

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TEORIE OBVODŮ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**HODNOCENÍ POSTULÁRNÍ STABILITY STOJE VYUŽITÍM
NELINEÁRNÍCH METOD**

2019

AUTOR: BC. MICHAELA HOUROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE: DOC. ING. PATRIK KUTÍLEK, PH.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hourová** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **420214**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Biomedicínské inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Biomedicínské inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení posturální stability stoje využitím nelineárních metod

Název diplomové práce anglicky:

Evaluation of Postural Stability Using Nonlinear Methods

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte v prostředí MATLAB SW řešení pro potřeby měření a hodnocení posturální stability stoje osob za využití dvojice stabilometrických plošin.
2. Zaměřte se na návrh nelineárních metod měření a hodnocení centra tlaku pod chodidly (COP), které umožní kvantitativně vyhodnotit vývoj změny polohy COP osob se zhoršenou schopností kontroly posturální stability.
3. Navržené metody otestujte minimálně na padesáti subjektech a statisticky vyhodnoťte aplikovatelnost Vámi navržených metod pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Luigi Ladislao, Sandro Floretti – Nonlinear analysis of posturographic data – Springer-Verlag 05 July 2007.
[2] James T. Cavanaugh, Kevin M. Guskiewicz, Nicholas Stergiou – A Nonlinear Dynamic Approach for Evaluating Postural Control – Springer International Publishing 27 November 2012.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Patrik Kutálek, MSc., Ph.D., katedra přírodovědných oborů FBMI

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **10.01.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

doc. Ing. Patrik Kutálek, MSc., Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Rípka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré požitě informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....
podpis autora práce

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, Ph.D. za ochotu poskytnutí svého času, znalostí a zkušeností při vedení mé práce.

Abstrakt:

Práce se zabývá aplikací nelineárních metod pro potřeby měření a hodnocení posturální stability stoje osob za využití dvojice stabilometrických plošin. Zaměřeno je na návrh nelineárních metod pro hodnocení centra tlaku pod chodidly COP. Zkoumány byly anteroposteriorní a mediolaterální výchylky, vzdálenost mezi dvě body a vzdálenost mezi středem souřadnicového systému a bodem COP. Navržené metody jsou implementovány v prostředí MATLAB. Data byla rozdělena dle kritérií věku, BMI, počtu pádů a typu měření. Měření bylo provedeno při otevřených či zavřených očích na měkké či tvrdé podložce stabilometrické plošiny. Měření se účastnilo 113 žen a 24 mužů. Statisticky vyhodnoceny byly ženy z pohledu věku 60-69 let a 70-79 let, jejichž BMI spadalo do kategorie normální a nadváha s obezitou. Bylo provedeno porovnání skupin v závislosti na normalitě dat. Pokud byly porovnávány skupiny s normálním rozdělením, byl aplikován t-Test. V opačném případě byl aplikován Wilcoxonův test. Byly nalezeny významné rozdíly mezi 70-79 let starými ženami s nadváhou či obezitou padajícími a nepadajícími, které měly při měření zavřené oči.

Klíčová slova: posturální stabilita, centrum tlaku, nelineární metody, padači a nepadači, statistická významnost

Abstract:

The aim of this thesis deals with the application of nonlinear methods for the measurement and evaluation of postural stability of a person using a pair of stabilometric platforms. It is focused on the design of nonlinear methods for evaluating the pressure center under foot the COP. Anteroposterior and mediolateral variations, the distance between two points and the distance between the center of the coordinate system and the COP were examined. The proposed methods are implemented in MATLAB. Data were divided according to age, BMI, fall count and measurement type. Measurements were done when the eyes were open or closed on a soft or hard pad of the stabilometric platform. 113 women and 24 men participated in the measurement. Women were statistically evaluated in terms of age 60-69 and 70-79 years, whose BMI was from the category of normal and overweight with obesity. Group comparisons were made based on data normality. If groups with normal distribution were compared, t-Test was applied. Otherwise, the Wilcoxon test was applied. Significant differences were found between 70-79 years old overweight or falling and non-falling obesity women who had closed eyes during measuring.

Key words: postural stability, centre of pressure, nonlinear methods, fallers and non-fallers, statistical significance

Obsah

1. Úvod	10
1.1. Cíle práce	11
2. Současný stav problematiky	12
2.1. Posturografie	12
2.1.1. Stabilometrické plošiny	12
2.1.2. Centrum tlaku	13
2.1.3. Metodika měření	14
2.2. Metody hodnocení dat	15
2.2.1. Metody lineární analýzy	15
2.2.2. Metody nelineární analýzy	15
2.3. Závěr podkapitoly	16
3. Nelineární metody analýzy posturální stability	17
3.1. Určení parametrů pro rekonstrukci prostoru	17
3.1.1. Metoda zpoždění	17
3.1.2. Odhad minimální dimenze	19
3.2. Vybrané parametry rekurentní kvantifikační analýzy	19
3.3. Metoda výpočtu Shannonovy entropie	22
3.4. Metoda výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu	22
3.5. Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu	24
3.6. Metoda výpočtu Aproximační entropie	25
3.7. Parametry Detrendované flukтуаční analýzy	26
3.8. Poincaré plot analýza	27
3.9. Závěr kapitoly	29
4. Návrhová část	30
4.1. Předzpracování dat	30

4.1.1.	Mediolaterální a anteroposteriorní výchylka	30
4.2.	Implementace navržených metod.....	31
4.2.1.	Výpočet výchylky COP	31
4.2.2.	Zpoždění	31
4.2.3.	Minimální dimenze.....	32
4.2.4.	Vybrané parametry Rekurentní kvantifikační analýzy	32
4.2.5.	Metoda výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu	34
4.2.6.	Metoda výpočtu Shannonovy entropie.....	35
4.2.7.	Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu.....	36
4.2.8.	Metoda výpočtu Aproximační entropie	37
4.2.9.	Parametry Detrendované flukтуаční analýzy.....	37
4.2.10.	Poincaré plot analýza	38
4.3.	Závěr kapitoly	40
5.	Aplikace navržených hodnot	41
5.1.	Měření.....	41
5.1.1.	Stabilometrické plošiny	42
5.2.	Průběh měření.....	44
5.3.	Závěr kapitoly	45
6.	Zpracování a vyhodnocení výsledků experimentů	45
6.1.1.	Zpracování dat.....	45
6.1.2.	Wilcoxonův test.....	49
6.1.3.	t-test	49
6.1.4.	Výsledky aplikace metod pro hodnocení stability stoje.....	50
6.2.	Závěr kapitoly	51
7.	Diskuze	52
8.	Závěr.....	54
8.1.	Naplnění cílů práce.....	54
8.2.	Doporučení dalšího řešení.....	54

9. Použitá literatura.....	55
10. Přílohy.....	58

Přehled použitých zkratk a symbolů

zkratka symbol	anglická varianta názvu	česká varianta názvu
AP	anteroposterior direction	anteroposteriorní směr
ML	mediolateralis direction	mediolaterální směr
COP	centre of pressure	centrum tlaku
EC	eyes closed	zavřené oči
EO	eyes opened	otevřené oči
MEC	firm surface eyes closed	kombinace měkké podložky a zavřených očí
MEO	firm surface eyes opened	kombinace měkké podložky a otevřených očí
LLE	Largest Lyapunov exponent	Největší Lyapunův exponent
ApEn	Aproximation entropy	Aproximační entropie
DET	Determinismu	Determinismus
LMAX	Longest horizontal line	Nejdelší horizontální linie
LAM	Laminarity	Laminarita
TT	Trapping time	-

VMAX	Longet vertical line	Nejdelší vertikální linie
DIV	Divrgence	Diergence
Shannon	Shannon entropy	Shannonova entropie
DFA-Alpha	Detrended fluctuation analysis-Alpha	Detrendovaná fluktuační analýza-Alfa
Hurst	Hurst exponent	Hurstův exponent
SD1	-	Poincaré plot parametr
SD2	-	Poincaré plot parametr
N	normal	normální (BMI)
O+O	owerweight+obese	nadváha+obezita
60	-	60-69 let
70	-	70-79 let
dva body	-	euklidovská vzdálenost mezi dvěma body COP
střed a bod	-	euklidovská vzdálenost mezi středem souřadnicového systému a bodem COP

1. Úvod

Vzhledem k neustále prodlužující se délky života a rychlejšího stárnutí populace se zvyšuje riziko postižení člověka zdravotními obtížemi spojenými s vyšším věkem. Jedním z těchto problémů je postupná degradace tzv. posturální stability. Zhoršení této stability má za následek změnu stoje vedoucí k potenciálním pádům. Z tohoto důvodu je potřeba včasné rozpoznání nebezpečí pádu. Pokud by se podařilo včas diagnostikovat riziko pádu, existovala by šance předejít budoucímu pádu a s ním spojené zdravotní následky a rekonvalescence, která je ve vyšším věku náročnější.

Různé patologie narušující senzory vnímání, pohyb a orientaci v prostoru, tj. ovlivňují posturální stabilitu. Mezi příčiny patří například Alzheimerova a Parkinsonova nemoc, cerebelární a vestibulární syndromy a spousta dalších nemocí, které ovlivňují orgány ovlivňující rovnováhu. Člověk udržuje rovnováhu pomocí synchronizace zpracování svalových a neurálních systémů. Mezi ně patří Golgiho šlachy, vestibulární systém a vizuální vstup. [12]

V dnešní době existuje mnoho způsobů, jak měřit posturální stabilitu. Pro měření se používají velmi často např. stabilometrické plošiny. Tyto plošiny se skládají z pevné stabilní desky, pod níž jsou rozmístěny senzory. Plošiny mohou být zakomponovány do statických či motorizovaných zařízení pro umělé vytvoření nestability. Desky jsou ploché či prohnuté. Kývavé desky mají navíc autonomní měřicí zařízení pro měření výchylky plošiny od roviny.[11]. Posturální stabilitu stoje lze kvantifikovat pomocí tzv. bodu Centre of foot Pressure (COP) měřeného stabilometrickými plošinami. Hodnocením měřených dat následně můžeme kvantitativně zhodnotit posturální stabilitu stoje.

