlost a specifická této chůze se měří mmj. Timed up & go testem. [2], [31]



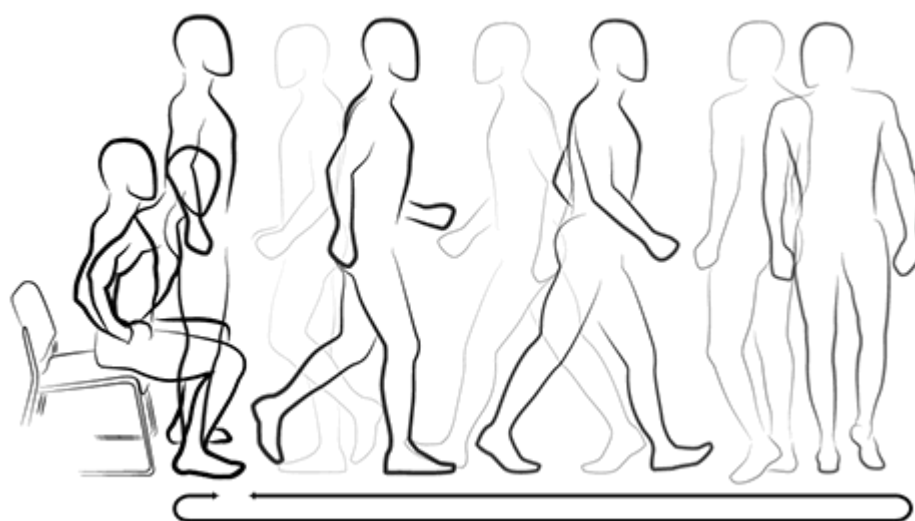
*Obr. 2 Ukázka typického postoje pacienta trpícího Parkinsonovou chorobou [25]*

Vlivem Parkinsonovy choroby dochází k výraznému zmenšení délky kroku a snížení rychlosti chůze přestože kadence zůstává stejná. Rozsah pohybu v kyčlích, kolenou a kotnících je snížen. Dochází k redukci švihů rukou při chůzi. Choroba také ovlivňuje vertikální trajektorii hlavy, paty a prstů u nohou. Šoupavá chůze se objevuje, když chodidlo stále vykonává dopředný pohyb během dopadu paty na podložku. PCH má vliv i na počet kroků, během nichž získá subjekt stabilitu. Zatímco „zdraví“ (ve smyslu bez kondice ovlivňující pohyb) lidé získají stabilitu během prvních dvou až tří kroků, PD jich potřebují několik. Vzhledem k tomu, že PCH způsobuje kombinaci hned několika deviací chůze, je označována za velmi komplikovanou chorobu. [31]

## **2.2 Timed Up and Go test**

TUG (znázorněn na obr. 3) je široce využívaný test, díky němuž lze posoudit rovnováhu a mobilitu, a lze pomocí tohoto testu predikovat pád pacienta. Pacient při tomto testu sedí na židli opřený zády o opěradlo. Pacient dostane povel, na který vstane, ujde 3 metry (v případě prodlouženého TUG 10 metrů), vrátí se k židli a posadí se. Počítá se čas od startovacího povelu, dokud se pacient znovu neposadí. [9]





Obr. 3 Ukázka TUG [4]

### 3 Hladkost pohybu

Hladký pohyb vypovídá o zdraví, zkušenosti a schopnosti koordinovaného pohybu. Tato dovednost se zlepšuje s vývojem nervové soustavy a získáváním motorických dovedností. Pohyb označujeme za hladký, je-li kontinuální a nepřerušovaný, nezávislý na trvání.

Narušená hladkost pohybu může být nejčastěji pozorována u pohybu horních končetin kojenců do 6 měsíců, dále také u velmi pomalých pohybů, pohybů vyžadujících preciznost, a samozřejmě také v pohybech pacientů s neurologickým onemocněním (například pacienti po mrtvici, pacienti trpící roztroušenou sklerózou či Parkinsonovou chorobou).

Při testování pohybu pomocí hladkosti musí být bráno v úvahu povaha úkolů. Úkol by sám o sobě neměl znemožňovat hladkost pohybu. Hladkost silně závisí na prováděném úkolu a zcela odlišné úkoly by se neměly porovnávat mezi sebou. Úkolová závislost se musí brát v úvahu při vyhodnocování hladkosti. Další faktor, který musí být brán v úvahu, je schopnost subjektu úkoly plnit. Hladkost má mmj udávat schopnost volní kontroly subjektu. Neznalost testujících schopností testovaných subjektů pak může vést k chybným výsledkům měření.

Tyto dva odlišné faktory přispívají k narušení hladkosti pohybu. Hladkost může být použita jako kritérium pro odlišování mezi schopností kontroly volních pohybů různých subjektů při provádění specifického úkonu, nebo pro různé typy úkolů, kdy testující jsou předem seznámeni se schopnostmi subjektů.

Měření hladkosti musí být validní, senzitivní, spolehlivé a proveditelné. Validita je nejdůležitější vlastnost, která udává, zda vypočítaná veličina závisí či nezávisí na okolnostech měření. Citlivost a spolehlivost udávají, jak dobře je proběhlé měření schopno kvantifikovat faktory spojené s pohybem. Senzitivita je základem pro měření malých, ale významných rozdílů. Spolehlivost je přímo spojená s robustností měření a šumem. Zpracování dat pak musí být proveditelné. Například musí být zohledněny možnosti počítače a velikosti dat, které bude potřeba zpracovat.

Míra hladkosti  $\lambda_s$  může být definována jako funkce, charakterizující pohybovou hladkost:

$$\text{Hladkost} = \lambda_s (Mm | U), [13]$$

kde  $Mm$  reprezentuje měřenou informaci o pohybu a  $U$  v tomto případě zastupuje zadaný úkol (například otočit se v rámci TUG testu). Ze vzorce vyplývá, že, jak už bylo zmíněno výše, hladkost je úkolově závislá.

Hladkost může být i měřena pomocí různých robotických zařízení, pohybových senzorů či inerciálních měřících jednotek. [13], [15]

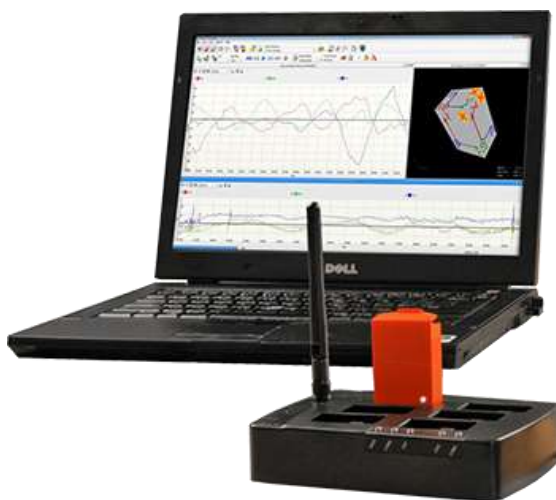
## 4 Akcelerometr

Akcelerometr je přístroj, který slouží k určení zrychlení na základě snímání elektrických změn ze zrychleného pohybu, které jsou snímány sadou tenzometrů. Velkou výhodou této metody je relativně rychlá frekvence snímání.

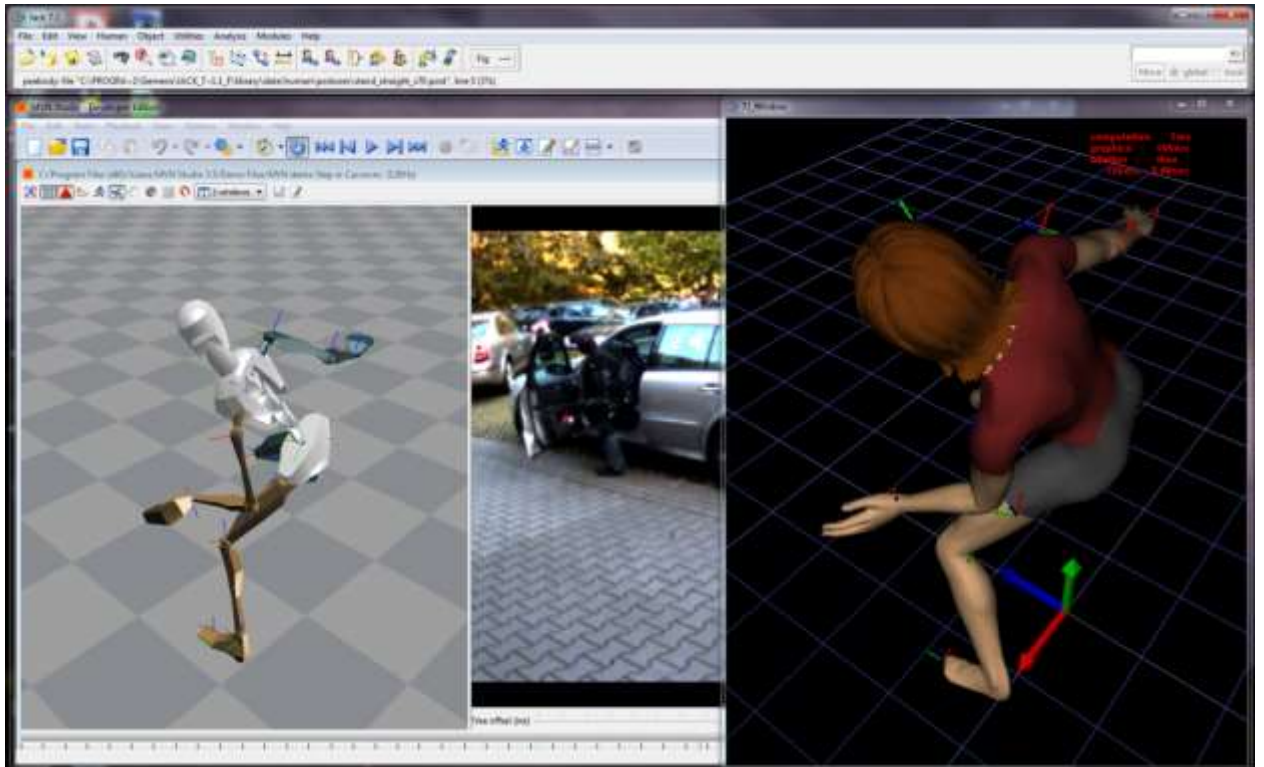
Použitý přístroj pro snímání informací o pohybu byl přístroj nizozemského výrobce X- Sens Technologies s názvem X – BUS KIT. Zařízení spolu se softwarem je k vidění na obr. 4. XBUS Kit je lehký, přenosný systém, který zahrnuje XBUS Master a až 10 pohybových senzorů. Tímto zařízením lze snímat pohyb hned několika typy sledovačů pohybů v jednom či dvou vláknech. Vzorkovací frekvence synchronního vzorkování lze nastavit až na 512 Hz. K přenosu dat z přístroje do počítače dochází buď přes USB kabel nebo pomocí bezdrátového připojení Bluetooth 2.0. Pro zobrazení v počítači a práci se získanými daty dále pak slouží program Xsens MT Manager a MT Development Kit. XBUS Kit je kombinací MT's, XBUS Master a bezdrátový vysílač umožňující kompletně ambulantní měření lidského pohybu. MTX poskytuje bezdriftovou 3D orientaci, 3D akceleraci, 3D rychlost otáčení (rychlost gyroskop) a 3D magnetické pole. XBUS Master data navzorkuje a posílá synchronní data z MTX do počítače.[5]

Senzory toho přístroje mají velmi nízkou hmotnost a jsou relativně malé. Každý senzor obsahuje 3D akcelerometr, 3D gyroskop a 3D magnetometr.

Další možnosti použití přístroje: biomechanika, rehabilitace, sportovní vědy, virtuální realita, animace (viz obr. 5), atd.



*Obr. 4 Ukázka zařízení společně s výstupy v programu MTw Development KIT [7]*



Obr. 5 Ukázka 3D monitorace lidského pohybu při vystupování z auta pro účely animace [6]

## 4.1 Kvaterniony

Pro konverzi dat ze souřadnicového systému senzoru do zemského souřadnicového systému byly použity kvaterniony. Na obr. 6 lze vidět data otočky z akcelerometru před a po konverzi do zemského souřadnicového systému.

Kvaternion (H, podle objevitele kvaternionů Hamiltona), je čtyř prvkový vektor používaný například pro zakódování jakékoli rotace ve 3D orientovaném systému. Je složen z jednoho reálného elementu a tří komplexních.