Kvantitativní analýza popisuje posturální stabilitu z mechanického a neurofyzilogického pohledu. [12]

V této práci jsou zpracována data naměřená pomocí soustavy dvou statických stabilometrických plošin, přičemž bylo využito především méně často aplikovaných metod nelineární analýzy dat. Důvodem aplikace nelineárních metod je jejich slabá aplikace v praxi. V této práci si kladu za jeden z cílů právě otestování řady metod nelineární analýzy pro hodnocení posturální stability stoje osob s nebezpečím pádů. Navržené metody by následně měli nalézt využití v klinické praxi.

1.1. Cíle práce

Cílem práce je návrh softwarového řešení pro potřeby měření a hodnocení posturální stability stoje osob za využití soustavy dvou stabilometrických plošin. Primárně je zaměřeno na volbu, návrh a aplikaci nelineárních metod pro hodnocení centra tlaku pod chodidly, tzv. COP. Tyto metody mají kvantitativně vyhodnotit vývoj změny polohy COP osob se zhoršenou schopností kontroly posturální stability během klinického vyšetření. Navržené metody mají být otestovány minimálně na padesáti subjektech. Aplikovatelnost navržených parametrů pro praxi má být statisticky vyhodnocena. Implementace nelineárních metod má být provedena v prostředí MATLAB a statisticky vyhodnocena.

2. Současný stav problematiky

2.1. Posturografie

Posturografie je metoda hodnocení polohy působíště sil pod chodidly při stoji či chůzi. Pro měření jsou využity rovinné desky s tlakovými či siloměrnými plošinami (viz. kapitola 2.1.1), které umožňují sledovat změnu v rozložení sil pod chodidly. [23]

Posturografie se dělí na statickou a dynamickou. Při statické posturografii je deska fixovaná, v dynamické posturografii je deska volně pohyblivá. [12]

2.1.1. Stabilometrické plošiny

Pro měření dat vycházející z posturální stability jsou využívány stabilometrické plošiny. Tyto plošiny určují polohu výsledné kontaktní síly pomocí soustavy vhodně umístěných siloměrných snímačů pod deskou. Snímače jsou obvykle založené a odporových tenzometrech. Obecně jsou využívány čtyři snímače, které jsou rozmístěny do každého rohu desky.

Plošiny umožňují vypočítat hmotnostní působení na jednotlivé senzory a zároveň celkovou sílu a polohu jejich působíště na danou desku. Desky se často používají v párech po jedné pod každé chodidlo. Desky pak mají označení pro pravou a levou nohu.[23]

Důvodem označení je předejití záměny dat pro následný přepoččet mediolaterální a anterioposteriorní výchylky COP (viz. kapitola 4.1.1).



obr. 1 Stabilometrická plošina ALFA – 18.166.015 [4]



obr. 2 TecnoBody Prokin 212 [5]

2.1.2. Centrum tlaku

Center of Pressure COP, neboli tzv. centrum tlaku, je váženým průměrem tlakových síl působících na plošinu. Jeho reprezentace se dá stanovit, jako bod, kolem něhož je rozložena výsledná síla působící na ploše segmentu těla stýkající se s plošinou. COP se využívá pro kvantifikaci poruch stability stoje. [23]

Jeho souřadnice jsou stanoveny v mediolaterální a anterioposteriorní výchylce (viz. kapitola 4.2.1).

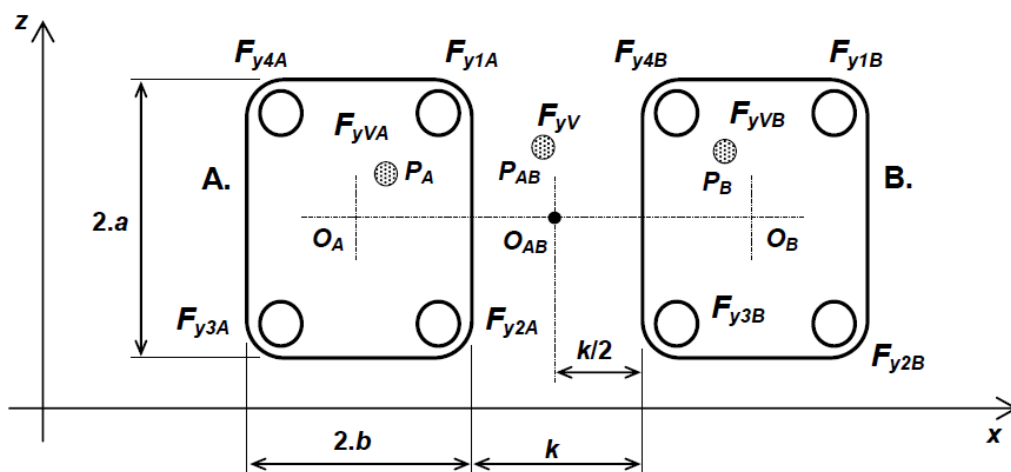
2.1.3. Metodika měření

Měření posturální stability se provádí na nepohyblivé (statické, stabilometrické) či pohyblivé (balanční, posturografické) plošině.

Tato plošina stanovuje polohu síly působící segmentem těla na plošinu za pomoci senzoru snímající sílu. Je měřeno rozložení váhy působící na jednotlivé snímače. Měření jsou prováděna s obuví či bez obuvi.

Během měření má subjekt za úkol přesouvat COP (viz. kapitola 2.1.2) do různých pozic či se ho snažit v požadovaném bodu. Na základě naměřených dat jsou v klinické praxi vyhodnoceny: velikost výchylek COP, rychlost pohybu COP, délka trajektorie posunu COP a opis plochy COP v rovině desky. [5]

Pro měření kontaktních sil pod chodidly je obvykle využívána soustava dvou stabilometrických plošin (viz. kapitola 2.1.1). Tyto plošiny mají svůj vlastní souřadnicový systém s počátkem v bodu O_A , O_B . Pro přepočítání počátku souřadnicového systému O_{AB} , který je počátkem COP, je nutné přepočítat souřadnicové systémy O_A a O_B pomocí rovnic vypočítávající mediolaterální (35) a anteroposteriorní (36) výchylku COP. Jak již bylo zmíněno výše (viz. kapitola 2.1.1), v jednotlivých rozích plošin jsou umístěny senzory, které měří působení sil $\{F_{y1A}, F_{y2A}, F_{y3A}, F_{y4A}\}$ na desce A a $\{F_{y1B}, F_{y2B}, F_{y3B}, F_{y4B}\}$ na desce B. Hrany desek jsou od sebe vzdáleny o k , což znamená, že počátek souřadnicového systému v x -ové ose je vzdálen od hran plošiny o $\frac{k}{2}$.



obr. 3 Reprezentace postavení desek, souřadnicových systémů a působišť sil [2]

2.2. Metody hodnocení dat

2.2.1. Metody lineární analýzy

Pro práci s lineární analýzou posturální stability pracujeme s amplitudou, kvadratickým průměrem, průměrnou rychlost pohybu COP [13].

Dalšími parametry jsou standardní odchylka, střední rychlost posunu COP a délka posunu COP. [14]

Amplituda je rozdílem maximální a minimální hodnoty v záznamu. V souvislosti s měřením COP se jedná o rozdíl minima a maxima v mediolaterálním a anterioposteriorním směru.

Kvadratický průměr je používán ke kvantifikaci rozptylu průměru reprezentovaného výchylkami COP v mediolaterálním a anterioposteriorním směru. Celková průměrná rychlost udává, s jakou rychlostí se mění pozice COP. [13]

Standardní odchylka je v souvislosti s posturální stabilitou využívána ke kvantifikaci velikosti kolísání COP. [14]

2.2.2. Metody nelineární analýzy

Mezi metody nelineární analýzy patří Entropie, Hurstův exponent, Vlnková transformace, Detrendovaná flukтуаční analýza a Lyapunův exponent. [15]

Entropie je metoda, která počítá přenesenou informaci v záznamu. Často je využívána ke kvantifikaci pravidelnosti ve záznamu fyziologického signálu. Pomocí ní lze určit, zdali signál obsahuje předvídatelné pravidelné složky či nepředvídatelné náhodné. Aproximační entropie kvantifikuje pravidelné složky v krátkých časových řadách. Pokud je ApEn nízké, jedná se o pravidelný proces. Vzorkovací entropie používá pro snížení nadbytečné pravidelnosti v záznamech referenční vektor. Referenční vektor je odstraněn v oblasti nejbližších sousedů. [13]

Hurstův exponent zkoumá korelace v dlouhých záznamech, pro znalost, zdali je systém ovlivněn počátečními podmínkami. Vlnková transformace hledá frekvence signálu v různých časových rozlišení. Detrendovaná flukтуаční analýza zkoumá korelace v dlouhých záznamech. Lyapunův exponent hledá periodicitu v záznamu či zdali je záznam chaotický. [15]

2.3. Závěr podkapitoly

Posturografie je metoda hodnocení polohy působišť sil pod chodidly či chůzi. Pro měření dat vycházející z posturografie jsou používány stabilometrické plošiny. Tyto plošiny využívají obvykle čtyři do rohu rozmístěné odporové senzory. Centre of Pressure COP, neboli centrum tlaku, je váženým průměrem tlakových sil působených na plošinu.

Měření posturální stability se provádí na nepohyblivé či pohyblivé plošině. Během měření má subjekt za úkol přesouvat COP do různých pozic či se ho snažit udržet v požadovaném bodu. Pro měření kontaktních sil pod chodidly je obvykle využívána soustava dvou stabilometrických plošin. Každá z těchto plošin má svůj střed souřadnicového systému, což při výpočtu výchylek COP musí být zohledněno.

Mezi metody lineární analýzy COP se používá např. informace o amplitudě, kvadratický průměr, celková průměrná rychlost, standardní odchylka. Mezi metody nelineární analýzy COP patří ku příkladu Entropie (Aproximační, Vzorkovací), Hurstův exponent, Vlnková transformace, Detrendovaná flukтуаční analýza a Lyapanův exponent.

3. Nelineární metody analýzy

posturální stability

3.1. Určení parametrů pro rekonstrukci prostoru

Níže z definovaných metod využívají rekonstrukci prostoru:

- Vybrané parametry rekurentní kvantifikační analýzy
- Největší Lyapunovský koeficient
- Aproximační entropie.

Pro rekonstrukci geometrického prostoru používáme např. metodu zpoždění (viz. kapitola 3.1.1). Tato metoda je rychlá a snadno implementovatelná. Pomocí ní lze zjistit potřebné tau neboli zpoždění, pro rekonstrukci prostoru. Dalším parametrem potřebným pro rekonstrukci je minimální dimenze rekonstruovaného prostoru. Tato dimenze se obvykle počítá pomocí metody falešných sousedů (viz. kapitola 3.1.2).

3.1.1. Metoda zpoždění

Rekonstruovanou trajektorii lze popsat jako matici, kde každý řádek je definovaný fázový vektor v prostoru (1), kde:

- x_i je stav systému v diskrétním čase i
- N je délka vektoru z něhož jsou definovány fázové vektory v prostoru

$$\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_N)^T, N \in \mathbb{N} \quad (1)$$

Pro časový záznam o N vzorků je následně definován vektor (2), kde:

- τ je zpoždění či „reconstruction delay“
- m je dimenze prostoru či „embedding dimension“

$$X_i = (x_i, x_{i+j}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}) \quad (2)$$

Matice fázového prostoru \mathbf{X} má tedy rozměry $M \times m$, kdy M se skládá z parametrů, kdy:

- N je počet prvků ve vektoru
- m je dimenze prostoru či „embedding dimension“
- τ je zpoždění či „reconstruction delay“ [19]

$$M = N - (m - 1) \cdot \tau \quad (3)$$

Pro volbu zpoždění je použita průměrná vzájemná informace (average mutual information AMI). AMI počítáme mezi vzájemně posunutým signálem, kdy A (4) je původní signál a B (5) je posunutý signál o τ (7), kde:

- $P_A(a_i)$ je pravděpodobnost výskytu a_i v setu A,
- $P_B(b_i)$ je pravděpodobnost výskytu b_i v setu B
- $P_{AB}(a_i, b_j)$ udává pravděpodobnost výskytu a_i v A a b_j v B

$$A: \{ a_i = x(t_i), i \in N \} \quad (4)$$

$$B: \{ b_i = x(t_i + \tau), i \in N \} \quad (5)$$

Pokud do (6) dosadíme (4) a (5) vznikne požadovaný výpočet průměrné vzájemné informace vůči sobě posunutému signálu o τ (7). Spočítáme AMI pro všechna zpoždění, dáme do posloupnosti a hledáme první lokální minimum této posloupnosti. [21]

$$I_{AB} = \sum_{a_i, b_j} P_{AB}(a_i, b_j) \log_2 \left[\frac{P_{AB}(a_i, b_j)}{P_A(a_i)P_B(b_j)} \right] \quad (6)$$

$$I(\tau) = \sum_{x(t_i), x(t_i + \tau)} P(x(t_i), x(t_i + \tau)) \log_2 \left[\frac{P(x(t_i), x(t_i + \tau))}{P(x(t_i))P(x(t_i + \tau))} \right] \quad (7)$$

3.1.2. Odhad minimální dimenze

Pro odhad minimální dimenze se používá například metoda falešných sousedů (False nearest neighbours, FNN).

Myšlenka této metody spočívá v tom, že trajektorie reprezentovaná v příliš malém prostoru (nízké m) se překřičuje, což je interpretováno, jakožto nalezený falešný soused. Pokud je dimenze vysoká, prostor, ve kterém jsou reprezentovány trajektorie, se zvětšuje a s tím dochází ke snížení počtu falešných sousedů. Nedochozí zde totiž k tak častému překřičení trajektorií.

Hledáme takové m , kdy není nalezen žádný falešný soused. [21]

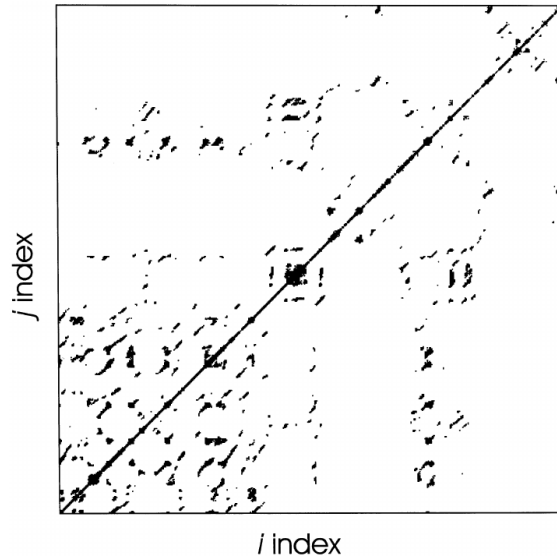
3.2. Vybrané parametry rekurentní kvantifikační analýzy

V m -dimenzionálním fázovém prostoru, kde m je velikost nejmenší možné dimenze pro rekonstrukci prostoru (viz. kapitola 3.1.1), dva body, které jsou blízko sebe, jsou označeny jako rekurentní (opakující se). Pro vektor (8), kde N je délkou trajektorie, rekurentní plot je definován jako (9), kde:

- $\|x_i - x_j\|$ je euklidovská vzdálenost mezi body x_i a x_j ,
- ε je práh pro sousedství (body do vzdálenosti prahu)
- Θ je Heavidisova funkce
- N je délka trajektorie
- m je dimenze

$$x_i (i = 1, 2, \dots, N), x \in \mathbb{R}^m \quad (8)$$

$$R_{i,j}(\varepsilon) = \Theta(\|x_i - x_j\|) \quad (9)$$



obr. 4 RP plot [9]

Pokud je k dispozici pouze jednodimenzionální matice, tedy vektor, fázový prostor trajektorie je vypočítán, jako (10), kde:

- m je „embedding dimension“ dimenze
- τ je „embedding delay“ zpoždění
- N je délka trajektorie

$$\{u_i\}_{i=1}^N, \quad x_i = (u_i, u_{i+\tau}, \dots, u_{i+(m-1)\tau}) \quad (10)$$

Pro měření hustoty rekurentních bodů používaných je používán „Recurrent rate“ (11).

$$RR = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N R_{i,j} \quad (11)$$

Pravděpodobnost nalezení diagonální linie určité délky l v rekurentním plotu je (12) kdy:

- $P(l)$ je histogram diagonálních linií délky l
- N_l je celkový počet diagonálních linií (13)

$$p(l) = \frac{P(l)}{N_l} \quad (12)$$

$$N_l = \sum_{l \geq l_{\min}} P(l) \quad (13)$$

Dále je možné určit determinismus, který vyjadřuje poměr rekurentních bodů na diagonální nejmenší diagonální struktuře ke všem bodů rekurentního plotu. [19]

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{\min}}^N l \cdot P(l)}{\sum_{l=1}^N R_{i,j}} \quad (14)$$

Dalším ukazatelem je laminarita, která reprezentuje počet laminárních stavů v systému, aniž by byla známa jejich laminární fáze. Pokud se rekurentní plot skládá z více samostatných rekurentních bodů než vertikálních délek, LAM je nižší. Pro výpočet jsou použity všechny délky vertikálních struktur, které přesahují délku v_{\min} ku všem vertikálním struktur (15).[20]

$$LAM = \frac{\sum_{v=v_{\min}}^N v \cdot P(v)}{\sum_{v=1}^N v \cdot P(v)} \quad (15)$$

Trapping time udává průměrnou délku vertikálních struktur rekurentního plotu. Je odhadem průměrné doby, jakou bude systém udržovat určitý stav, resp. bude zachycen. Pro výpočet jsou použity všechny vertikální struktury, které jsou delší, než v_{\min} (15). [20]

$$TT = \frac{\sum_{v=v_{\min}}^N v \cdot P(v)}{\sum_{v=v_{\min}}^N P(v)} \quad (16)$$

Longest diagonal line (maximální délka diagonální struktury rekurentního plotu) je definována, jako (17). [19]

$$L_{\max} = \max(\{l_i; i = 1, \dots, N_l\}) \quad (17)$$

Longest vertical line (maximální délka vertikální struktury rekurentního plotu) je definována, jako (18). [3]

$$V_{\max} = \max(\{v_i; i = 1, \dots, N_v\}) \quad (18)$$

Divergence je inverzní hodnotou Longest diagonal line, tj. je inverzní hodnotou nejdelší diagonály rekurentního plotu. L_{\max} reprezentuje Longest diagonal line (17). [19]

$$DIV = \frac{1}{L_{\max}} \quad (19)$$

3.3. Metoda výpočtu Shannonovy entropie

Mějme trajektorii, která protнула m jednotkových ploch, přičemž každá i -tá plocha byla navštívena přesně n_i -krát. Shannonova entropie je pak definována jako (20), kdy:

- p_i je pravděpodobnost protnutí plochy
- m je počet jednotkových ploch[22]

$$I = - \sum_{i=1}^m p_i \log(p_i) \quad (20)$$

Volně řečeno, Shannonova informace hledá všechny unikátní hodnoty v záznamu a počítá jejich pravděpodobnost výskytu.