Základní pravidlo pro násobení říká, že [17]

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1, \quad (4.1)$$

a z toho vyplývá, že

$$ij = -ji = k \quad (4.2)$$

$$jk = -kj = i$$

$$ki = -ik = j$$

Máme – li například  $q_1 = (a, bi, cj, dk)$  a  $q_2 = (e, fj, gj, hk)$  pak sčítání probíhá podle:

$$q_1 + q_2 = (a + e) + (b + f)i + (c + g)j + (d + h)k, \quad (4.3)$$

a násobení pak vypadá následovně:

$$q_1 * q_2 = \begin{pmatrix} ae + afi + agj + ahk \\ bei + bfi^2 + bgij + bhik \\ cej + cgji + cgj^2 + chjk \\ dek + dfki + dgkj + dhk^2 \end{pmatrix}, \quad (4.4)$$

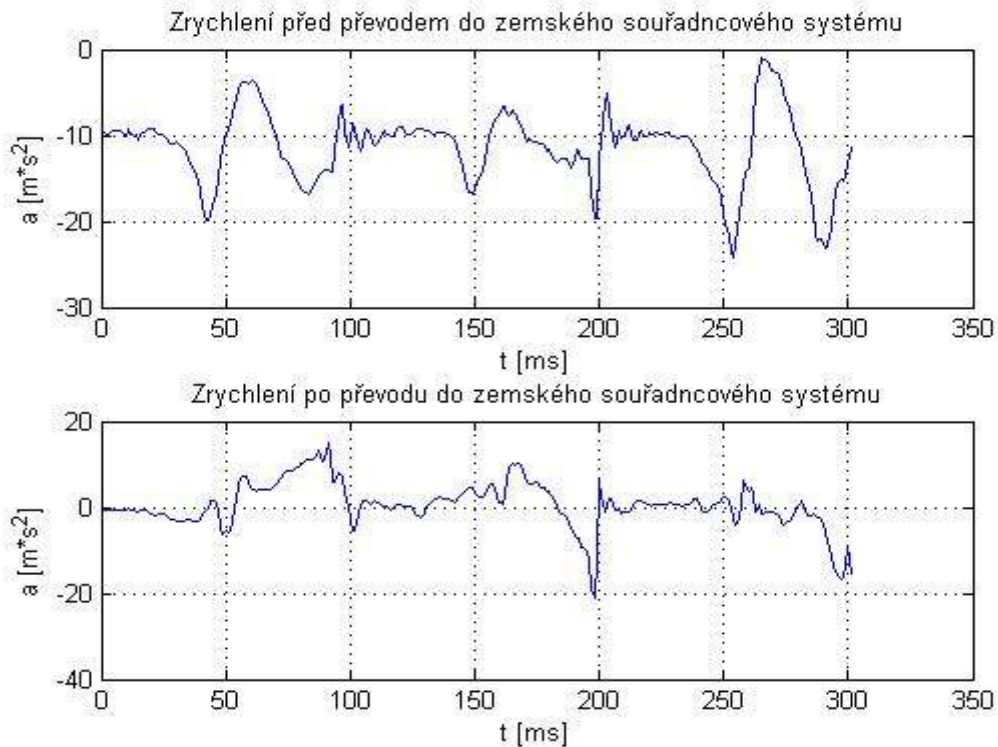
po aplikaci výše zmíněného pravidla (2.2) dostaneme, že

$$q_1 * q_2 = \begin{pmatrix} ae - bf - cg - dh \\ af + be + ch - dg \\ ag - bh + ce + dh \\ ah + bg - cf + de \end{pmatrix}, \quad (4.5)$$

Pro kvaternion  $(x, y, z, w)$  je odpovídající rotační matice  $M$  definována jako [18]

$$M = \begin{bmatrix} 1 - 2y^2 - 2z^2 & 2xy + 2wz & 2xz - 2wy \\ 2xy - 2wz & 1 - 2x^2 - 2z^2 & 2yz + 2wx \\ 2xz + 2wy & 2yz - 2wx & 1 - 2x^2 - 2y^2 \end{bmatrix}$$

Tato rotační matice slouží právě k převodu sensorového souřadnicového systému do zemského.



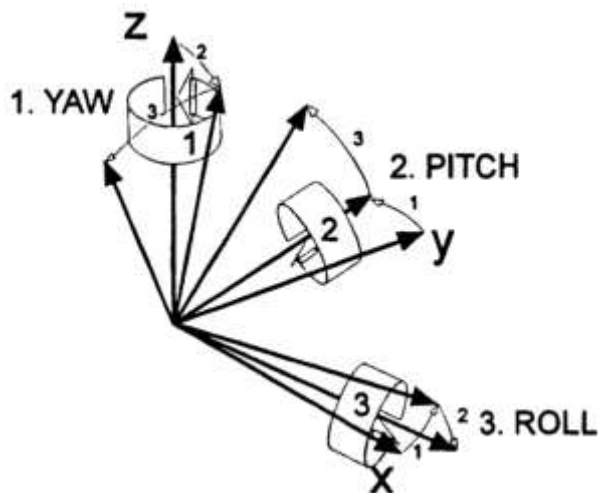
Obr. 6 Ukázka dat zrychlení z horizontální roviny před a po převedení do zemského souřadnicového systému z LDK u subjektů na medikaci

Dalším možným způsobem převodu dat z jednoho souřadnicového systému do druhého jsou Eulerovy úhly. Nevýhodou kvaternionů je, že proti Eulerovým úhlům, které se pro rotaci také používají, jsou kvaterniony méně intuitivní. [10,11,15]

## 4.2 Eulerovy úhly

Veškeré rotační pohyby jsou popsány pomocí vektoru úhlové rychlosti. Eulerovy úhly zajišťují způsob reprezentace 3D orientace subjektu, použitím kombinací tří rotací kolem různých os.

Eulerovy úhly (pojmenovány podle L. Eulera) nabízejí rozložení prostorové rotace do tří samostatných částí. Kolem osy  $x$  dochází k rotaci pomocí úhlu  $\Phi$  (anglicky roll, nutační úhel), kolem osy  $y$  dochází k rotaci pomocí Eulerova úhlu  $\Theta$  (anglicky pitch, vlastní rotace) a kolem osy  $z$  dochází k rotaci úhlem  $\Psi$  (anglicky yaw, precesní úhel). Orientace úhlů je vidět na obr. 7.



Obr. 7 Ukázka rotace Eulerovými úhly kolem os [19]

První rotace „yaw“ kolem osy  $z$  může být provedena pomocí násobení daného vektoru rotační maticí  $R(\Psi)$ .

$$R(\Psi) = \begin{pmatrix} \cos(\Psi) & \sin(\Psi) & 0 \\ -\sin(\Psi) & \cos(\Psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotace „pitch“ je prováděna pomocí rotační matice  $R(\Theta)$ .

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

Rotace „roll“ je prováděna pomocí rotační matice  $R(\Phi)$ .

$$R(\Phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\Phi) & \sin(\Phi) \\ 0 & -\sin(\Phi) & \cos(\Phi) \end{pmatrix}$$

Rotační matice pro převod z inerciální soustavy se skládá z rotační matice „yaw“ násobenou rotační maticí „pitch“.

$$R(\theta, \Psi) = R(\theta)R(\Psi)$$

Pro dokončení rotační matice:

$$R(\Phi, \theta, \Psi) = R(\Phi)R(\theta)R(\Psi)$$

Nevýhodou Eulerových úhlů oproti rotaci pomocí kvaternionů je, že může dojít k fenoménu Gimbal lock, tedy ztrátě jednoho stupně volnosti. [20]



## 5 Metody

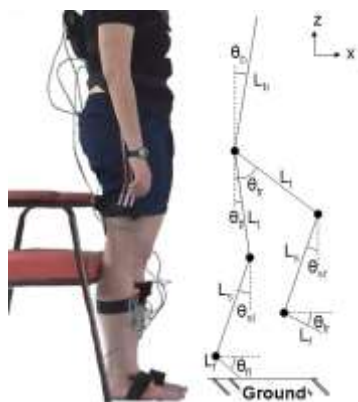
Zpracovávaná data byla naměřena během TUG testu pomocí 3D akcelerometru firmy XSens na dvou skupinách (pacienti s Parkinsonovou chorobou a kontrolní skupinou). Ryv, index ryvu a bezrozměrný ryv jsou parametry, kterými lze určit hladkost chůze. Parametry jsou více popsány v kapitolách 5.3.1 až 5.3.3.

### 5.1 Měřené subjekty

Test byl prováděn na celkem 34 subjektech. 15 z nich bylo součástí kontrolní skupiny bez Parkinsonovy choroby. Průměrný věk kontrolní skupiny je  $67,38 \pm 8,13$  roku, výška  $170,46 \pm 9,77$  cm a hmotnost  $92,46 \pm 18,86$  kg. Počet žen v kontrolní skupině je 8 a počet mužů v téže skupině 7. Druhá skupina, čítající 19 subjektů byla sestavena z 6 žen a 13 mužů s celkovým průměrem skupiny  $71,90 \pm 7,74$  let, výškou  $170,26 \pm 10,20$  cm a hmotností  $80,93 \pm 17,35$  kg.

### 5.2 Protokol měření

K měření TUG testu došlo ve Všeobecné fakultní nemocnici v Praze na Neurologické klinice. Ke snímání dat byl použit právě přístroj X – Sens. Subjekty byli předem seznámeni s průběhem testu. Každý subjekt měl na sobě souměrně rozmístěné senzory, upevněné pomocí speciálních pásků. Ukázka jiného možného rozmístění senzorů je k vidění na obr. 8. Nesmělo dojít k žádnému volnému pohybu či dokonce pádu senzoru z místa určeného protokolem.



Obr. 8 Ukázka rozmístění senzorů X – Sens X – Bus KIT [8]

Každý pacient vykonával celkem 4 druhy různých měření: vzpřímený postoj (kalibrační účely), TUG, TUG s úkolem soustředěným na kognitivitu (KOG) a FOG (TUG na vyprovokování zamrznutí chůze). Standardní TUG má délku dráhy 3 m. V tomto případě byla délka dráhy nastavena na 7 m. Tím byl získán větší počet krokových cyklů pro analýzu rovné chůze, nikoli pro analýzu otočky, která probíhala na místě.

Začátek a konec testu byl pro subjekty zřetelně vyznačen páskou. Subjekty byli instruováni tak, aby seděli rovně s rukami na stehnech a zády se dotýkali opěradla židle. Subjekty byli požádáni, aby si při vstávání nepomáhali rukama. TUG si každý subjekt nejdříve vyzkoušel. Test se musel někdy i několikrát opakovat. K opakování testu docházelo z důvodu potřeby získání kvalitních dat pro zpracování a vyhodnocení. Test začal v poloze sedu, subjekt byl zády opřený o opěradlo židle. Židle nedisponovala opěradlem pod ruce, aby nedocházelo ke zkreslení testu v momentě, kdy se někteří pacienti rozhodnou vstát bez opory v rukou. V okamžiku, kdy subjekt dostal pokyn, subjekt vstal a šel rovně po rovné podložce bez překážek ke značce (7 m). Následovala pravotočivá otočka a subjekt šel zpět, opět po rovné podložce bez překážek. Po dosedu a opětovném opření zad subjektu o opěradlo test skončil.

Subjekty s Parkinsonovou chorobou vykonávali daný test dvakrát. Jednou ve fázi „ON“, kdy byly subjekty na medikaci, potlačující symptomy choroby (antiparkinsonika). Podruhé vykonávali stejný test po 24 hodinách absence medikace.

Získaná data byla zapsána pod softwarovým číslem. Každá zkratka označuje jinou polohu senzoru:

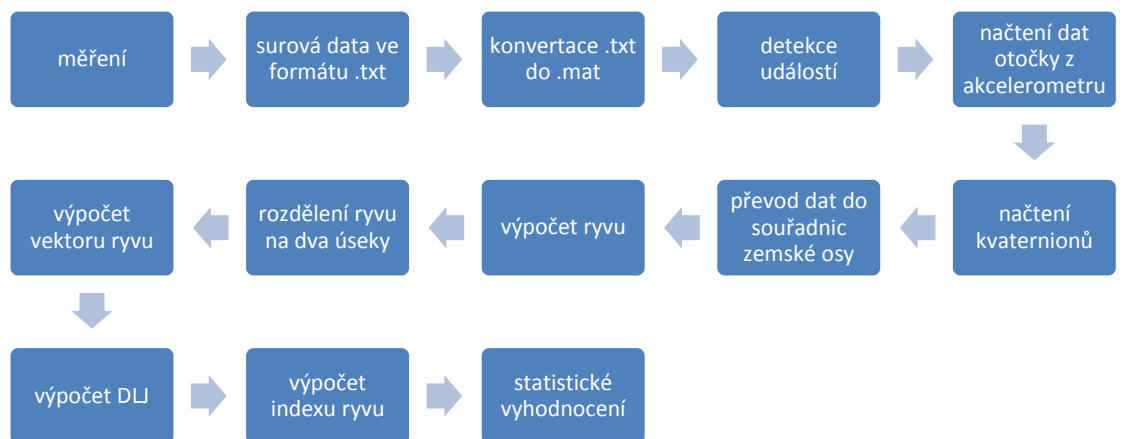
Zkratka	Označení	Poloha
LDK	Levá dolní končetina	4 cm nad kotníkem
PDK	Pravá dolní končetina	4 cm nad kotníkem
HD	Hrudník	2 cm pod hrdelní jamkou

Tab. 1 Vysvětlení označení a umístění senzorů

Naměřená data, vystupující z přístroje obsahovala výstupy ze všech tří senzorů (akcelerometr, gyroskop, magnetoskop) ve třech dimenzích, a zároveň data pro změnu orientace (kvaterniony). Protože orientace výstupních dat z přístroje není vhodná pro další zpracování, je nutné data konvertovat do souřadnic zemské osy. K tomuto účelu slouží právě tzv. kvaterniony. Více o kvaternionech v kapitole 4.1.

### 5.3 Postup zpracování dat

Cesta dat od měření po statistické vyhodnocení je znázorněna na obr. 9. Surová data získaná z měření byla načtena a konvertována do souboru .mat pro následné zpracování v prostředí Matlab. Příklad, jak surová data vypadala, je možné vidět na obr. 10.



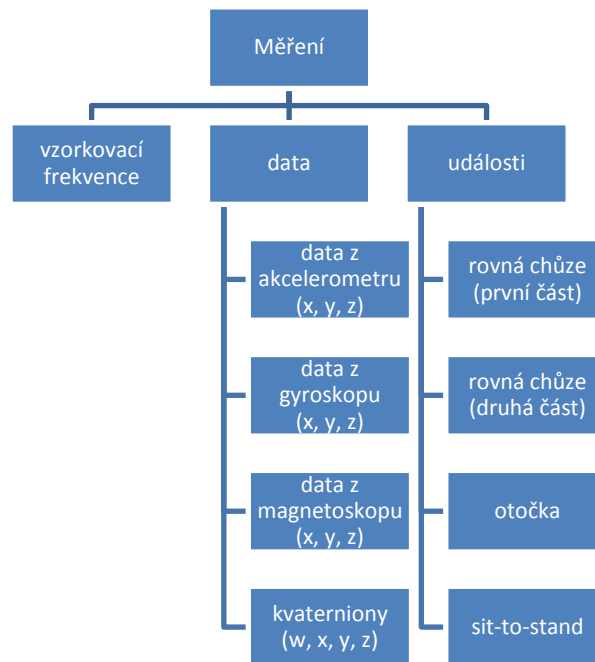
Obr. 9 Postup zpracování dat

Counter	Acc_X	Acc_Y	Acc_Z	Gyr_X	Gyr_Y
19	0.00000000	0.00000000	0.00000000	2845	-2.439667
61006	-0.007271	-0.083003	0.157488	0.986478	-0.736653
6	137.801228	0.00000000	0.00000000	0.000000	2858
4.517351	-0.005099	-0.037080	-0.093604	0.132126	0.946812
10	11.966187	137.609194	0.00000000	0.00000000	0.000000
.098926	4.981071	0.141112	-0.081248	-0.061050	0.084617
7097	10.792693	138.283661	0.00000000	0.00000000	0.000000
3088	4.217589	-0.555514	-0.122893	0.164739	0.067670
278824	10.452616	139.377910	0.00000000	0.00000000	0.000000
8	4.804682	-0.033103	0.110247	-0.135354	0.053940
5	137.309947	0.00000000	0.00000000	0.000000	2910
0.475630	-0.190994	0.160491	0.045193	0.658304	-0.968723
.00000000	0.00000000	0.000000	2923	-1.483941	-7.669324
0.481505	0.090022	0.635069	-0.998751	-50.877639	13.125552
.00000000	0.000000	2936	-2.633991	-7.980589	4.232849
6	0.357549	0.757545	-0.985962	-66.298857	28.596791
000	0.000000	2949	-6.381252	-8.946336	2.130470
705	0.834153	-0.880522	-79.479000	50.915793	132.533350
000	0.000000	2962	-11.273267	-7.822931	0.176124
.657630	0.466134	-0.541175	-94.184550	60.822694	127.400546
0.000000	2975	-6.476288	-4.319092	0.228883	-0.149981
92252	0.425059	-0.565072	-91.959980	55.533160	127.073460

Obr. 10 Ukázka surových dat před zpracováním

V rámci převedení dat do .mat formy, byla data uložena ve struktuře o několika podskupinách. Popis struktury je vidět na obr. 11. Následně muselo dojít k selekci dat. Zároveň zde proběhla detekce událostí, ke kterým došlo v průběhu testu TUG. Jedná se

o událost zvanou sit-to-stand, tedy moment, kdy subjekt vstává se sedu do vzpřímeného postojení. Další událostí byla rovná chůze, následovala otočka, rovná chůze zpět.