3.4. Metoda výpočtu

Největšího Lyapunovského koeficientu

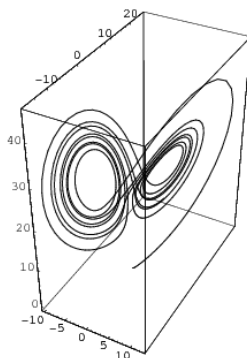
Algoritmus pro výpočet Lyapunovského koeficientu stanovuje, zdali je systém ovlivněn počátečními podmínkami [10].

Představme si dva body, jejichž trajektorie jsou si ovlivněny podobnými počátečními podmínkami.

Pokud atraktor reprezentující prostor je chaotický, trajektorie těchto dvou bodů divergují. V tomto případě exponenciálně roste největší Lyapunovský koeficient. Tato myšlenka náleží též spektru Lyapunovských exponentů uvažování malého n -dimensionálního kruhu počátečních podmínek (21), kde:

- n je počet rovnic popisující systém.

$$\lambda_i, i = 1, 2, \dots, n, i \in \mathbb{N} \quad (21)$$



obr. 5 Lorentzův atraktor

V průběhu času se kulový prostor mění v elipsoid, kdy hlavní osy se zvětšují či smršťují v závislosti na Lyapunovských exponentech.

Pokud je nalezen kladný Lyapunovský exponent, jedná se o známku chaosu systému a reprezentaci nestability v určitém směru trajektorie.

Kvůli existenci atraktorů celková dynamika musí být s nízkou entropií, tedy globálně stabilní, a celková kontrakce os musí převažovat celkovou expanzi. Pro zajímavost je nutné podotknout, že pokud však existuje několik pozitivních Lyapunovských koeficientů, součet celým spektrem může být i záporný.

Lyapunovo spektrum lze popsat pomocí geometrických interpretací. Nejdříve je seřazeno n hlavních os elipsoidu v pořadí od největších pak λ_1 až po nejmenších λ_n (22).

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n, n \in \mathbb{N} \quad (22)$$

Délka jednotlivých největší osy je vyjádřena, jako exponent $e^{\lambda_i t}$ $x \in \{(1, n); n \in \mathbb{N}\}$. Plocha definována prvními dvěma osy je pak součinem exponentů $e^{(\lambda_1+\lambda_2)t}$ a objem $e^{(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)t}$.

Spektrum Lyapunových exponentů lze počítat, jako rostoucí k -stupňový element jakožto součet k největších Lyapunových exponentů.

Pro výpočet spektra Lyapunových exponentů je potřeba znát rovnice popisující dynamický systém.

Systém o n rovnicích je vypočten pomocí $n+1$ počátečních podmínek.

Největší Lyapunovský koeficient lze popsat rovnicí (23), kdy:

- C je konstanta normalizující počáteční oddělení
- t je čas.

$$d(t) = C \cdot e^{\lambda_1 t} \quad (23)$$

Pro získání rovnic pro rekonstrukci atraktorů dynamického systému z časové řady je potřeba znát minimální dimenzi (viz. kapitola 3.1.2) a zpoždění (viz. kapitola 3.1.1) [10].

3.5. Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu

Hurstův exponent H je měřítkem vnitřní závislosti průběhu dlouhodobého záznamu stochastického procesu. Dlouhodobou závislostí je myšlen pomalý pokles autokorelační funkce procesu v čase. Tento parametr nabývá hodnot v rozsahu $H \in (0,1)$. [9]

V závislosti na výsledném Hurstova exponentu je získána informace o procesu (viz. tab. 1). [18]

H	popis systému
(0,0.5)	proces má významně negativní sčitatelné autokovariance ve všech zpoždění
0.5	nezávislý proces či závislý v krátkém úseku
(0.5,1)	proces má na všech zpoždění autokovariance významně kladné i nesčitatelné koeficienty

tab. 1 popis systému v závislosti na Hurstovu exponentu

Následně využijeme R/S analýzu, což je empirická metoda pro analýzu fraktálních časových řad.

Pro časové řady $x(t)$ o délce τ je poměr (25) rozsahu kumulativního součtu $R(\tau)$ časové řady x^{cum} (24) a standardní odchylky vyjádřen $S(\tau)$. $\bar{x}(\tau)$ je průměrnou hodnotou signálu (26).

Kumulativní součin je definován, jako součet rozdílů jednotlivých vzorků od průměru. (24).

Odhad Hurstova exponentu je logaritmem poměru kumulativního součtu časové řady a standardní odchylky (27).[9]

$$x^{\text{cum}}(t, \tau) = \sum_{i=1}^t x(i) - \bar{x}(\tau) \quad (24)$$

$$\frac{R(\tau)}{S(\tau)} = \frac{\max(x^{\text{cum}}(t, \tau)) - \min(x^{\text{cum}}(t, \tau))}{\sqrt{\frac{1}{\tau-1} \sum_{i=1}^{\tau} (x(i) - \bar{x})^2}} \quad (25)$$

$$\bar{x}(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} x(i), \tau \in \mathbb{N} \quad (26)$$

$$H = \log \frac{R(\tau)}{S(\tau)} \quad (27)$$

3.6. Metoda výpočtu Aproximační entropie

Aproximační entropie je metoda pro kvantifikování nepředvídatelnosti fluktuací v časové řadě. To znamená, že jsou hledány taková data, v nichž se co nejméně vyskytuje repetitivní prvek. Časová řada mající mnoho repetitivních prvků má ApEn nízké.

ApEn pracuje se třemi parametry, kdy:

- S_N je velikost okna
- m je dimenze, velikost zpracovávaného vektoru
- r je kritérium podobnosti

Mějme sérii měření rozdělnou na segment $p_m(x)$, $x \in \mathbb{N}$ o délce velikosti okna S_N .

Dva sousední segmenty $p_m(i)$ a $p_m(j)$ jsou si podobné, pokud rozdíl mezi prvky náležící stejnému pořadí obou segmentů jsou menší, než je kritérium podobnosti (28), kde:

- S je segment signálu
- i je index prvního segmentu
- j je index sousedního segmentu vůči segmentu i
- r je kritérium podobnosti

$$|S(i+k) - S(j+k)| < r \quad (28)$$

Aproximační entropie se spočítá, jako (29), kdy:

- $C_m(r)$ je střední hodnota $C_{im}(r)$ (30) [1]

$$\text{ApEn}(S_N, m, r) = \ln \left(\frac{C_m(r)}{C_{m+1}(r)} \right) \quad (29)$$

$$C_{im}(r) = \frac{n_{im}(r)}{N - m + 1} \quad (30)$$

3.7. Parametry Detrendované flukтуаční analýzy

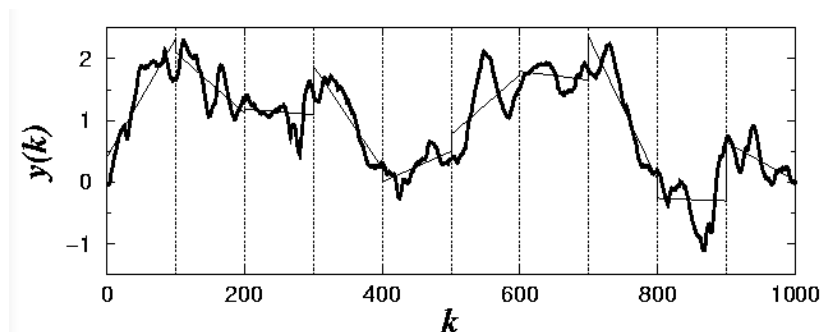
Detrendovaná flukтуаční analýza je metoda, pomocí níž se v dlouhých záznamech hledají korelace. Pokud je v záznamu nalezena korelace, systém je pravděpodobně nestacionární. [17]

Záznam je rovnoměrně rozdělen do n segmentů. V každém z těchto segmentů jsou data položena přímkou pomocí metody nejmenších čtverců. Na základě těchto přímek je znám následně trend v každém ze segmentů. Ypsilonové souřadnice přímky v jednotlivých segmentech jsou popsány pomocí vektoru $y_n(k)$. Pomocí odečtu vektoru lokálních trendů reprezentovaných $y_n(k)$ od integrované časové řady $y(k)$ získáme detrendovaný vektor. Druhá mocnina fluktuace integrované a detrendované časové řady je vypočítána pomocí rovnice (31), kde:

- N je počet segmentů
- $y_n(k)$ je vektor lokálních trendů
- $y(k)$ je integrovaná časová řada

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - y_n(k))^2} \quad (31)$$

Výpočet je opakován na každý segment, aby byla nalezena fluktuace pro každý segment. Většinou se vzrůstající velikostí segmentu vzrůstá fluktuace (31). [17]



obr. 6 proložení regresních přímek v jednotlivých segmentech při použití algoritmu DFA [6]

Dále využijeme Alfa, tj. exponent škálování. Alfa udává sklon regresní přímky závislosti $\log(F(n))$ na $\log(\tau)$ [17]. Příslušné hodnoty pro Alfa parametru jsou v tabulce níže (viz. tab. 2). [17]