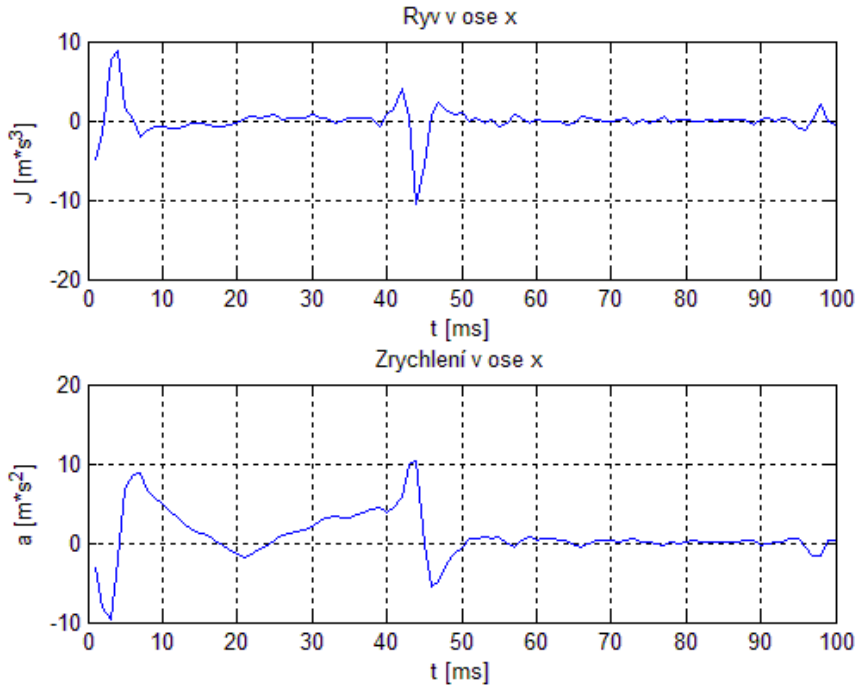
Obr. 11 Ukázka struktury dat ze záznamu

### 5.3.1 Ryv

Jedním z parametrů chůze je hladkost zmíněná v kapitole 1.5. Tu lze hodnotit pomocí tzv. ryvu (neboli trhu), resp. rovnicemi z ryvu odvozenými. Jedná se o vektorovou fyzikální veličinu určenou ze zrychlení v čase. Podle SI soustavy je označován jako **j** z anglického  *jerk* (obecně) nebo také *jolt* (britská angličtina) a udává se v jednotkách  $\text{m}\cdot\text{s}^{-3}$ . Počítá se jako třetí derivace pozice  $s$ , resp. druhá derivace rychlosti  $v$ , resp. první derivace zrychlení  $a$  v čase  $t$  [12]:

$$\vec{j} = \frac{d\vec{a}}{dt} = \frac{d^2\vec{v}}{dt^2} = \frac{d^3\vec{s}}{dt^3} \quad (5.1)$$

Derivací údajů ze zrychlení byl vypočítán pro každý subjekt testu. Protože každý subjekt měl jinou kadenci a dobu otáčení, byla data každého striktně rozdělena na dvě části. Tím byla dosažena porovnatelnost vzorků. První část obsahuje prvních 100 vzorků od začátku otočky. Část druhá obsahuje 100 vzorků od poloviny otočky. Grafické znázornění ryvu v porovnání se záznamem akcelerace v levé dolní končetině v první části otočky lze vidět na obr. 12



Obr. 12 Ukázka ryvu v horizontální ose LDK

### 5.3.2 Index ryvu

K minimalizaci přirozených pohybů se používá Index ryvu. Index ryvu  $J_i$  je skalární veličina, která slouží ke kvantifikaci hladkosti pohybu a je ovlivněna dobou trvání daného úkolu a amplitudou pohybu. Index ryvu je nepřímo úměrný hladkosti pohybu. Čím je pohyb hladší, tím vyšší je číslo indexu ryvu.

$$J_i = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{\partial ax}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial ay}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial az}{\partial t} \right)^2 dt \quad (5.2)$$

Index ryvu byl použit například při kvantitativním měření ve studii laparoskopických dovedností. [14]

Index ryvu byl vypočítán z dat otočky z akcelerometru pro pravou dolní končetinu, levou dolní končetinu a hrudník pro skupinu referenční i skupinu s PCH. Index byl pak statisticky vyhodnocen a porovnán. Výsledky jsou k vidění v kapitole 6.

### 5.3.3 Normalizace ryvu

Normalizací docílíme nezávislosti ryvu na čase, amplitudě, rychlosti či kombinaci těchto tří vlivů. K eliminaci ovlivnění časem a amplitudou musí být index ryvu normalizován násobením indexu ryvu pátou mocninou času vydělenou druhou mocninou dráhy [17]

$$J_{\text{normalizovaný}} = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{\partial ax}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial ay}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial az}{\partial t} \right)^2 dt \times \frac{(t_2 - t_1)^5}{\left( \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\left( \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial t} \right)^2} dt \right)^2} \quad (5.3),$$

Normalizace docílíme také pomocí vzorce [14]:

$$DLJ = -\frac{(t_2 - t_1)^5}{A^2} \times \int_{t_1}^{t_2} \left| \frac{\partial v^2}{\partial t^2} \right|^2 dt \quad (5.4),$$

pro který platí, že DLJ (= dimensionless jerk, bezrozměrný ryv),  $t$  je čas,  $ax$ ,  $ay$ ,  $az$  zastupují zrychlení v ose,  $v$  je rychlost,  $A$  průměrná amplituda, a  $x, y, z$  vyjadřuje pozici. Jako u předchozího vzorce, i zde dochází k eliminaci ovlivnění časem a amplitudou. Normalizací také dojde ke ztrátě jednotek parametru.

Jak bylo zmíněno v kapitole 5.3.1, výsledkem druhé derivace rychlosti v čase je ryv  $j$  [ $m \cdot s^{-3}$ ].

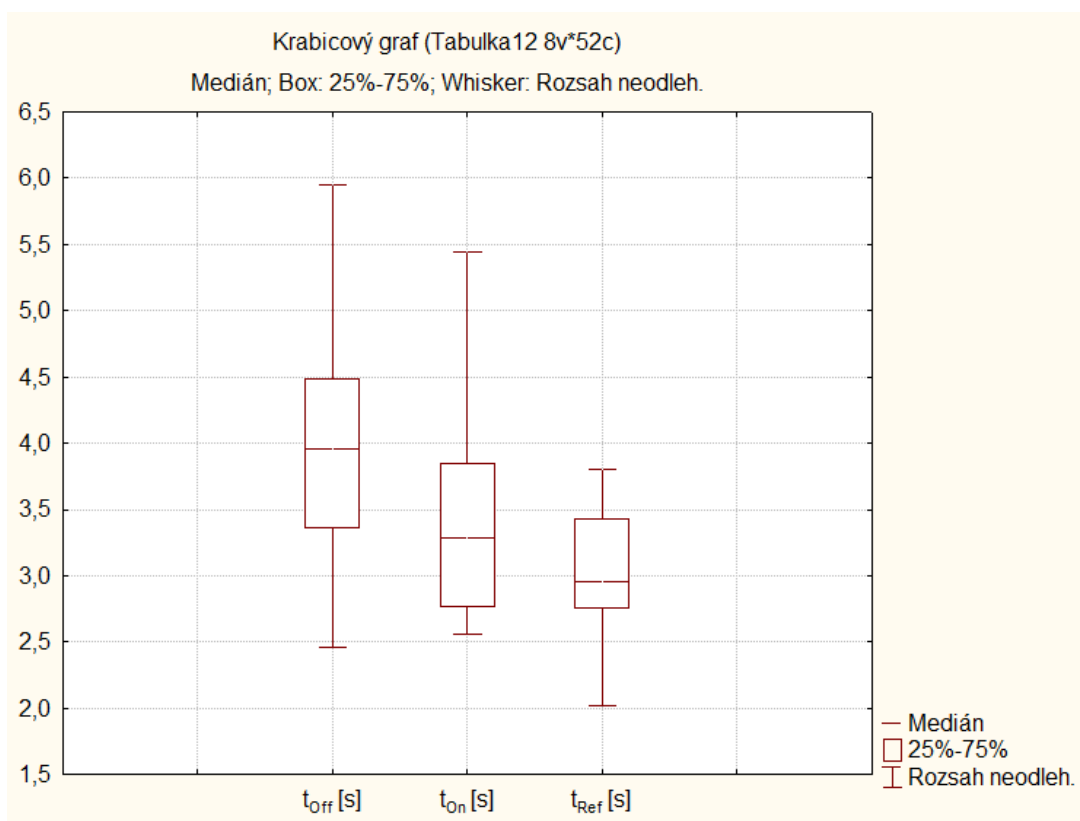
Proto byl vzorec pro DLJ upraven na

$$DLJ = -\frac{(t_2 - t_1)^5}{A^2} \times \int_{t_1}^{t_2} |j|^2 dt, \quad (5)$$

DLJ byl opět vypočítán pro otočku každého dobrovolníka a pro každý senzor zvlášť a vyhodnocen pomocí programu Statistica.

## 6 Výsledky

Jedním z dílčích výsledků byla na základě počtu vzorků vypočítána doba trvání otočky. Ta je znázorněna na obr. 13. Subjektům z referenční skupiny trvala otočka v průměru 2,95 s. Nejdelší doba trvání byla 3,80 s a nejkratší 2,02 s. Skupina subjektů, které byly po 24 hodinové absenci léků, měla průměrnou dobu trvání 4,00 s. Nejpomalejší subjekt této skupiny se otáčel 6,55 s a nejrychlejší 2,46 s. Tاتáž skupina subjektů na lécích se pak otáčela v průměru 3,48 s, nejpomalejší subjekt měl čas 5,78 s a nejrychlejší 2,56. Pacienti s Parkinsonovou chorobou, kteří jsou na antiparkinsonikách, vykazují v průměru o půl vteřiny (0,51 s) zlepšení oproti pacientům bez medikace.



Obr. 13 Krabicový graf časů trvání celé otočky všech skupin. Svislá osa znázorňuje čas  $t$  [s]. Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF

### 6.1 Index ryvu

Předpoklad byl, že referenční skupina bude mít hladší pohyb než skupina pacientů s PCH. Zároveň byla stanovena hypotéza, že výsledky skupiny pacientů s PCH na lécích vykazují větší hladkost než bez léků.

Před testováním hypotéz byla zjištěna normalita dat použitím Shapiro-Wilkova testu normality. Pro všechna data vyšlo  $p \ll 0,05$ . Z toho vyplývá, že normalitu zamítáme. Z toho důvodu byly hypotézy testovány pomocí Wilcoxon rank sum testu.

V rámci předzpracování dat byla otočka rozdělena na dvě části. První část obsahovala prvních 100 vzorků od začátku otočky, druhá část obsahovala 100 vzorků od poloviny otočky. Index ryvu (a také DLJ) byl vypočítán a testován pro každou část zvlášť.

### **6.1.1 První část otočky**

#### **6.1.1.1 Rozlišení mezi skupinou s Parkinsonovou chorobou a kontrolní skupinou**

Na základě průměrného indexu ryvu první bylo vyvozeno, že referenční skupina vykazuje větší hladkost chůze v pravé dolní končetině než skupina s PCH. Pro potvrzení byl proveden Wilcoxon Rank Sum. Hypotézy pro pravou dolní končetinu byly stanoveny takto:

$H_0$  (PDK, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (PDK, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší

Test proběhl na hladině významnosti 0,05 a prokázal, že skupiny se od sebe liší ( $p = 0,001$ ).

Průměrný index ryvu levé dolní končetiny ukazuje, že skupina referenční má hladší průběh otočky než skupina s PD. Opět bylo toto tvrzení ověřeno Wilcoxon Rank Sum testem. Hypotézy pro levou dolní končetinu byly stanoveny následovně:

$H_0$  (LDK, REFvsPD): index ryvu levé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (LDK, REFvsPD): index ryvu levé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší



Levá dolní končetina referenční skupiny se významně odlišuje ( $p = 0,03$ ) od skupiny subjektů s PD, tudíž nulovou hypotézu zamítáme.

Výsledky indexu ryvu ze senzoru, umístěným na hrudníku opět naznačují, že referenční skupina má hladší otočku než pacienti s PCH.

$H_0$  (HD, REFvsPD): index ryvu na hrudníku pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (HD, REFvsPD): index ryvu na hrudníku pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší

Toto tvrzení bylo opět otestováno. Test ukázal, že skupiny se liší ( $p = 0,002$ ), nulovou hypotézu tedy zamítáme.

#### **6.1.1.2 Rozlišení mezi skupinou na medikaci a bez medikace**

Dalším krokem bylo vyhodnocení rozdílu pacientů s Parkinsonovou chorobou před a po podání medikace. V tomto testu výsledky tolik jednoznačné nebyly.

Průměrný index ryvu levé dolní končetiny ukazuje, že otočka pacientů po podání medikace je hladší než před podáním medikace. Toto tvrzení bylo podrobena testu Wilcoxon Rank Sum. Nulová a alternativní hypotéza byly stanoveny:

$H_0$  (LDK, ONvsOFF): index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se neliší

$H_1$  (LDK, ONvsOFF): index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se liší

Test proběhl na hladině významnosti 0,05 a prokázal, že skupiny se od sebe liší ( $p = 0,014$ ). Nulová hypotéza byla zamítnuta.

Průměrný indexy ryvu pravé dolní končetiny naznačuje, že skupina pacientů má po podání antiparkinsonik hladší chůzi. Tento předpoklad byl opět testován na hladině významnosti 0,05. Byly stanoveny hypotézy:

$H_0$  (PDK, ONvsOFF): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se neliší

$H_1$  (PDK, ONvsOFF): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se liší

Test ovšem vyhodnotil, že pro senzor umístěný na pravé dolní končetině byl rozdíl indexu ryvu nevýznamný, tudíž byla přijata nulová hypotéza ( $p = 0,13$ ).

Průměrný index ryvu hrudníku ukazuje, že skupina s absencí medikace má méně hladkou otočku než skupina s medikací.

$H_0$  (HD, ONvsOFF): index ryvu z hrudníku pacienta na léčích a bez léků se neliší

$H_1$  (HD, ONvsOFF): index ryvu z hrudníku pacienta na léčích a bez léků se liší

Test proběhl na hladině významnosti 0,05 a prokázal, že skupiny se od sebe liší ( $p = 0,003$ ). Nulová hypotéza byla zamítnuta.

Veškeré výsledky pro první fázi otočky lze vidět v tabulkách 2 a 3.

První část	$J_{\text{index}} [\text{m}\cdot\text{s}^{-3}]$ Off	$J_{\text{index}} [\text{m}\cdot\text{s}^{-3}]$ On	$J_{\text{index}} [\text{m}\cdot\text{s}^{-3}]$ Ref
PDK	1101,41 ± 916,19	1774,89 ± 1746,84	3699,59 ± 3229,96
LDK	1113,47 ± 1032,76	2246,28 ± 1692,19	2722,64 ± 3074,93
HD	13,76 ± 9,25	34,07 ± 45,01	37,56 ± 48,04

Tab. 2 Průměrná hodnota indexu ryvu ± směrodatná odchylka první části otočky

	PD x Referenční sk.	PD On x Off
Pravá dolní končetina	0,001	0,01
Levá dolní končetina	0,03	0,13
Hrudník	0,002	0,003

Tab. 3 Výsledky rozdílů indexu ryvu první části otočky skupin hladině významnosti 0,05

## 6.1.2 Druhá část otočky

### 6.1.2.1 Rozlišení mezi skupinou s Parkinsonovou chorobou a kontrolní skupinou

Pro druhou část otočky byl zvolen stejný postup vyhodnocování jako u první části. Průměrný index ryvu pravé dolní končetiny naznačuje, že referenční skupina vykazuje větší hladkost chůze v pravé dolní končetině než pacienti trpící Parkinsonovou chorobou. Veškeré hypotézy byly stanoveny takto:

$H_0$  (PDK, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (PDK, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší

$H_0$  (LDK, REFvsPD): index ryvu levé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (LDK, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší

$H_0$  (HD, REFvsPD): index ryvu na hrudníku pacienta s PCH a kontrolní skupinou se neliší

$H_1$  (HD, REFvsPD): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta s PCH a kontrolní skupinou se liší

Na základě Wilcoxon Rank Sum testu na hladině významnosti 0,05 byly veškeré nulové hypotézy zamítnuty.

### **6.1.2.2 Rozlišení mezi skupinou na medikaci a bez medikace**

Na základě průměrných indexů ryvu byly stanoveny nulové a alternativní hypotézy pro druhou část otočky pro rozlišení mezi skupinou na lécích a bez léků:

$H_0$  (LDK, ONvsOFF): index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se neliší

$H_1$  (LDK, ONvsOFF): index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se liší

$H_0$  (PDK, ONvsOFF): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se neliší

$H_1$  (PDK, ONvsOFF): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta na lécích a bez léků se liší

$H_0$  (HD, ONvsOFF): index ryvu z hrudníku pacienta na lécích a bez léků se neliší

$H_1$  (HD, ONvsOFF): index ryvu z hrudníku pacienta na lécích a bez léků se liší

Pro veškeré skupiny přijímáme nulovou hypotézu. Skupiny neprokázaly rozdíl na hladině významnosti 0,05. Výsledky naleznete v tabulkách 4 a 5.

Druhá část	$J_{\text{index}} [\text{m.s}^{-3}]$ Off	$J_{\text{index}} [\text{m.s}^{-3}]$ On	$J_{\text{index}} [\text{m.s}^{-3}]$ Ref
PDK	1279,31 ± 1375,24	1859,13 ± 1514,17	2375,56 ± 1679,58
LDK	599,23 ± 492,19	1222,59 ± 1201,25	2638,58 ± 3246,94
HD	9,37 ± 7,92	17,93 ± 17,76	48,53 ± 43,11

Tab. 4 Průměrná hodnota indexu ryvu ± směrodatná odchylka druhé části otočky (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích)

	PD x Referenční sk.	PD On x Off
Pravá dolní končetina	0,003	0,06
Levá dolní končetina	0,01	0,17
Hrudník	0,000002	0,06

Tab. 5 Výsledky rozdílů indexu ryvu druhé části otočky skupin (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích) na hladině významnosti 0,05

### 6.1.3 První a druhá část

Pro srovnání byl srovnán index ryvu pro první a pro druhou část pro každý senzor. Nulové hypotézy byly určeny následovně:

$H_0$  (1x2, PDK, ON): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta na lécích 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, PDK, OFF): index ryvu pravé dolní končetiny pacienta bez léků 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, PDK, REF): index ryvu pravé dolní končetiny referenční skupiny 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, LDK, ON): index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, LDK, OFF): index ryvu levé dolní končetiny pacienta bez léků 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, LDK, REF): index ryvu levé dolní končetiny referenční skupiny 1. a 2. části se neliší

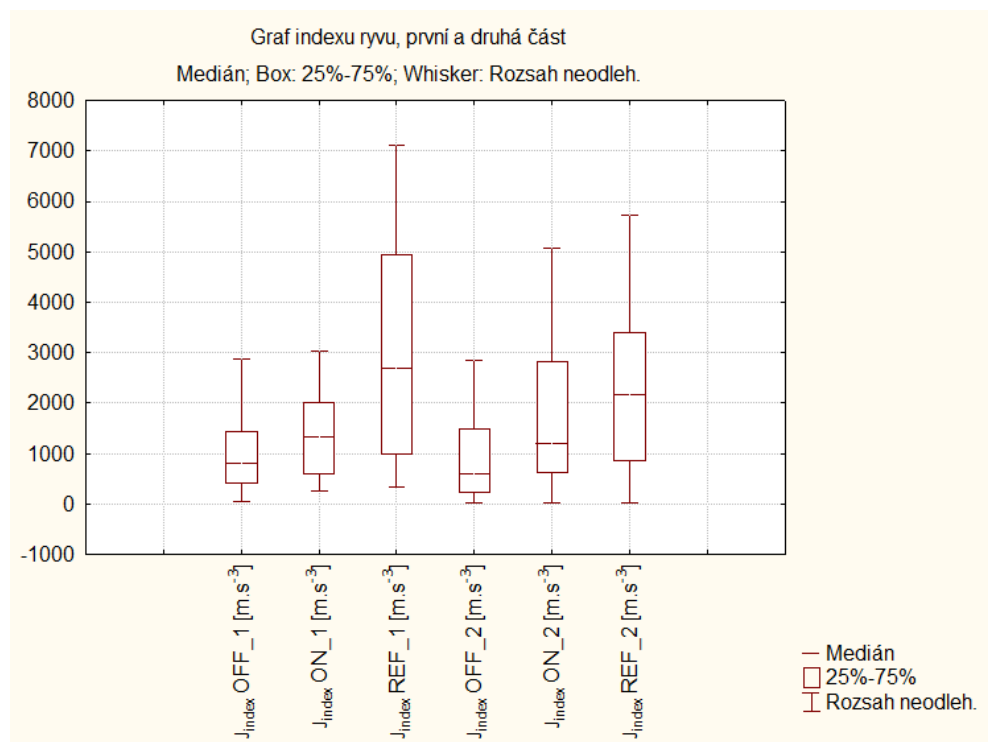
$H_0$  (1x2, HD, ON): index ryvu hrudního senzoru pacienta na lécích 1. a 2. části se neliší

$H_0$  (1x2, HD, OFF): index ryvu hrudního senzoru pacienta bez léků 1. a 2. části se neliší

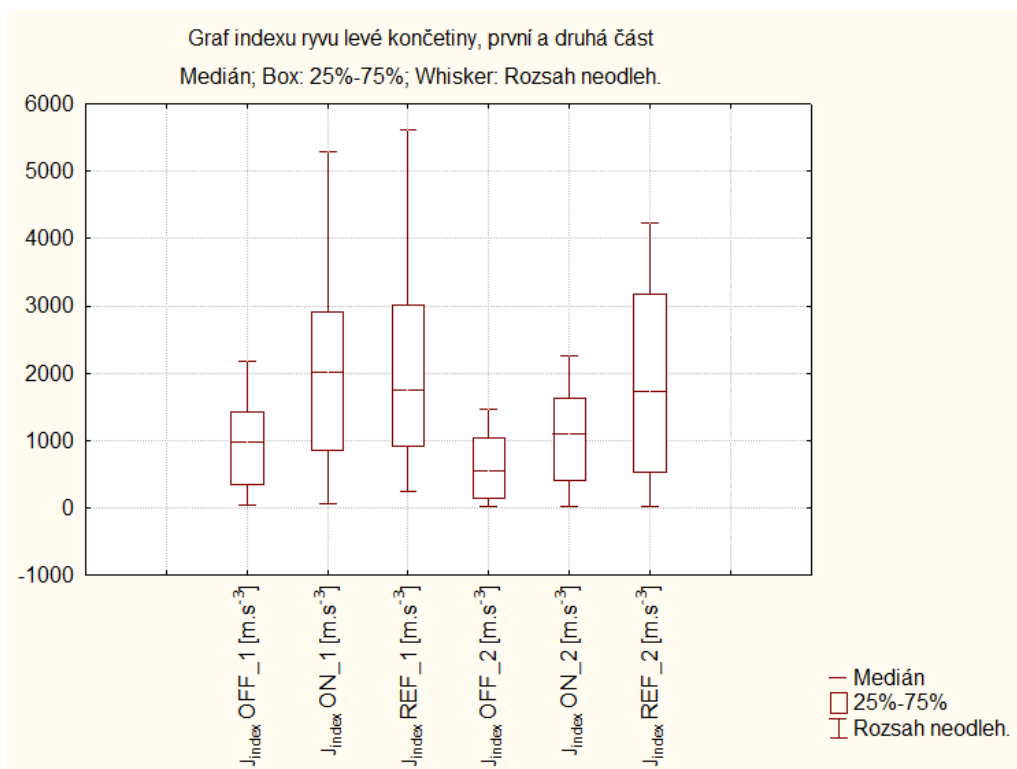
$H_0$  (1x2, HD, REF): index ryvu hrudního senzoru referenční skupiny 1. a 2. části se neliší.

Všechny nulové hypotézy byly přijaty kromě  $H_0$  (1x2, LDK, ON). V tomto případě musíme přijmout alternativní hypotézu, která zní: index ryvu levé dolní končetiny pacienta na lécích se v 1. a 2. části liší na hladině významnosti 0,05.

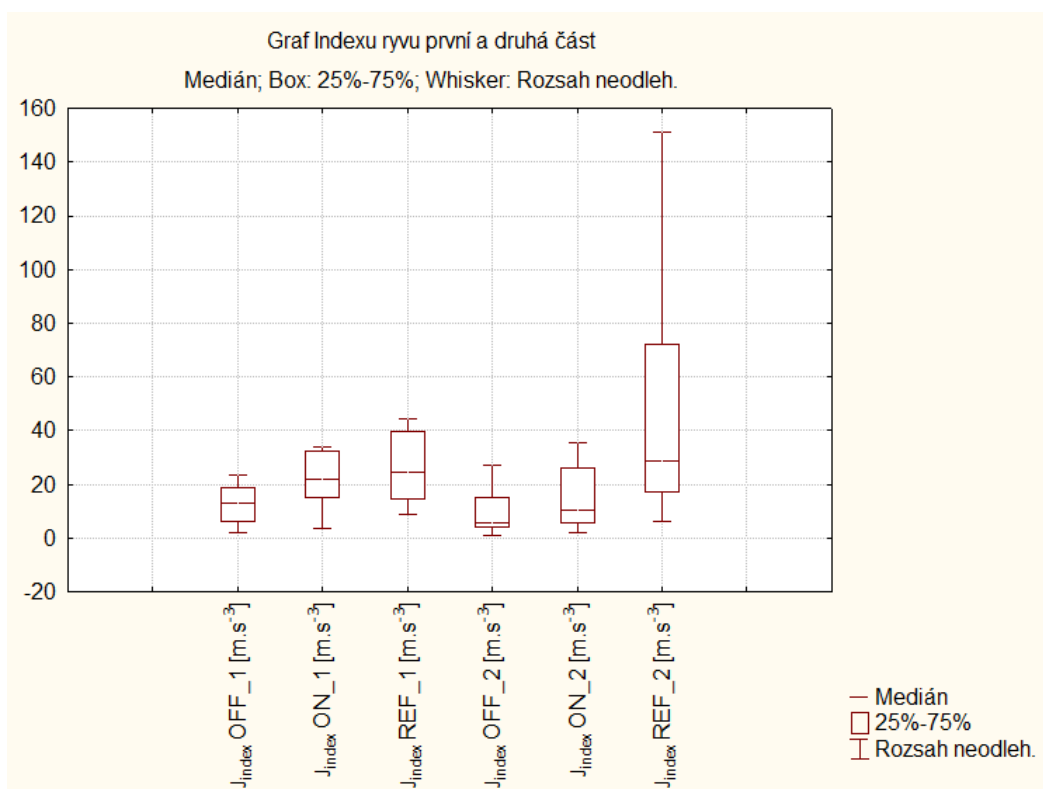
Níže jsou uvedeny (obr. 14, 15 a 16) krabicové grafy indexu ryvu pacientů na medikaci i bez medikace a kontrolní skupiny v první (označení \_1) a druhé (označení \_2) části otočky.