Alfa	význam
$0 < \alpha < 0.5$	silné korelace střídají slabé
$\alpha = 0.5$	slabé korelace pro dlouhé segmenty
$0.5 < \alpha \leq 1$	rozsáhlé silné korelace
$\alpha = 1$	$\frac{1}{f}$ šum
$\alpha > 1$	převážně slabé korelace
$\alpha = 1.5$	Hnědý šum

tab. 2 příslušné vyjádření pro dané hodnoty alfa

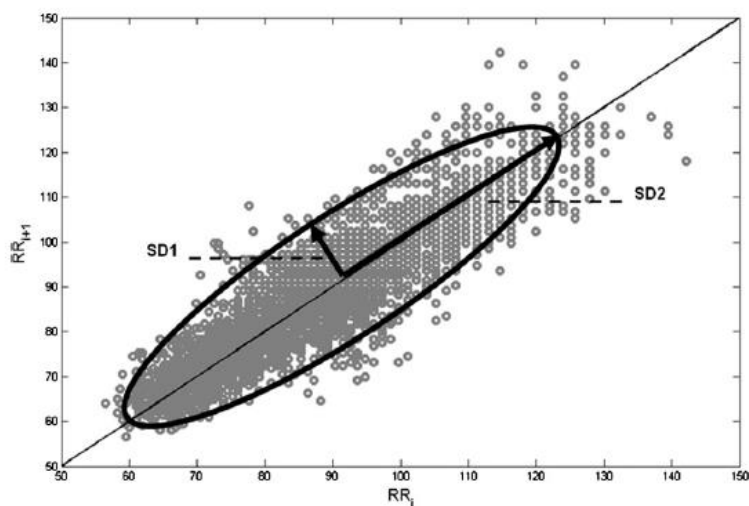
3.8. Poincaré plot analýza

Poincaré plot je geometrickou reprezentací časového záznamu RR v systému kartézské soustavy. Pokud vyneseme dva intervaly vůči sobě posunutě ve dvoudimenzionální kartézské soustavě, vznikne reprezentace časové řady ve fázovém prostoru.

Linie identity je diagonální čára položená pod úhlem 45° v Poincaré plotu. V souvislosti s Poincaré ploty jsou používány dva parametry: SD1 a SD2. Tyto parametry jsou vypočítány pomocí:

- standardní odchylky RR intervalu SDRR
- standardní odchylkou po sobě jdoucích rozdílů RR intervalu SDSD

[16]



obr. 7 reprezentace linie identity, SD1 a SD2 [7]

SD1 je parametr, který stanovuje rozptyl bodů kolmo na linii identity (32) (viz. obr. 7). SDDS je standardní odchylkou po sobě jdoucích rozdílů RR intervalu. [16]

$$SD_1^2 = \frac{1}{2} SDDS^2 \quad (32)$$

SD2 je parametr, který stanovuje rozptyl bodů podél linii identity (33) (viz. obr. 7). SDRR je standardní odchylkou RR intervalu. SDDS je standardní odchylkou po sobě jdoucích rozdílů RR intervalu. [16]

$$SD_2^2 = 2SDRR^2 - \frac{1}{2} SDDS^2 \quad (33)$$

3.9. Závěr kapitoly

Na základě uvedeného níže uvádím přehled všech parametrů, které budu určovat v mé práci pro hodnocení posturální stability stoje.

	metoda	určovaný parametr	doplňující informace k aplikované metodě	odkaz pro teoretický podklad
1.	Vybrané parametry Rekurentní kvantifikační analýzy	Determinism DET	-	[19]
		Laminarity LAM	-	[20]
		Traping time TT	-	[20]
		Longest diagonal line Lmax	-	[19]
		Longest vertical line Vmax	-	[3]
		Divergence DIV	-	[19]
2.	Metoda výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu	Největší Lyapunovský koeficient	-	[10]
3.	Metoda výpočtu Shannonovy entropie	Shannonova entropie	-	[22]
4.	Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu	Hurstův exponent	R/S analýza	[18]
5.	Metoda výpočtu Aproximační entropie	Aproximační entropie	-	[2]
6.	Parametry Detrendované fluktuakční analýzy	Alfa	-	[17]
7.	Poincaré plot analýza	SD1	-	[16]
		SD2	-	[16]

tab. 3 aplikované parametry nelineární analýzy

4. Návrhová část

4.1. Předzpracování dat

4.1.1. Mediolaterální a anteroposteriorní výchylka

Dříve, než je možné začít s aplikací výpočtu parametrů nelineární analýzy, je nutné předzpracovat data, tj. aby byla známá odchylka COP (viz. kapitola 2.1.2) od vlastního souřadnicové systému. Obvykle se přepočítává COP z jednotlivých plošin na celkové COP. Souřadnice tohoto bodu jsou vyjádřeny pomocí přepočtů momentů M_1 M_2 a sil F_1 F_2 působících na stabilometrických plošinách (2.1.1).

Je nutné si povšimnout, že pro mediolaterální ML výchylku (35) je moment pro první plošinu posunut o $+(2b+k)$ mm a celková pozice bodu je následně posunuta o $-\left(b+\frac{k}{2}\right)$ mm dle (obr. 3).

Důvodem je vzdálenost mezi souřadnicovými systémy jednotlivých plošin (2.1.3). Pro výpočet COP je nutné, aby středy souřadnicových systémů se překrývaly (34).

Jakmile je vypočítán mediolaterální výchylka pro soustavu plošin, je nutné položit souřadnicový systém COP mezi dvě plošiny, tj. ve vzdálenosti $\frac{509}{2}$ mm od středů.

Pro výpočet anteroposteriorního posunu tyto přepočty nejsou potřeba, protože souřadnicové systémy obou desek mají stejnou z-ovou souřadnici.

$$[O_{A_x}, O_{A_z}] = [O_{B_x}, O_{B_z}] = [0, 0] \quad (34)$$

$$ML = \frac{[x_1 + (2b+k)] \cdot F_1 + x_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2} - \left(b + \frac{k}{2}\right) \quad (35)$$

$$AP = \frac{z_1 \cdot F_1 + z_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2} \quad (36)$$

4.2. Implementace navržených metod

Všechny popsané algoritmy jsou implementovány v jazyce MATLAB. Otestování funkcionality bylo provedeno na verzi MATLAB R2016b.

4.2.1. Výpočet výchyly COP

Pomocí algoritmu jsou vypočítány výchyly COP. Algoritmus je realizován ve funkci getCOP.m, která je uvedena na CD přiloženém k práci.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 4 vstupní parametry pro výpočet odchyly COP v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
AP výchyly	1xN	viz. kapitola 4.1.1
ML výchyly	1xN	viz. kapitola 4.1.1

tab. 5 výstupní parametry výpočtu zpoždění pro výpočet odchyly COP v Matlabu

4.2.2. Zpoždění

Pomocí algoritmu je vypočítáno zpoždění pro rekonstrukci prostoru. Aplikována je metoda výpočtu vzájemné průměrné informace. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem getDelay.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 6 vstupní parametry pro výpočet zpoždění pro rekonstrukci prostoru v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
zpoždění	1x1	viz. kapitola 3.1.1

tab. 7 výstupní parametry výpočtu zpoždění pro rekonstrukci prostoru v Matlabu

4.2.3. Minimální dimenze

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítána minimální dimenze pro rekonstrukci prostoru. Aplikována je metoda výpočtu pomocí falešných sousedů - False nearest neighbour. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem getMinRecDim.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 8 vstupní parametry pro výpočet minimální dimenze pro rekonstrukci prostoru v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
minimální dimenze	1x1	viz. kapitola 3.1.2

tab. 9 výstupní parametry výpočtu minimální dimenze pro rekonstrukci v prostoru v Matlabu

4.2.4. Vybrané parametry Rekurentní kvantifikační analýzy

Pomocí tohoto algoritmu jsou vypočítány vybrané parametry Rekurentní kvantifikační analýzy: Determinismu, Nejdelší diagonální linie, Laminarita, Nejdelší vertikální linie, Divergence. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem calculateRQA.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-
minimální dimenze	1x1	viz. kapitola 3.1.2
zpoždění	1x1	viz. kapitola 3.1.1

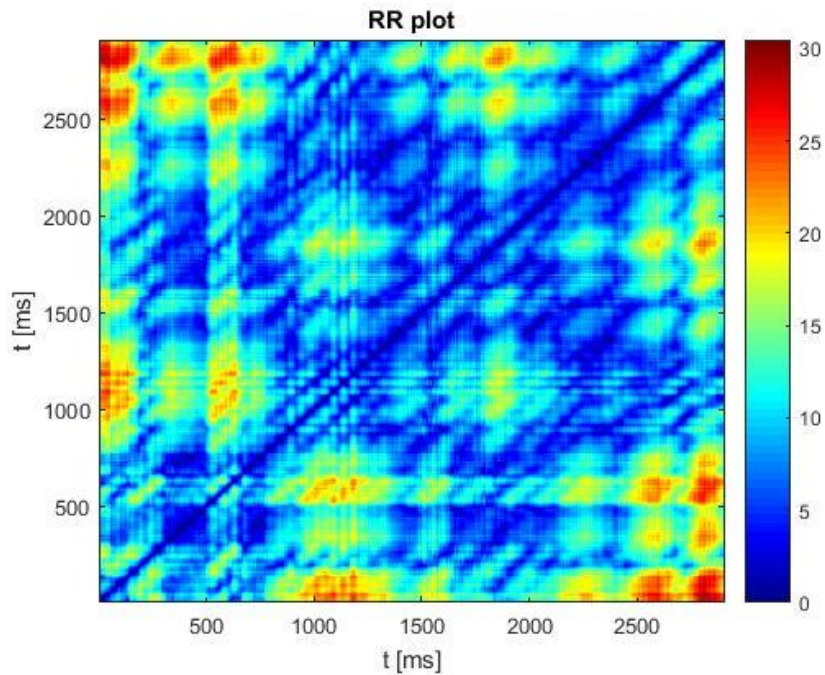
tab. 10 vstupní parametry pro výpočet parametru Rekurentní analýzy v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
Determinism	1x1	viz. kapitola 3.2
Longest diagonal line	1x1	viz. kapitola 3.2
Laminarity	1x1	viz. kapitola 3.2
Trapping time	1x1	viz. kapitola 3.2
Longest vertical line	1x1	viz. kapitola 3.2
Divergence	1x1	viz. kapitola 3.2
matice RR plotu – pro vykreslení	NxN	-