Obr. 14 Index ryvu pravé dolní končetiny. Svislá osa znázorňuje Index ryvu  $J_{index}[m \cdot s^{-3}]$  Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky



Obr. 15 Index ryvu levé dolní končetiny. Svislá osa znázorňuje Index ryvu  $J_{index}[m*s^{-3}]$  Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky



Obr. 16 Index ryvu hrudníku. Svislá osa znázorňuje Index ryvu  $J_{index}[m*s^{-3}]$  Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky

## 6.2 Bezrozměrný ryv

Jako druhou metodu ukazatele hladkosti byl vybrán bezrozměrný ryv. Hlavní úkol bezrozměrného ryvu (dále jen DLJ) je odstranit časovou a amplitudovou závislost ukazatele hladkosti. To může být užitečné pro odstranění amplitud, způsobených běžným houpáním končetin při chůzi. Předpoklad byl, že data „očesaná“ o píky budou vykazovat rozdíl pouze v hrudním senzoru a v senzoru levé dolní končetiny. Předpoklad, že pravé dolní končetiny se lišit nebudou, byl stanoven, protože pravá dolní končetina je končetinou opornou při otáčení.

Průměrný DLJ pravé dolní končetiny v první i druhé části otočky ukazuje, že referenční skupina má hladší pohyb při otočce než skupina s PCH, ale zároveň, že skupina bez léků má hladší pohyb při otočce, než skupina na lécích. Toto bylo podrobena testu Wilcoxon rank sum testu, protože data nespĺňují podmínky pro provedení Anovy ani t-testu.  $H_0$  říká, že skupiny referenční se skupinou PD, a skupiny na lécích a bez léků se neliší. Na základě testu byla nulová hypotéza přijata, a to pro obě skupiny, pro obě části testu.

Průměrný DLJ levé dolní končetiny první části testu ukazuje, že skupina s PD má hladší pohyb při otočce než referenční skupina, ale zároveň, že skupina na medikaci má hladší pohyb při otočce než skupina s absencí medikace. Zároveň ale můžeme vidět, že v druhé části otočky vykazuje nejlepší hladkost skupina na lécích. Dále pak lze vyčíst, že skupina referenční má větší hladkost pohybu než skupina PD bez léků.  $H_0$  říká, že skupiny referenční se skupinou PD, a skupiny na lécích a bez léků se neliší. Na základě testu byla nulová hypotéza přijata, a to pro obě skupiny, pro obě části testu.

Pro průměrný DLJ vypočítaný z dat z hrudního senzoru se ukázalo, že v první části je jednoznačně hladší pohyb referenční skupiny oproti skupině s PCH, a zároveň, že skupina bez léků vykazuje větší hladkost než skupina na lécích. V druhé části otočky pak průměrný DLJ naznačuje, že skupina bez léků má nejhladší pohyb oproti zbylým dvěma skupinám. Wilcoxon rank sum test prokázal rozdíl pouze mezi skupinou s PCH a referenční skupinou ve druhé části testu. Pro ostatní skupiny byla přijata nulová hypotéza.

Na základě těchto výsledků byla prověřena korelace dat každé skupiny. Byla provedena Spearmanova korelace každé skupiny zvlášť. Výsledek Spearmanovy korelace ukázal, že vypočítané DLJ spolu ve většině případů nekorelují. Výsledky korelace lze vidět v příloze 3.

Výsledky všech DLJ jsou soustředěny v tabulkách 6, 7, 8 a 9.

První část	DLJ x10 <sup>13</sup> Off	DLJ x10 <sup>13</sup> On	DLJ x10 <sup>13</sup> Ref
PDK	-103,66 ± 402,26	-2334,32 ± 10166,94	-3,36 ± 7,82
LDK	-13,76 ± 38,05	-6,70 ± 19,21	-45,68 ± 173,40
HD	-3,05 ± 12,15	-63,75 ± 263,04	-0,08 ± 0,21

Tab. 6 Průměrná hodnota DLJ ± směrodatná odchylka první části otočky (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích)

První část	PD x Referenční sk.	PD On x Off
Pravá dolní končetina	0,14	0,75
Levá dolní končetina	0,27	0,72
Hrudník	0,60	1,00

Tab. 7 Výsledky rozdílů DLJ první části otočky skupin (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích) na hladině významnosti 0,05

Druhá část	DLJ x10 <sup>13</sup> Off	DLJ x10 <sup>13</sup> On	DLJ x10 <sup>13</sup> Ref
PDK	-6,47 ± 15,12	-9,01 ± 27,95	-1,17 ± 1,35
LDK	-66,42 ± 202,91	-1,68 ± 4,37	-19,61 ± 46,67
HD	-0,79 ± 1,98	-1,71 ± 6,72	-4,09 ± 12,12

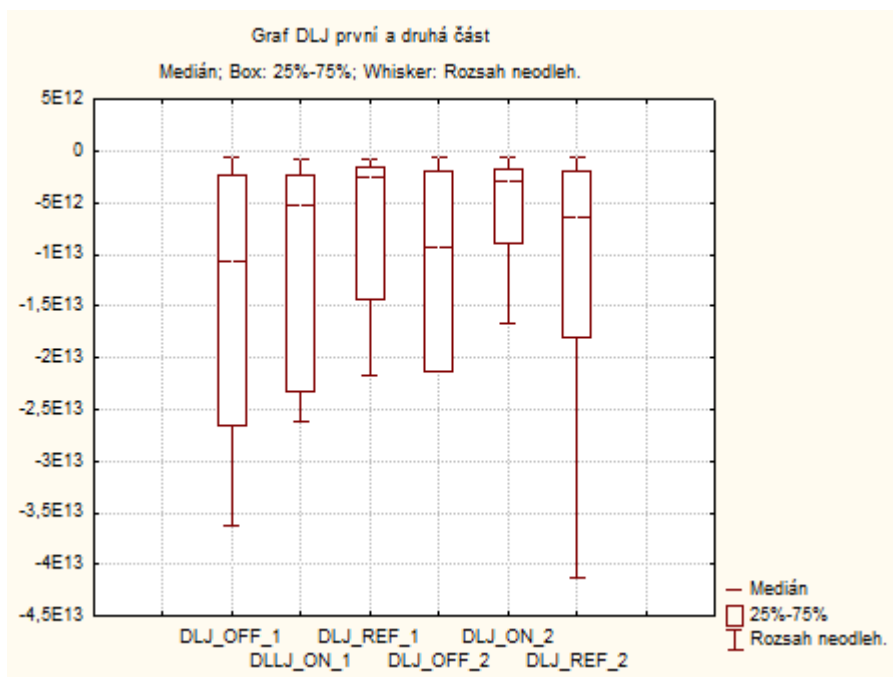
Tab. 8 Průměrná hodnota DLJ ± směrodatná odchylka druhé části otočky (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích)

Druhá část	PD x Referenční sk.	PD On x Off
Pravá dolní končetina	0,70	0,29
Levá dolní končetina	0,70	0,68
Hrudník	0,02	0,10

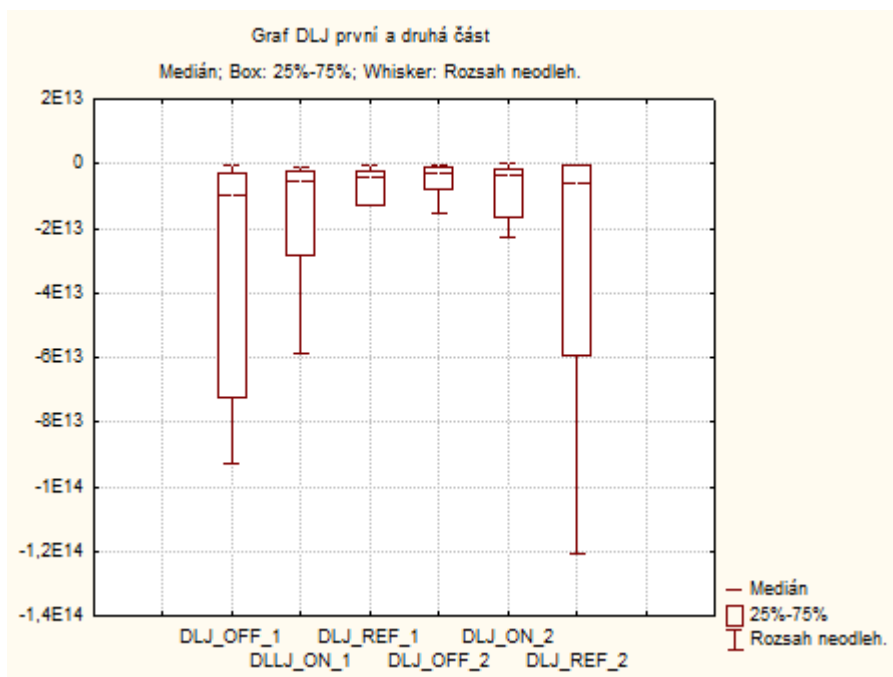
Tab. 9 Výsledky rozdílů DLJ druhé části otočky skupin (PD = skupina s Parkinsonovou chorobou, On = na lécích) na hladině významnosti 0,05

Níže jsou k nalezení obrázky (obr. 17, 18 a 19) krabicových grafů bezrozměrného ryvu pacientů na medikaci i bez medikace a kontrolní skupiny v první (označení \_1) a druhé (označení \_2) části otočky.

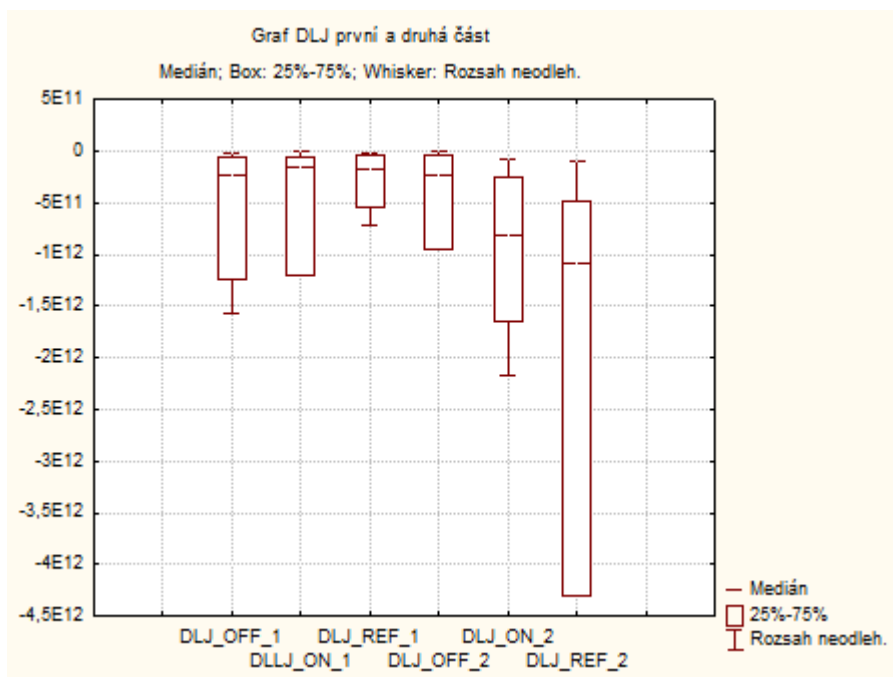




Obr. 17 Graf DLJ PDK skupin ON, OFF, REF. Svislá osa znázorňuje bezrozměrný ryv. Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky



Obr. 18 Graf DLJ LDK skupin ON, OFF, REF. Svislá osa znázorňuje bezrozměrný ryv. Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky



Obr. 19 Graf DLJ HD skupin ON, OFF, REF. Svislá osa znázorňuje bezrozměrný ryv. Vodorovná osa slouží k rozdělení skupin OFF, ON a REF v první a druhé části otočky

## 7 Diskuse

Výsledkem mé diplomové práce je analýza parametrů hladkosti chůze z hodnot získaných z akcelerometru umístěného na dolních končetinách a hrudníku při otáčení v rámci provádění Timed Up and Go testu. Jako hlavní parametr byla zvolena hladkost, která je určena pomocí parametrů a to indexem ryvu  $J_{\text{index}}$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-3}$ ] a bezrozměrným ryvem DLJ. Výsledky těchto parametrů jsou uvedeny v kapitole 4. Oba tyto parametry byly testovány pomocí Wilcoxon rank sum testu na hladině významnosti 0,05.

V rámci předzpracování dat byla otočka rozdělena na dvě stejné části. Každý subjekt měl jiný počet vzorků, tudíž i jinou časovou délku otáčení. Jako nejrychlejší v provádění otočky byla shledána referenční skupina subjektů bez parkinsonismu. Naopak nejpomalejší skupinou v tomto testu byla shledána skupina parkinsoniků bez medikace. Zatímco nejrychlejší otočka trvala pouze 2 s, nejpomalejší trvala 6 s. Právě tento rozdíl vedl k rozdělení na části. Tím bylo dosaženo toho, že data byla porovnatelná v rámci skupin. Alternativní metoda by mohla být doplnění dat do souborů s rychleji probíhajícími otočkami. Tato metoda zvolena v tomto případě nebyla, protože by mohla způsobit zkreslení dat.

Jako první parametr byl vypočítán a testován index ryvu. Vypočítaný index ryvu pravé dolní končetiny naznačuje, že referenční skupina by mohla mít hladší chůzi v otočce než PD skupina. Výsledky indexu ryvu pro pravou dolní končetinu skupiny subjektů po absenci medikace vykazují nižší číslo indexu ryvu než po podání medikace. Z toho lze říci, že tyto subjekty mají nejmenší hladkost pohybu v PDK než po podání léku. Na základě indexu ryvu levé dolní končetiny v první části otočky lze předpokládat, že hladkost mezi skupinou referenční a PD je odlišná. V případě rozlišení mezi skupinami ON a OFF nedošlo k potvrzení rozdílnosti skupin. Ryv levé nohy vykazoval podobnou hladkost v obou skupinách (ON i OFF), z toho důvodu nebyl nalezen rozdíl. Na základě výsledků a otestování hypotéz indexů ryvu z hrudního senzoru bylo zjištěno, že skupina s Parkinsonovou chorobou se liší od referenční skupiny. Zároveň bylo potvrzeno, že skupina s PCH je odlišitelná ve stavu na lécích a bez léků.