tab. 11 výstupní parametry výpočtu parametrů Rekurentní analýzy v Matlabu

Pro vykreslení je vytvořena funkce plotRQA.m



obr. 8 výstupní parametry výpočtu parametrů Rekurentní analýzy v Matlabu

4.2.5. Metoda výpočtu

Největšího Lyapunovského koeficientu

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítán největší Lyapunovský exponent. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem calculateLLE.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-
minimální dimenze	1x1	viz. kapitola 3.1.2
zpoždění	1x1	viz. kapitola 3.1.1

tab. 12 vstupní parametry pro výpočet Lyapunovského koeficientu v Matlabu

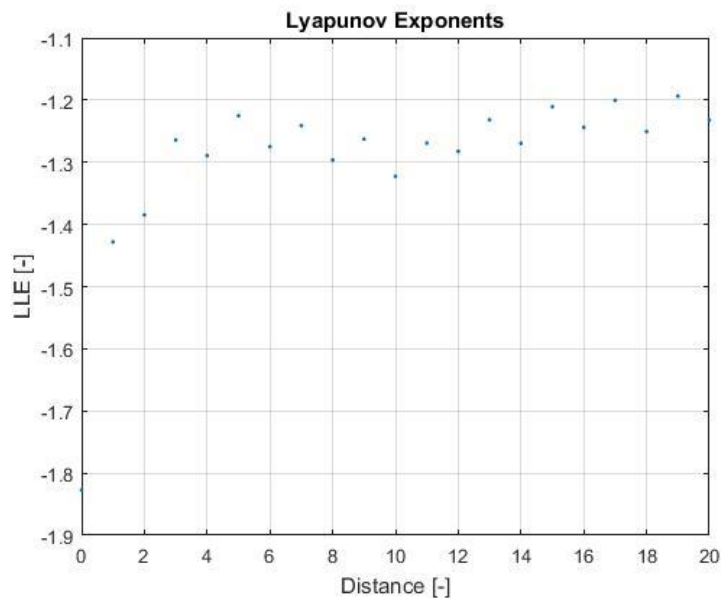
Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
největší Lyapunovský exponent	1x1	viz. kapitola 3.4
vektor Lyapunovských koeficientů – pro vykreslení	1x1	-

tab. 13 výstupní parametry pro výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu v Matlabu

Pro vykreslení je vytvořena funkce plotLLE.m.

Výstupní graf:



obr. 9 Velikost Lyapunova exponentu v závislosti na vzdálenosti

4.2.6. Metoda výpočtu Shannonovy entropie

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítána Shannonova entropie. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem calculateShannon.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 14 vstupní parametry pro výpočet Shannonovy entropie v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
Shannonova entropie	1x1	viz. kapitola 3.4

tab. 15 výstupní parametry výpočtu Shannonovy entropie v Matlabu

4.2.7. Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítán Hurstův exponent pomocí R/S přeškolováním. Vytvořená funkce je na přiloženém CD pod názvem calculateHurst.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 16 vstupní parametry pro výpočet Hurstova exponentu v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
Hurstův exponent	1x1	viz. kapitola 3.5

tab. 17 výstupní parametry pro výpočet Hurstova exponentu v Matlabu

4.2.8. Metoda výpočtu Aproximační entropie

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítána Aproximační entropie. Vytvořená funkce je na příloženém CD pod názvem calculateApEn.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-
minimální dimenze	1x1	viz. kapitola 3.1.2
zpoždění	1x1	viz. kapitola 3.1.1
tolerance	1x1	-

tab. 18 vstupní parametry pro výpočet Aproximační entropie v Matlabu

Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
Aproximační entropie	1x1	viz. kapitola 3.6

tab. 19 výstupní parametry pro výpočet Aproximační entropie v Matlabu

4.2.9. Parametry Detrendované flukтуаční analýzy

Pomocí tohoto algoritmu je vypočítán parametr Alfa – sklon regresní přímky pomocí Detrendované flukтуаční analýzy. Vytvořená funkce je na příloženém CD pod názvem calculateDFA.m.

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 20 vstupní parametry pro výpočet Detrendované flukтуаční analýzy v Matlabu

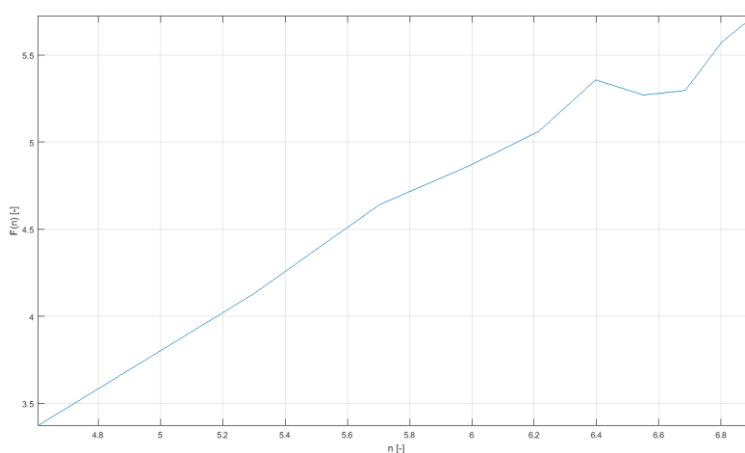
Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
Alfa	1x1	viz. kapitola 3.7

tab. 21 výstupní parametry pro výpočet Detrendované flukтуаční analýzy v Matlabu

Pro vykreslení je vytvořena funkce plotDFA.m.

Výstupní graf:



tab. 22 graf výpočtu DFA

4.2.10. Poincaré plot analýza

Pomocí tohoto algoritmu jsou vypočítány SD1 a SD2 Poincaré plotu. Vytvořená funkce je na příloženém CD pod názvem calculatePoincare.m

Vstupní parametry:

typ	velikost	reference
naměřená data	1xN	-

tab. 23 vstupní parametry pro výpočet Poincaré plot v Matlabu

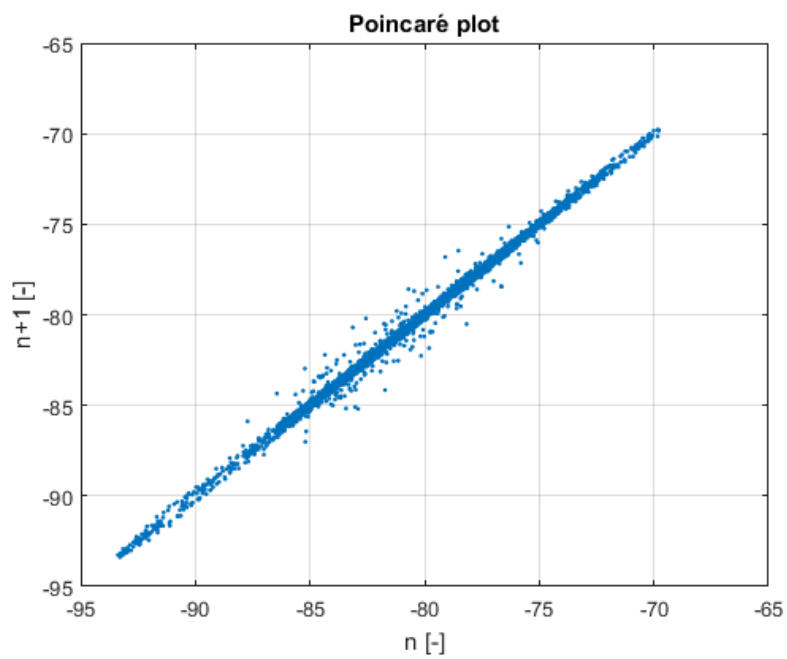
Výstupní parametry:

typ	velikost	reference
SD1	1x1	viz. kapitola 3.8
SD2	1x1	viz. kapitola 3.8

tab. 24 výstupní parametry pro výpočet Poincaré plot v Matlabu

Pro vykreslení je vytvořena funkce plotPoincare.m.

Výstupní graf:



tab. 25 graf vyjadřující korelaci pomocí Poincaré plot

4.3. Závěr kapitoly

Níže napsané algoritmy jsou přiloženy na CD.

metoda	název funkce pro výpočet
výchylky COP	getCOP.m
zpoždění	getDelay.m
minimální dimenze	getMinRecDim.m
Vybrané parametry RQA	calculateRQA.m
Metoda výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu	calculateLyap.m
Metoda výpočtu Shannonovy entropie	calculateShannon.m
Numerická metoda odhadu Hurstova exponentu	calculateHurst.m
Metoda výpotu Aproximační entropie	calculateApEn.m
Parametry Detrendované flukтуаční analýzy	calculateDFA.m
Poincaré plot analýza	calculatePoincare.m

tab. 26 přehled názvů funkcí pro výpočet

metoda	název funkce pro vykreslení
Vybrané parametry rekurentní analýzy	plotRQA.m
Metoda výpočtu Největšího Lyapunovského koeficientu	plotLyap.m
Parametry Detrendované flukтуаční analýzy	plotDFA.m
Poincaré plot analýza	plotPoincare.m

tab. 27 přehled názvů funkcí pro vykreslení

5. Aplikace navržených hodnot

5.1. Měření

Měření bylo provedeno na soustavě dvou stabilometrických plošin (viz. kapitola 5.1.1). Při měření byly v určitých případech použity pěnové podložky (viz. kapitola 5.1.1) pro vytvoření nestabilní plochy pod chodidlem. Osoba stojící na plošinách měla otevřené či zavřené oči. Celkově byly měřeny 4 různé kombinace stavů – zavřené oči a měkká podložka, zavřené oči a žádná podložka (tvrdá podložka), otevřené či a měkká podložka, otevřené oči a žádná podložka (viz. tab. 28).

Každá ze skupin měření měla pro daný subjekt jedno až tři opakování měření.

	zavřené oči (eyes closed) EC	otevřené oči (eyes opened) EO
měkká podložka (foam surface) M	MECx	MEOx
tvrdá podložka (firm surface) ""	ECx	EOx

tab.28 kombinace aplikovaných měření

5.1.1. Stabilometrické plošiny

AMTI model OR6-5 je biomechanická deska, která měří síly F [N] a momenty M [mm] působící v osách a kolem os XYZ. Tyto síly a momenty jsou měřeny pomocí tenzometrů, které jsem umístěny v rozích desky.

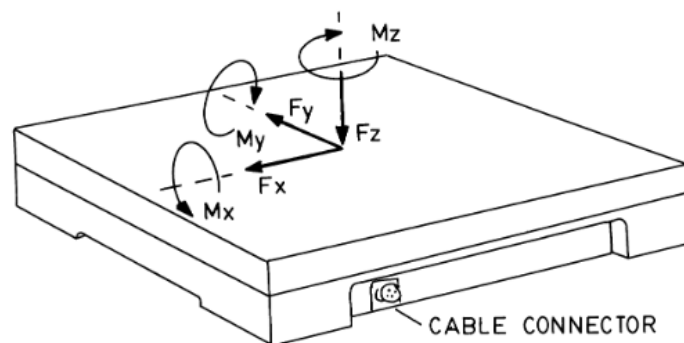
Tři výstupní signály jsou úměrné silám působících v osách XYZ. Další tři výstupní signály reprezentují momenty působící kolem jednotlivých os XYZ. Směry působení sil a momentů jsou vyjádřeny na (viz. obr. 10).[25]

Deska měří v daný okamžik deset hodnot (viz. tab. 29). Síly F a okamžitá poloha COP A jsou indexovány směrem měření (ML – mediolaterální, AP – anterioposteriorní, z – vertikální směr) a číslem udávající plošinu, na které byla daná veličina naměřena - 1,2.

Rozměry plošiny jsou (464x508x82,55) mm.

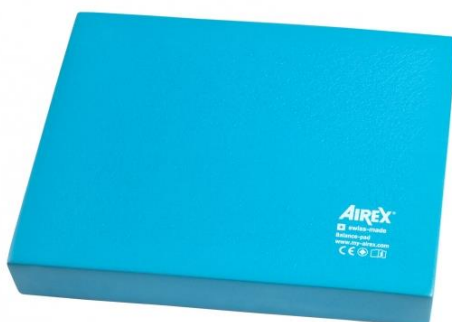
veličina	jednotka
$F_{ML_1}, F_{AP_1}, F_{z_1}, F_{ML_2}, F_{AP_2}, F_{z_2}$	Newton N
$A_{ML_1}, A_{AP_1}, A_{ML_2}, A_{AP_2}$	milimetr mm

tab. 29 přehled naměřených veličin AMTI OR6-5



obr. 10 směry působení sil a momentů desky AMTI OR6-5 [1]

Doplňkem pro zhoršení percepce je použita Airex Balance Pad, což je hladká rovná podložka určená pro trénink rovnováhy při stožení bez obuvi (viz. obr. 11). Vzhledem k poddajnosti materiálu je člověk stojící na podložce neustále nucen stabilizovat klouby a svoji rovnováhu.[6]

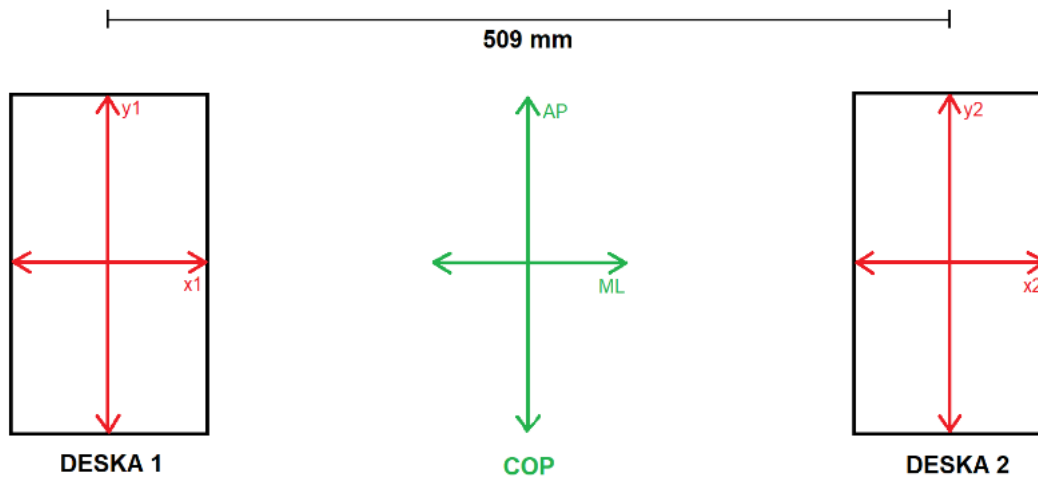


obr. 11 Airex Balance Pad pěnová podložka [3]

Pro měření je použita soustava dvou stabilometrických plošin (viz. obr. 12) značky AMTI O6-5 (viz. kapitola 5.1.1). Vzdálenost středů vlastních souřadnicových systémů desek O_A a O_B (viz. obr. 3, viz. kapitola 2.1.3) je 509 mm.

Střed souřadnicového systému COP, tj. O_{AB} (viz. obr. 3, viz. kapitola 2.1.3), v mediolaterálním směru leží mezi těmito středy, tzn. ve vzdálenosti 254,5 mm od hran desek. Hrany desek jsou dle

znalosti šířky desek 464 mm (viz. kapitola 5.1.1) a vzdálenosti středů 509 mm (viz. obr. 12) od sebe vzdáleny o $k = 45$ mm.



obr. 12 Reprezentace postavení desek

5.2. Průběh měření

Data zpracovaná v této práci jsou získána pomocí dvou stabilometrických plošin značky AMTI OR6-5 (viz. kapitola 5.1.1). Pro měření na měkké podložce byla použita molitanová podložka Airex Balance Pad. Tato podložka byla položena na desku plošiny. Pomocí ní se ze statické plošiny stala balanční, protože narušuje rovnováhu, kterou měřená osoba musí udržovat.

Měření bylo prováděno po dobu 30 s při vzorkovací frekvenci $f = 200$ Hz. Bylo naměřeno celkem 60 000 vzorků během jednoho měření záznamu z obou stabilometrických plošin.

Celkově bylo naměřeno 24 mužů a 113 žen. Tyto osoby se zúčastnily minimálně jedné z daných kombinací podmínek měření (viz. tab. 28, viz. kapitola 5.1), tzn. měření na plošině bez podložky při zavřených či otevřených očích a měření na plošině stojíc na pěnové podložce při otevřených či zavřených očích.

Měření každého účastníka při dané kombinaci podmínek bylo provedeno minimálně jednou, avšak maximálně třikrát.

Celkem bylo naměřeno 1992 záznamů. Počet zúčastněných osob v jednotlivých měřeních bez ohledu na počet opakování je popsán v (viz. tab. 30).

měření	počet zúčastněných osob	počet vyřazených osob ze statistiky
ECx	130	19
EOx	131	131
MECx	120	6
MEOx	131	8

tab. 30 počet zúčastněných osob v jednotlivých měření

5.3. Závěr kapitoly

Měření bylo provedeno na soustavě dvou stabilometrických plošin. Subjekty, které byly měřeny, stáli na prázdné desce AMTI OR6-5 či desce s pěnovou podložkou Airex Balance Pad. Během měření byly oči zavřené či otevřené. Měření se účastnilo 113 žen a 24 mužů. Celkem bylo naměřeno 1992 záznamů.

6. Zpracování a vyhodnocení výsledků experimentů

6.1.1. Zpracování dat

Pro statistickou analýzu jsou použita data získaná ve spolupráci s Fakultou Tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Aplikovaná data jsou získána pomocí soustavy dvou stabilometrických plošin (viz. kapitola 5.1). Před zahájením statistické analýzy byla data převzorkována ze vzorkovací frekvence $f = 200$ Hz na vzorkovací frekvenci $f = 100$ Hz

Data byla rozdělena z pohledu měření, pohlaví, věku a BMI, které bylo stanoveno dle [5].