Index ryvu druhé části otočky ukázal, že pacienti s PCH se odlišují od skupiny referenční v pravé dolní končetině, v levé dolní končetině i hrudníku. Referenční skupina projevuje větší hladkost pohybu při chůzi než kontrolní skupina. Rozdílnost skupiny s Parkinsonovou chorobou ve stavu bez antiparkinsonik a s nimi v druhé části

otočky nebyl potvrzen ani v jednom ze senzorů. To by mohlo být způsobeno několika faktory. Druhá část otočky má viditelně „klidnější průběh“ a tím i nižší výkyvy zrychlení. To mohlo způsobit nemožnost odlišení parkinsoniků, zda jsou na medikaci či nikoli. Důvodem by také mohl být nízký počet vzorků, nebo kombinací výše zmíněných. Dále to mohlo být způsobeno nedostatečnou citlivostí indexu ryvu.

Přesto, že index ryvu nevyhodnotil rozdíl mezi skupinou na lécích a bez léků v druhé části otočky, na základě výsledků mezi referenční skupinou a skupinou s PCH by se dalo říci, že rozlišovací schopnost indexu ryvu je vhodná pro rozlišení mezi skupinou s Parkinsonovou chorobou a mezi kontrolní skupinou.

Vypočítané výsledky bezrozměrného ryvu pro první i druhou část otočky ukazují značný rozptyl a nelze tedy na základě těchto výsledků jednoznačně určit míru hladkosti otočky. Ani Wilcoxon Rank Sum test neprokázal rozdílnost mezi výsledky skupiny parkinsoniků a referenční skupiny. Test nepotvrdil ani rozdílnost skupiny parkinsoniků na lécích a bez léků.

Metoda bezrozměrného ryvu se neukázala dostatečně senzitivní pro určení hladkosti pohybu takto krátkého úseku otočky. Důvodů pro toto nevhodnost tohoto testu by mohlo být několik. Jeden z důvodů by mohl být, že testovaný (měřený) vzorek je pro tento způsob příliš krátký. Data jsou v tomto případě porovnávána za daný časový úsek, nikoli v dráze. Tím vzniká veliká rozdílnost vypočítaných výsledků, odchylka od průměru a také větší chyba. Pro následující analýzy otočky u TUG testu parkinsoniků navrhuji dva postupy nebo jejich kombinaci. Jednou z možností je upravit samotné měření. Pacienti by byli instruováni, aby se neotáčeli na místě, ale aby otočka proběhla kolem nějakého předmětu, například židle. Židle není ideálně zvoleným předmětem, ale je vždy k dispozici a dává otočce měřitelnou dráhu. To pak povede k prodloužení dráhy a trvání otočky. Tím se získá větší počet vzorků pro vyhodnocování otočky. Dalším způsobem by bylo doplnit sady dat, tak aby počty vzorků byly shodné a analyzovat tyto doplněné sady. Doplnění do počtu vzorků však nesmí vést ke zkreslení výsledků.

Z výsledků vyplývá, že parametr indexu ryvu má rozlišovací schopnost mezi skupinou s parkinsonismem a skupinou referenční dostatečně vhodnou pro účely analýzy otočky na místě v rámci Timed Up and Go testu. Z výsledků také vyplývá, že bezrozměrný ryv neprokázal citlivost pro rozlišení skupin vykonávajících otočku na místě.

## 8 Závěr

Cílem práce bylo zjištění vlivu Parkinsonovy choroby na chůzi v otočce při Timed Up and Go testu. Bylo zjištěno, že Parkinsonova choroba má vliv na hladkost chůze. Ta byla určena pomocí dvou parametrů a to indexem ryvu a bezrozměrným ryvem.

Metodou za použití bezrozměrného ryvu nebylo dosaženo dostatečné rozpoznání mezi skupinou s Parkinsonovou chorobou a skupinou referenční. Na základě statistického vyhodnocení se metoda indexu ryvu projevila jako vhodná metoda vyhodnocení hladkosti v otočce a vykazuje schopnost rozlišit mezi referenční skupinou subjektů bez Parkinsonovy choroby a skupinou trpící Parkinsonovou chorobou. Dále také prokázala schopnost rozlišení mezi skupinou pacientů s medikací a s absencí medikace u pravé dolní končetiny a hrudníku v první části otočky.

## Seznam použité literatury

- [1] ROTH, Jan, Marcela SEKYROVÁ a Evžen RŮŽIČKA. *Parkinsonova nemoc*. 4., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Maxdorf, c2009, 222 s. Medica. ISBN 978-80-7345-178-3.
- [2] Vše o Parkinsonově chorobě. *Vše o Parkinsonově chorobě* [online]. 2015 [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.parkinsonovachoroba.cz/>
- [3] Ayyappa, E. (1997). Normal Human Locomotion, Part 1: Basic Concepts and Terminology. *Journal of Prosthetics & Orthotics*, 9(1), pp. 10-17
- [4] TUG. *Dynavision International LLC* [online]. West Chester, USA: 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://products.dynavisioninternational.com/products/gait-and-balance>
- [5] XBUS Kit ABOUT XSENS TECHNOLOGIES: Ambulatory measurement of human motion. *Radiant Group of Companies* [online]. Netherlands, 2010 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: [http://www.radiant.su/files/images/xsens/xbus\\_kit\\_leaflet\\_09.pdf](http://www.radiant.su/files/images/xsens/xbus_kit_leaflet_09.pdf)
- [6] 3D Motion Analysis System Could Prevent Shoulder Injuries in Baseball Pitchers. *Industry tap into news*[online]. 2013 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.industrytap.com/3d-motion-analysis-system-could-prevent-shoulder-injuries-in-baseball-pitchers/4668>
- [7] MTw Development Kit. *XSENS* [online]. 2015 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.xsens.com/products/mtw-development-kit/>
- [8] A normative data-set of Timed Up and Go component times under different conditions. *XSENS* [online]. 2015 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.xsens.com/customer-cases/normative-data-set-timed-go-component-times-different-conditions/>
- [9] Risk Factor Assessment Tools. Minnesota Fall Prevention [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.mnfallsprevention.org/professional/assessmenttools.html>
- [10] Understanding Quaternions. CHRobotics LLC [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.chrobotics.com/library/understanding-quaternions>
- [11] Gimbal lock. Wikipedia® [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gimbal\\_lock](https://en.wikipedia.org/wiki/Gimbal_lock)
- [12] What is the term used for the third derivative of position? The Original Usenet Physics FAQ [online]. 1996 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://math.ucr.edu/home/baez/physics/General/jerk.html>

- [13] BALASUBRAMANIAN, Sivakumar, Alejandro MELENDEZ-CALDERON, Agnes ROBY-BRAMI a Etienne BURDET. On the analysis of movement smoothness. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2015, 12(1), - [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1186/s12984-015-0090-9. ISSN 1743-0003. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/12/1/112>
- [14] Hogan N, Sternad D. Sensitivity of Smoothness Measures to Movement Duration, Amplitude and Arrests. *Journal of motor behavior*. 2009;41(6):529-534. doi:10.3200/35-09-004-RC.
- [15] VÝRUT, Radek. Kvaterniony [online]. In: . Katedra matematiky, Západočeská univerzita v Plzni, 2009 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://geometrie.kma.zcu.cz/index.php/www/content/download/918/2589/file/Kvaterniony.pdf>.
- [16] GHASEMLOONIA, Ahmad, a spol. *Surgical Skill Assessment Using Motion Quality and Smoothness* [online]. 2017 [cit. 2017-05-10]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2016.10.006>. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1931720416302100>
- [17] HORN, Berthold K.P. Some Notes on Unit Quaternions and Rotation [online]. In: . 2001 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://people.csail.mit.edu/bkph/articles/Quaternions.pdf>
- [18] VAN WAVEREN, J.M.P. From Quaternion to Matrix and Back [online]. In: . 2005 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.mrelusive.com/publications/papers/SIMD-From-Quaternion-to-Matrix-and-Back.pdf>
- [19] Angles\_02. In: *CMP CTU* [online]. 2006 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/labsmaterial/CRS/>
- [20] Understanding Euler Angles. In: *CHRobotics LLC* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.chrobotics.com/library/understanding-euler-angles>
- [21] AUGUSTINOVÁ, Šárka a Romana SKÁLA-ROSENBAUM. Parkinsonova nemoc v ČR - aktuální průzkum. In: *Edukafarm* [online]. 2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.edukafarm.cz/c1421-parkinsonova-nemoc-v-cr-aktualni-pruzkum>
- [22] Aner Weiss, Talia Herman, Meir Plotnik, Marina Brozgol, Inbal Maidan, Nir Giladi, Tanya Gurevich, Jeffrey M. Hausdorff, Can an accelerometer enhance the utility of the Timed Up & Go Test when evaluating patients with Parkinson's disease?, *Medical Engineering & Physics*, Volume 32, Issue 2, March 2010, Pages 119-125, ISSN 1350-4533, <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2009.10.015>.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453309002318>)

[23] Martina Mancini, Katrijn Smulders, Rajal G. Cohen, Fay B. Horak, Nir Giladi, John G. Nutt, The clinical significance of freezing while turning in Parkinson's disease, *Neuroscience*, Volume 343, 20 February 2017, Pages 222-228, ISSN 0306-4522, <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.045>.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306452216306807>)

[24] L. Palmerini, L. Rocchi, S. Mellone, F. Valzania, L. Chiari, Quantitative evaluation of the instrumented Timed Up and Go in Parkinson's disease, *Gait & Posture*, Volume 33, Supplement 1, April 2011, Page S17, ISSN 0966-6362, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.10.022>.

[25] Parkinsons disease. In: *We Care Health Services* [online]. 2016 [cit. 2017-05-14].

Dostupné z: <http://wecareindia.com/parkinsons-disease-surgery/>

[26] KORČÁKOVÁ, Ivona. Analýza chůze pomocí EMG signálů. In: *Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z:

[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103280](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103280)

[27] TAMIREZ, Barros. Estudo da Marcha [online]. In: . 2011 [cit. 2017-05-16].

Dostupné z: <http://fisiolive.blogspot.cz/2011/12/estudo-da-marcha.html>

[28] TMAURA, Toshiyo, Nor Aini ZAKARIA, Yutaka KUWAE, Masaki SEKINE, Kotaro MINATO a Masaki YOSHIDA. Quantitative analysis of the fall-risk assessment test with wearable inertia sensors. In: *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* [online]. IEEE, 2013, s. 7217-7220 [cit. 2017-05-17]. DOI: 10.1109/EMBC.2013.6611223. ISBN 978-1-4577-0216-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6611223/>

[29] CONRADSSON, David, Caroline PAQUETTE, Johan LÖKK a Erika FRANZÉN. Pre- and unplanned walking turns in Parkinson's disease – Effects of dopaminergic medication. *Neuroscience* [online]. 2017, 341, 18-26 [cit. 2017-05-17]. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.11.016. ISSN 03064522. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306452216306376>

[30] Extrapyramidový systém. In: *Velký lékařský slovník* [online]. 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/extrapyramidovy-system>

[31] WHITTLE, Michael W. *Gait analysis: an introduction* [online]. 4. vydání. Elsevier, 2017 [cit. 2017-05-17]. ISBN 13: 9-780- 7506-8883-3.

[32] HALLIDAY, Suzanne E, David A WINTER, James S FRANK, Aftab E PATLA a François PRINCE. The initiation of gait in young, elderly, and Parkinson's disease



subjects. *Gait & Posture* [online]. 1998, 8(1), 8-14 [cit. 2017-05-17]. DOI: 10.1016/S0966-6362(98)00020-4. ISSN 09666362. Dostupné z:

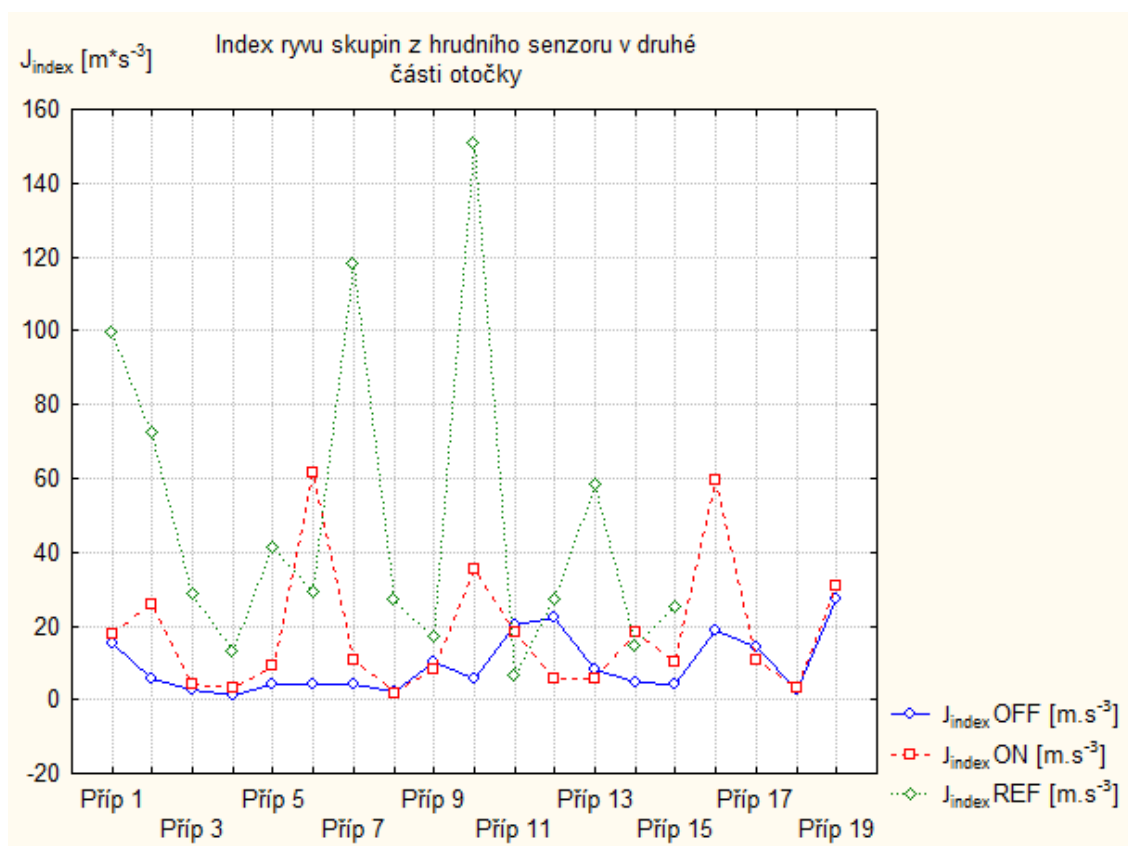
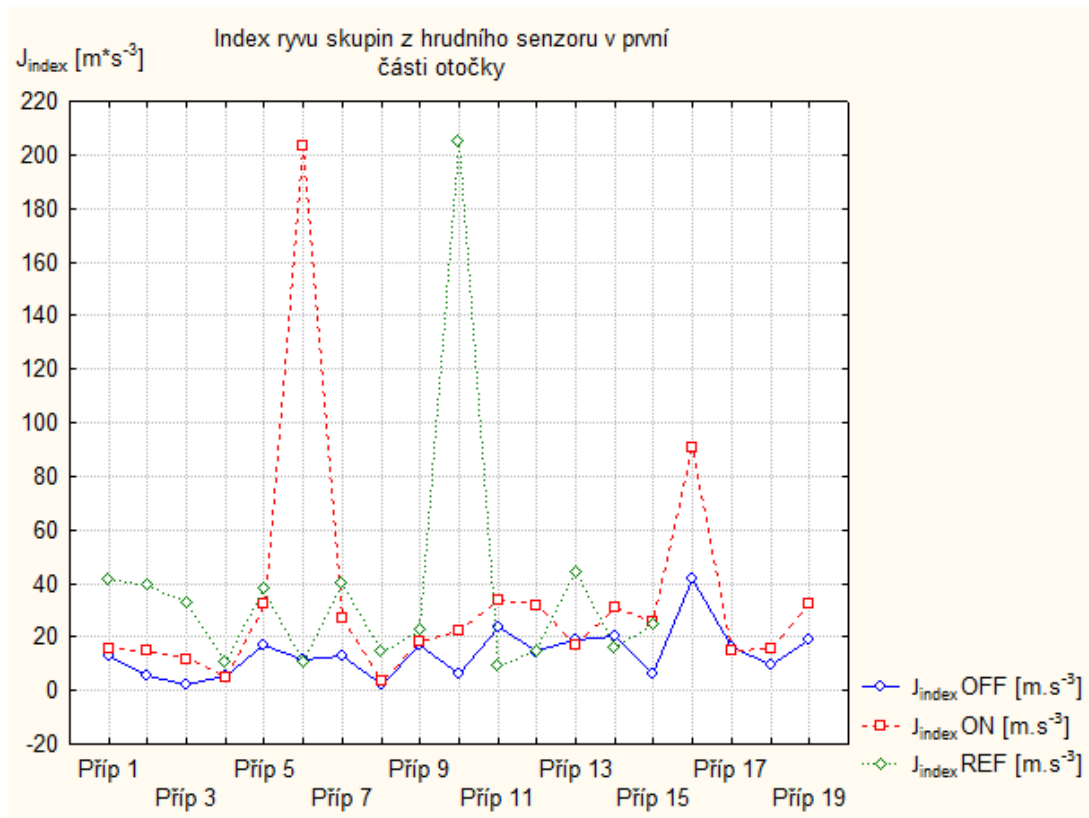
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636298000204>

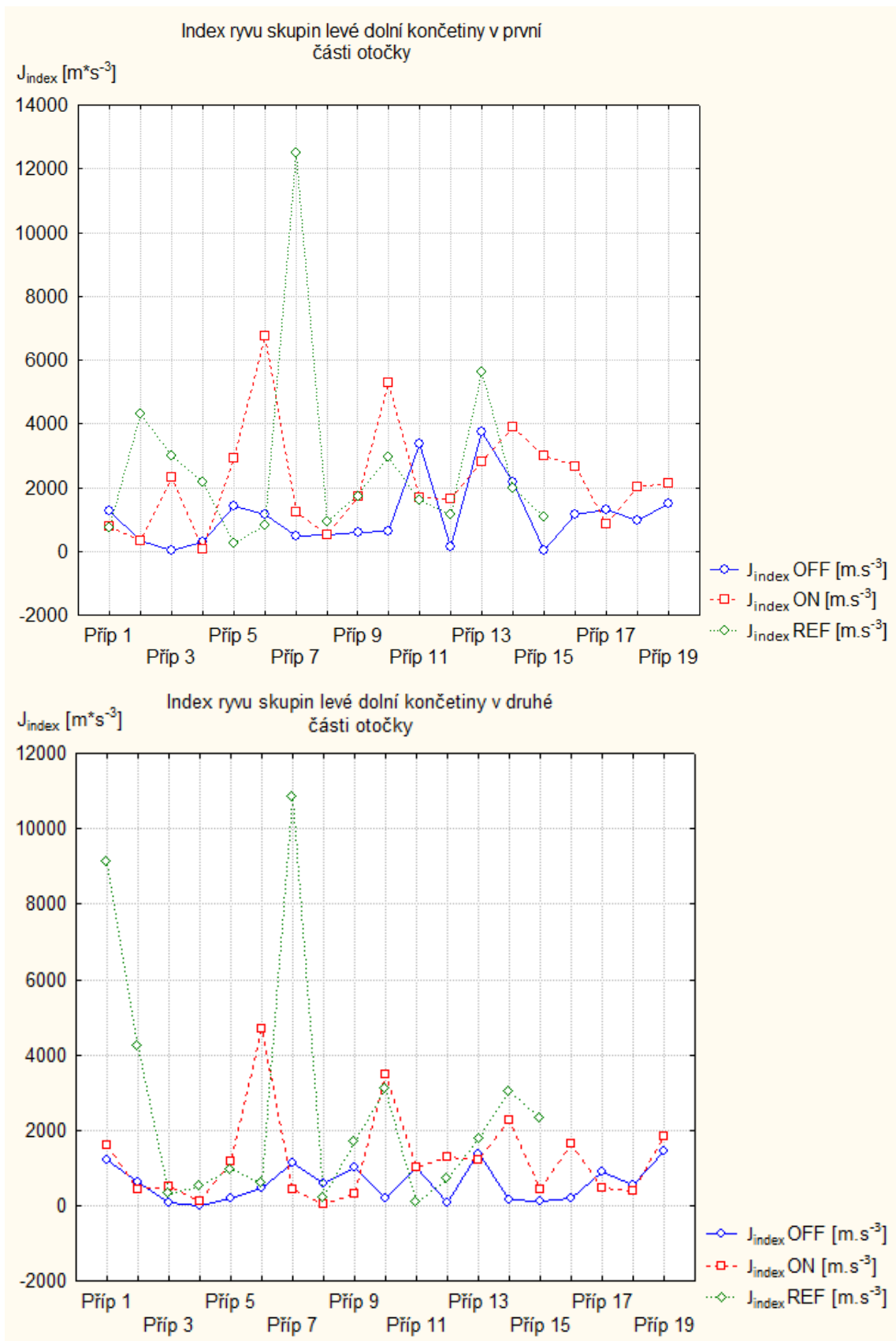
[32] SALARIAN, Arash, Fay B HORAK, Cris ZAMPIERI, Patricia CARLSON-KUHTA, John G NUTT a Kamiar AMINIAN. ITUG, a Sensitive and Reliable Measure of Mobility. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* [online]. 2010, 18(3), 303-310 [cit. 2017-05-18]. DOI: 10.1109/TNSRE.2010.2047606. ISSN 1534-4320. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5446357/>

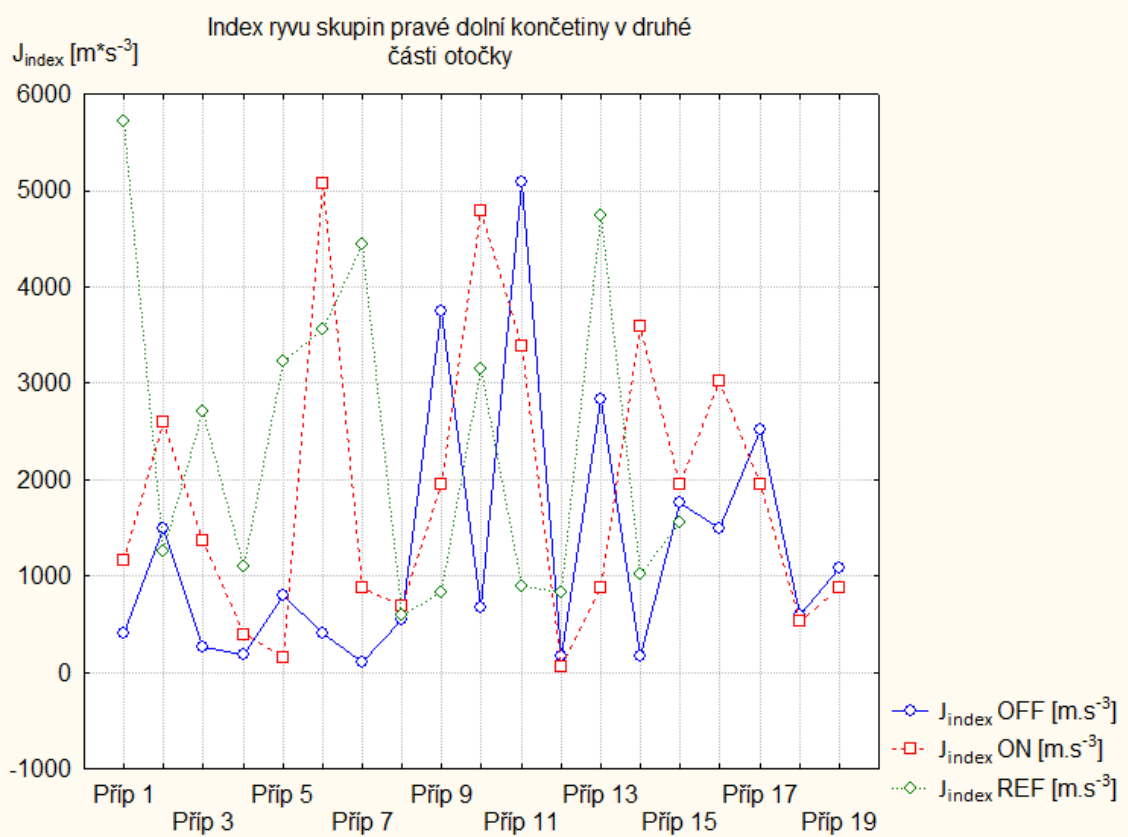
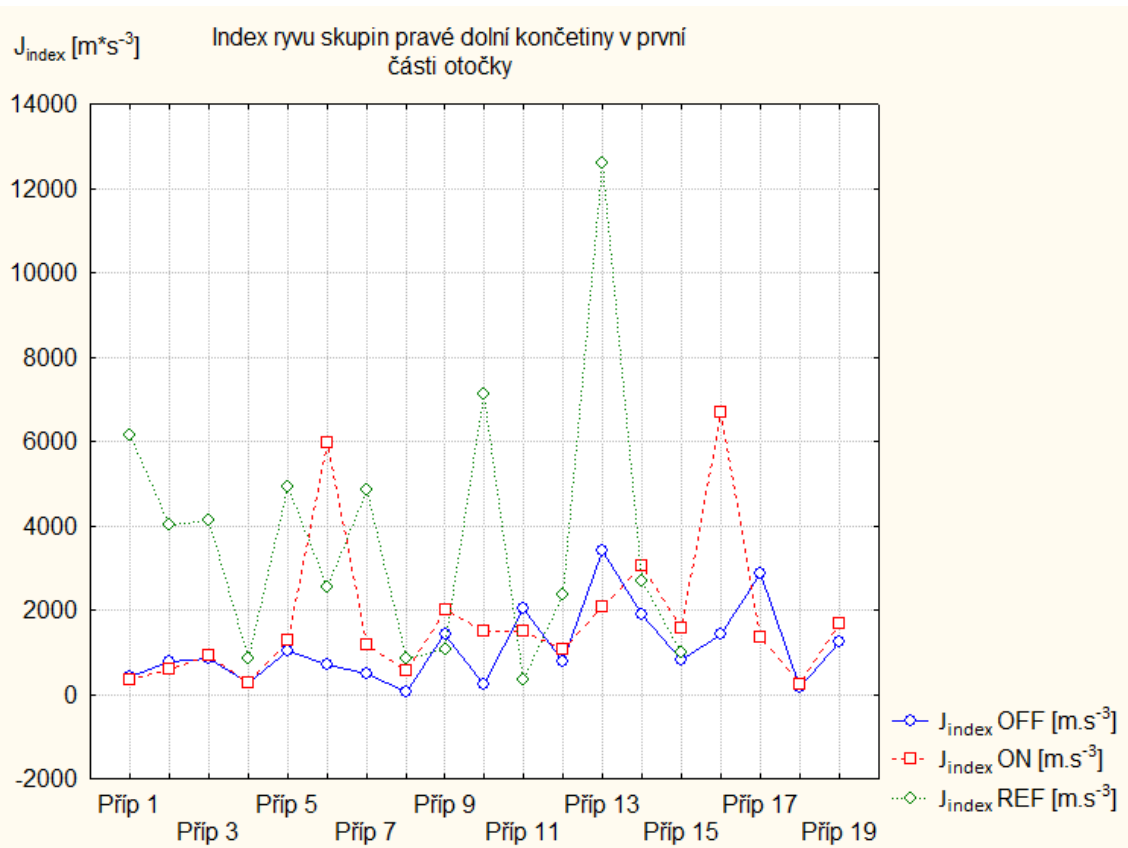
## **Seznam příloh**

Příloha 1: Grafické zobrazení indexů ryvu pro skupiny ON, OFF a PD	50
Příloha 2: Grafické zobrazení DLJ pro skupiny ON, OFF a PD	53
Příloha 3: Tabulky korelací DLJ první části otočky	56
Příloha 4: Tabulky korelací DLJ druhé části otočky	57

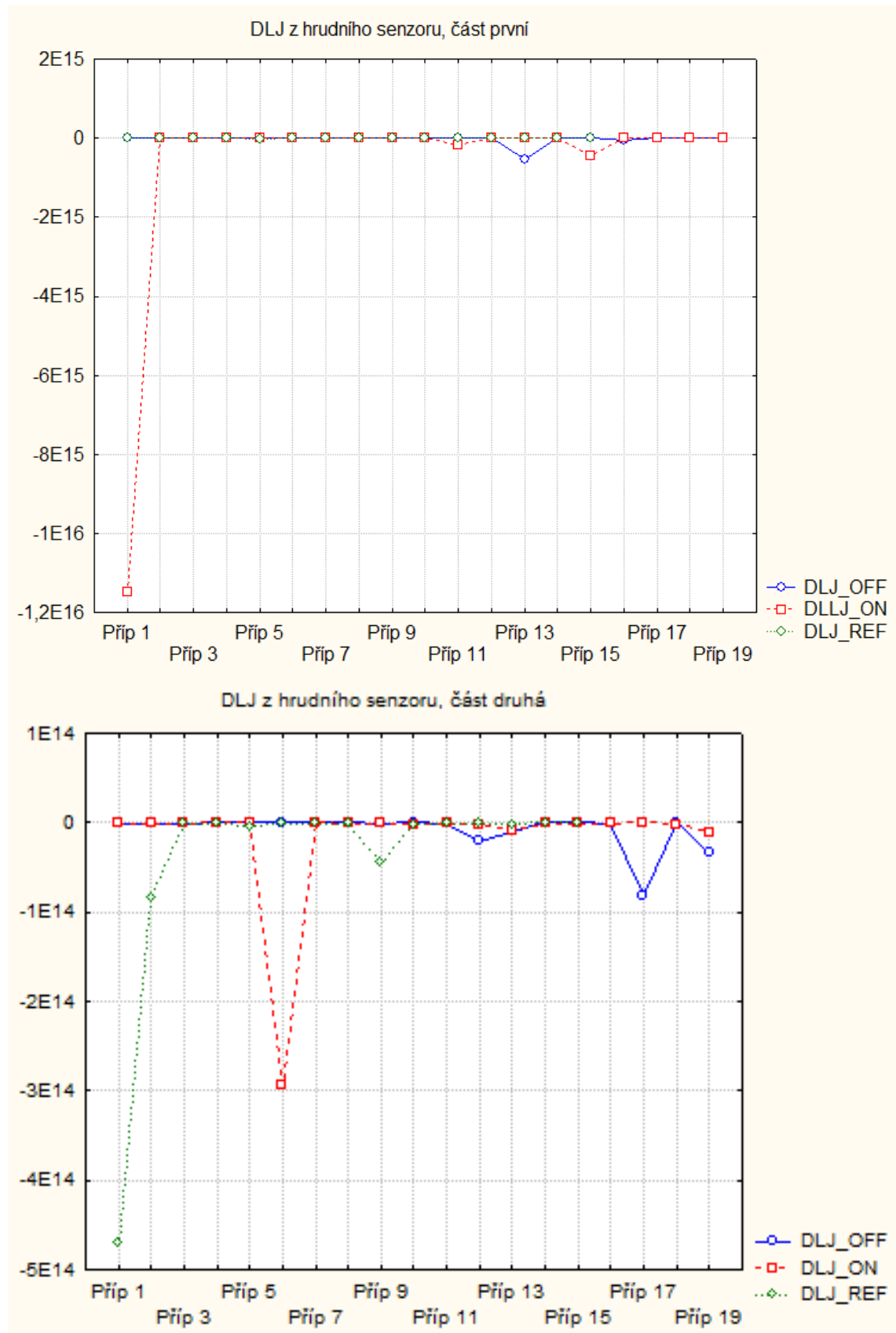
## Příloha 1: Grafické zobrazení indexů ryvu pro skupiny ON, OFF a PD

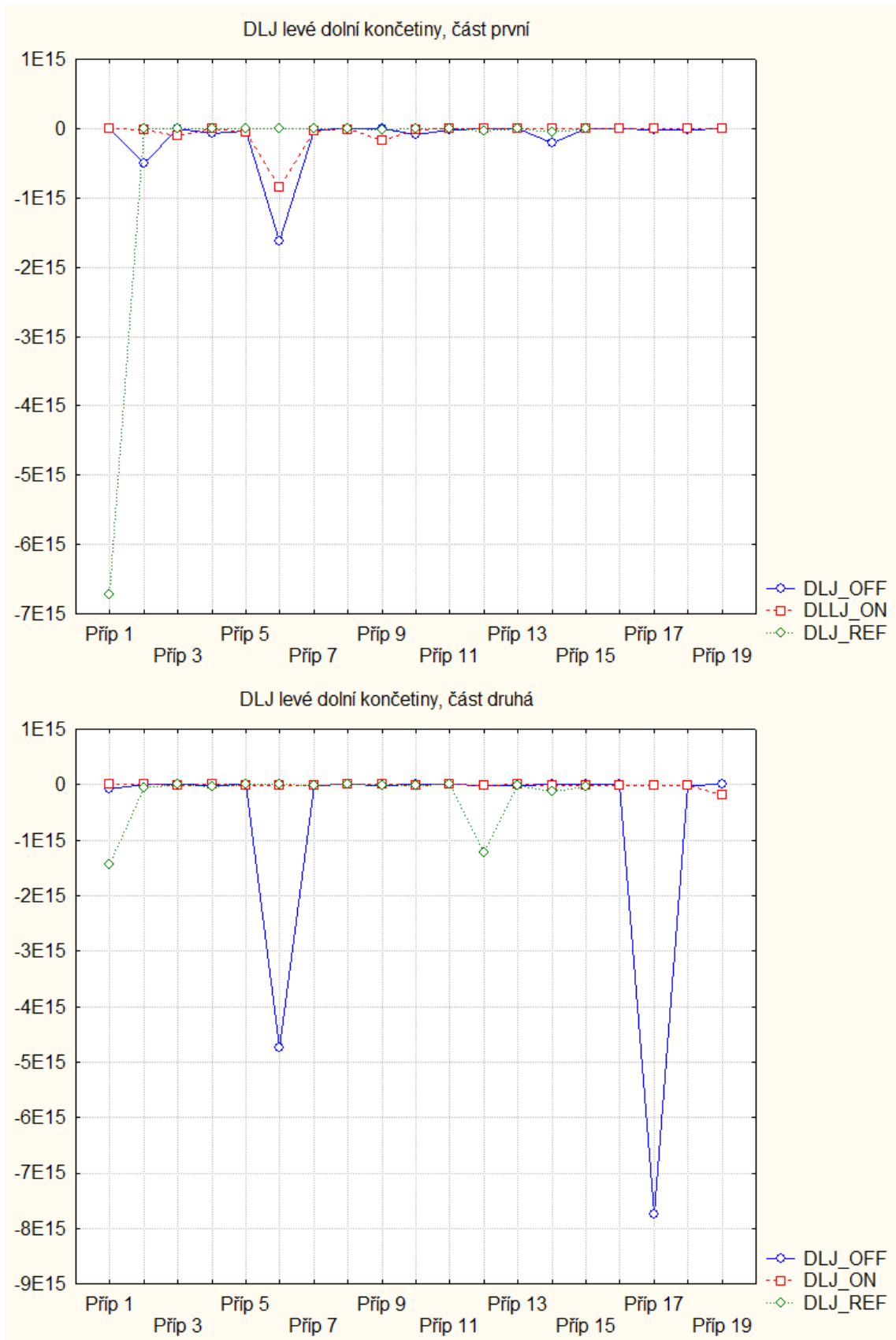




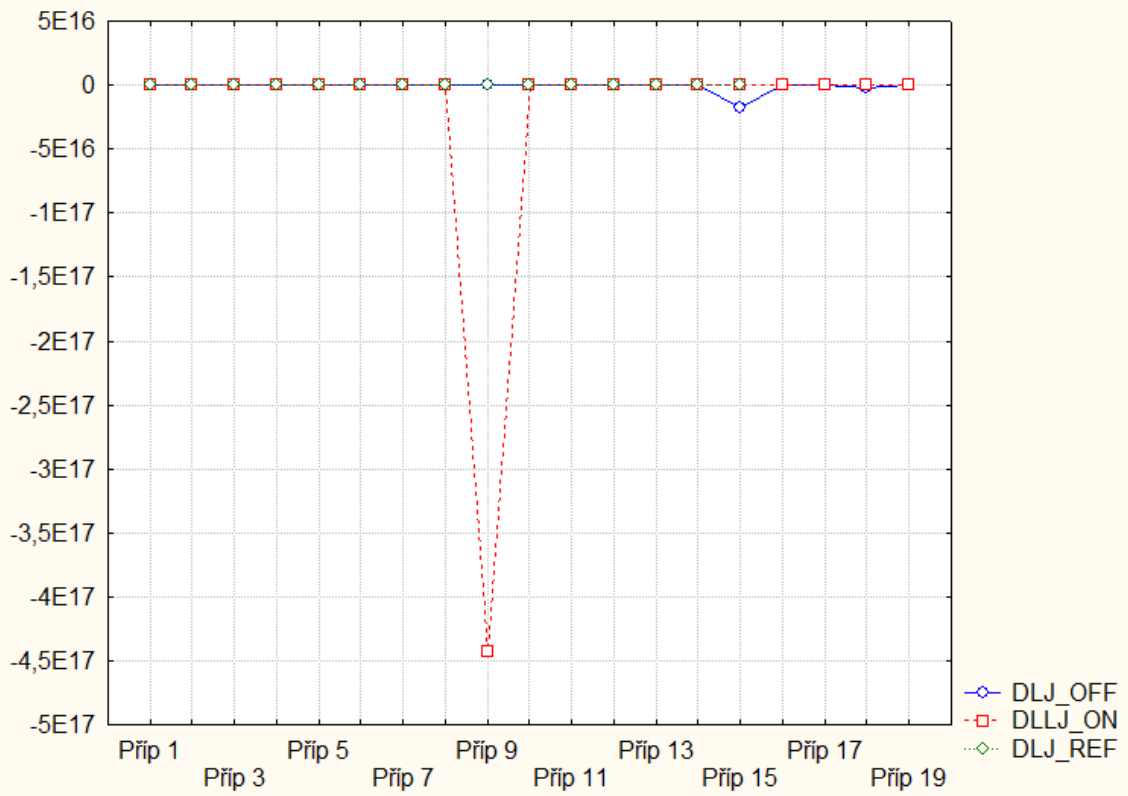


**Příloha 2: Grafické zobrazení bezrozměrného ryvu pro skupiny ON, OFF a PD**

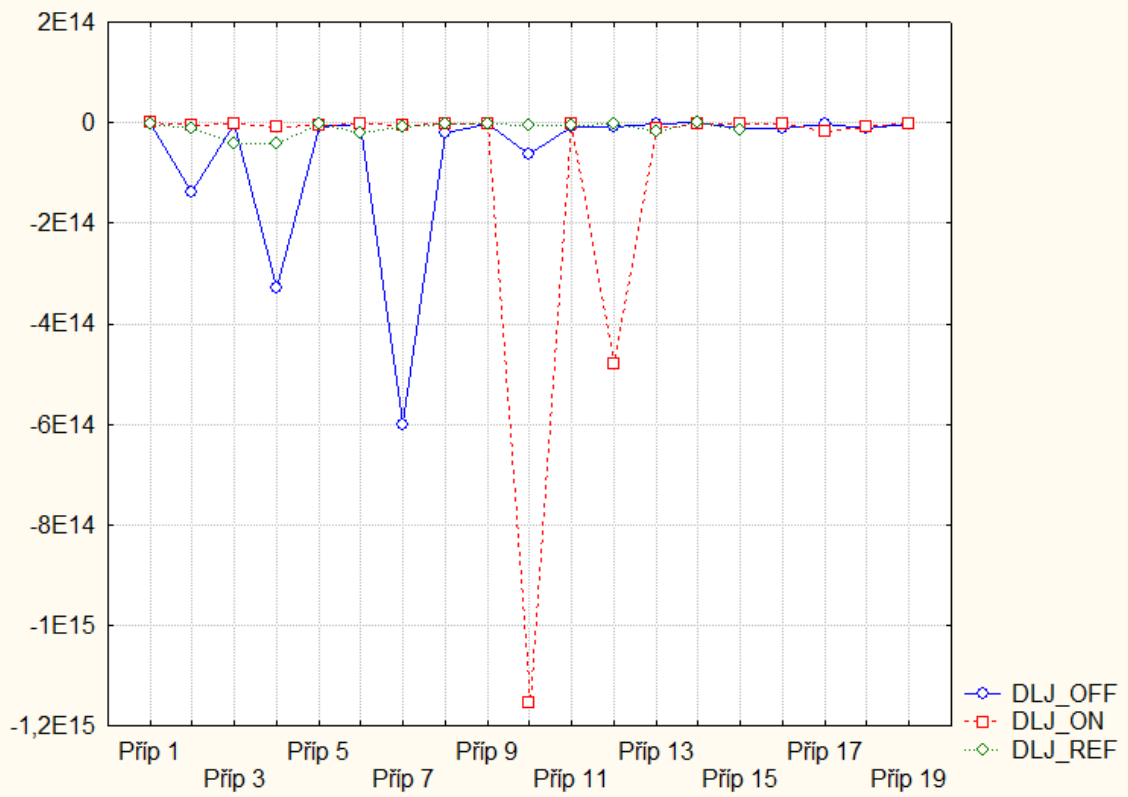




DLJ pravé dolní končetiny, část první



DLJ pravé dolní končetiny, část druhá





### Příloha 3: Tabulky korelací DLJ první části otočky

Korelační koeficienty referenční skupiny

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	-0,342857	-0,553571
LDK	-0,342857	1,000000	0,196429
PDK	-0,553571	0,196429	1,000000

Korelační koeficienty ON

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	-0,126316	-0,431579
LDK	-0,126316	1,000000	0,568421
PDK	-0,431579	0,568421	1,000000

Korelační koeficienty OFF

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	0,135088	0,271930
LDK	0,135088	1,000000	-0,421053
PDK	0,271930	-0,421053	1,000000

#### Příloha 4: Tabulky korelací DLJ druhé části otočky

Korelační koeficienty referenční skupiny

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	0,153571	0,000000
LDK	0,153571	1,000000	-0,335714
PDK	0,000000	-0,335714	1,000000

Korelační koeficienty ON

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	0,131579	-0,105263
LDK	0,131579	1,000000	0,149123
PDK	-0,105263	0,149123	1,000000

Korelační koeficienty OFF

	HD	LDK	PDK
HD	1,000000	0,166667	-0,380702
LDK	0,166667	1,000000	-0,277193
PDK	-0,380702	-0,277193	1,000000