Měření bylo rozděleno do skupin dle:

- otevřené oči, měkká podložka
- otevřené oči, tvrdá podložka
- zavřené oči, měkká podložka
- zavřené oči, tvrdá podložka

Pohlaví bylo rozděleno do skupin dle:

- ženy
- muži

Věk byl rozdělen do skupin:

- 50-59 let
- 60-69 let
- 70-79 let
- 80-89 let

BMI bylo rozděleno do skupin dle:

- méně až 18.5 – podváha
- více než 18.5 až 24,9 – normální
- 25 až 29,9 – nadváha
- 30.0 až více – obezita[5]

Data byla rozdělena dle kombinací výše zmíněných skupin (viz. tab. 31 - ženy, viz. tab. 32 – muži).

	věk	BMI	nepadající	padající	celkem
ženy	50-59	podváha	0	1	1
		normální	0	0	0
		nadváha	0	1	1
		obezita	1	0	1
	60-69	podváha	1	0	1
		normální	10	9	19
		nadváha	10	5	15
		obezita	15	3	18
	70-79	podváha	0	0	0
		normální	5	4	9
		nadváha	10	13	23
		obezita	9	5	14
	80-89	podváha	0	0	0
		normální	3	1	4
		nadváha	2	2	4
		obezita	1	2	3
90-99	podváha	0	0	0	
	normální	0	0	0	
	nadváha	0	0	0	
	obezita	0	0	0	
celkem			67	46	113

tab. 31 počet naměřených žen

	věk	BMI	nepadající	padající	celkem
muži	50-59	podváha	0	0	0
		normální	0	0	0
		nadváha	0	0	0
		obezita	0	0	0
	60-69	podváha	0	0	0
		normální	1	1	2
		nadváha	3	1	4
		obezita	4	0	4
	70-79	podváha	0	0	0
		normální	0	0	0
		nadváha	6	2	8
		obezita	2	1	3
	80-89	podváha	0	0	0
		normální	0	0	0
		nadváha	2	1	3
		obezita	0	0	0
90-99	podváha	0	0	0	
	normální	0	0	0	
	nadváha	0	0	0	
	obezita	0	0	0	
celkem			18	6	24

tab. 32 počet naměřených mužů

Následně jsme pro vyhodnocení získaných dat použili Jarque-Bera Test je test normality. Obvykle je využíván pro větší datasety. Test porovnává šikmosti a špičky pro zkoumání normální distribuce. Šikmost se používá pro měření symetrie v distribuci. Normální distribuce má nulovou šikmost. Sklon udává, jak velká část je obsažena v okrajích normální distribuce. Normální distribuce má sklon 3. Jarque-Bera Test se počítá jako (37), kde:

- n je velikost dat
- s je koeficient dat vzorku
- k je koeficient šikmosti dat [7]

$$JB = n \left(\frac{s^2}{6} + \frac{(k-3)^2}{24} \right) \quad (37)$$

6.1.2. Wilcoxonův test

Wilcoxonový Rank Sum Test porovnává mediány dvou nezávislých populací. Pro přesnější výsledky je potřeba, aby si rozptyly obou populací byly rovny.

Pro Wilcoxonova Rank Sum test stanovujeme pro mediány obou populací, že:

- nulovou hypotézu $H_0: m_1 = m_2$
- nenulovou hypotézu $H_1: m_1 \neq m_2$

Kombinací obou populací vznikne populace o součtu délek n_1 a n_2 obou populací, přičemž je zapamatováno pozorování původní populace. Jednotlivé prvky jsou seřazeny vzestupně a jim přiřazena hodnota. Součet všech hodnot pozorování z druhé populace označme R . Statistika je pak dle rovnice (38). [24]

$$W = R - \frac{1}{2}n_2(n_2+1) \quad (38)$$

6.1.3. t-test

Two-Sample t-test je test pro porovnání, zdali střední hodnoty dvou souborů dat jsou si rovné. Existují dvě formy – párový a nepárový test. Párový test používáme tehdy, když existuje vztah mezi dvojicemi data z obou souborů dat. Nepárový test používáme v opačném případě.

Pro Two-Sample t-Test stanovujeme pro střední hodnoty obou populací, že:

- nulovou hypotézu $H_0: m_1 = m_2$
- nenulovou hypotézu $H_1: m_1 \neq m_2$

Testovací statistika t-Testu je (39), kde:

- N_1, N_2 jsou velikost souborů dat
- \bar{Y}_1, \bar{Y}_2 jsou střední hodnoty souborů data
- s_1^2, s_2^2 jsou rozptyly [8]

$$T = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (39)$$

6.1.4. Výsledky aplikace metod pro hodnocení stability stoje

Rozsegmentována data byla rozdělena dle kapitoly zabývající se zpracováním dat (viz. kapitola 6.1.1), tzn. dle klíčů měření-pohlaví-věk-BMI. Pomocí Jarque Bera Testu byla otestována normalita jednotlivých skupin (viz. kapitola 6.1.1). Porovnávány byly skupiny z pohledu věku, BMI, padačů a nepadačů.

Ze skupin dat (viz. tab. 31) byly vybrány kombinace, které obsahovaly data čtyř a více subjektů.

Ve výsledku tedy byly statisticky analyzovány skupiny žen:

- ve věku 60-69 let
- ve věku 70-79 let
- s BMI klasifikované, jako normální
- s BMI klasifikované, jako nadváha a obezita
- ženy, které poslední rok nespadyly
- ženy, které poslední rok spadly minimálně jednou
- ženy, které byly měřeny na měkké podložce s otevřenými očmi, zavřenými očmi a na tvrdé podložce se zavřenými očmi

Skupiny žen s BMI nadváha a obezita byly sloučeny kvůli navýšení počtu subjektů ve skupině po sjednocení.

Statisticky analyzovány byly:

- AP – anteposteriorní výchylka COP
- ML – mediolaterální výchylka COP
- dva body – euklidovská vzdálenost mezi dvěma body COP
- střed a bod – euklidovská vzdálenost mezi středem souřadnicového systému a bodem COP

Skupiny byly vůči sobě různě porovnány ve dvojicích. Pokud obě porovnávané skupiny měly normální rozdělení, byl aplikován t-Test (viz. kapitola 6.1.3) - PŘÍLOHA 1-4. V opačném případě, pokud jedna ze skupin či obě neměla normální rozdělení, pro porovnání byl použit Wilcoxonův test (viz. kapitola 6.1.2) – PŘÍLOHA 5-8 .

6.2. Závěr kapitoly

Data byla naměřena ve spolupráci s Fakultou Tělesné kultury Univerzity Palackého v Oloumouci. Data naměřená v této práci jsou získána pomocí soustavy dvou stabilometrických plošin. Naměřená data byla rozdělena do skupin dle druhu měření: zavřených či otevřených dveří a stojíc na měkké či tvrdé podložce, pohlaví, věku a BMI. Ze statistiky byly vyloučeny skupiny dat, které obsahovaly záznamy méně, než čtyř osob.

Data byla zkoumána ze čtyř pohledů: AP – anteroposteriorní výchylka COP, ML – mediolaterální výchylka COP, dva body – euklidovská vzdálenost mezi dvěma body COP, střed a bod – euklidovská vzdálenost mezi středem souřadnicového systému a bodem COP.

Pro test normality byl použit Jarque-Bera Test. Jednotlivé skupiny byly vůči sobě porovnány. Pokud obě porovnávané skupiny měly normální rozdělení, pro porovnání byl použit t-Test, v opačném případě byl použit Wilcoxonův test.

7. Diskuze

V práci byla aplikována řada metod nelineární analýzy. Pro analýzu je použita metoda pro určení vybraných parametrů rekurentní kvantifikační analýzy, metoda výpočtu Shannonovy entropie, metoda výpočtu největšího Lyapunovského koeficientu, numerická metoda odhadu Hurstova exponentu, metoda výpočtu Aproximační entropie a parametrů Detrendované flukтуаční analýzy.

Zkoumány byly anteroposteriorní a mediolaterální výchylky COP, vzdálenost mezi dvěma po sobě následujícími COP body a vzdálenost mezi středem souřadnicového systému a bodem COP. Navržené metody jsou implementovány v prostředí MATLAB. Data byla rozdělena dle kritérií věku, BMI, počtu pádů a podmínek měření. Měření bylo provedeno při otevřených či zavřených očích na měkké či tvrdé podložce stabilometrické plošiny. Měření se účastnilo 113 žen. Statisticky vyhodnoceny byly ženy z pohledu věku 60-69 let a 70-79 let, jejichž BMI spadalo do kategorie normální a nadváha s obezitou. Bylo provedeno statistické porovnání skupin s cílem stanovení předpokládaných výsledků měření pro klinickou aplikaci.

V rámci hodnocení výsledků se nejdříve zaměříme na to, zdali byla nalezeny statisticky významné hodnoty mezi a padači a nepadači.

V PŘÍLOHA 1, kde jsou porovnání padači vůči nepadačům v rámci jedné věkové skupiny, byly nalezeny statisticky významné rozdíly nejčastěji u parametrů rekurentní analýzy u žen ve věku 70-79 let s klasifikovanou nadváhou či obezitou, pokud měly při měření zavřené oči. Zajímavé je, že při měření na měkké podložce při otevřených očích jsou nalezeny statisticky významné rozdíly u osob ve věku 60-69 let při normálním BMI. Pro stejná data zpracovávaná pomocí Wilcoxonova testu v PŘÍLOHA 5 jsou nalezeny statisticky významné rozdíly u určitých parametrů rekurentní analýzy a Největšího Lyapunovského koeficientu. Při měření na měkké podložce, viz. PŘÍLOHA 1, byly nalezeny statisticky významné rozdíly u některých z parametrů rekurentní analýzy a Detrendované flukтуаční analýzy u žen ve věku 60-69 při normální váze.

Když se podíváme na porovnání padačů a nepadačů mezi sebou v rámci stejné věkové skupiny (PŘÍLOHA 3 a PŘÍLOHA 7), jsou nalezeny statisticky významné rozdíly u nepadačů s nadváhou a obezitou převážně u parametrů rekurentní analýzy a u případu stoje s otevřenými očima u Detrendované flukтуаční analýzy, Hurstova exponentu a parametrů Poincaré plot analýzy.

Při pohledu do PŘÍLOHA 1-8 jsou pro Shannonovu entropii nevyplněné kolonky či kolonky v rámci jedné kombinace skupiny mají stejnou hodnotu. Je to způsobené tím, že Shannonova

entropie se pro analýzu dat posturální stability projevila jako nevyužitelná. Jak je známo, tato entropie hledá unikátní informace v záznamu, přičemž počet těchto informací se většinou rovná délce záznamu. Proto bez modifikace, např. pomocí filtrace, nelze tento parametr použít.

Při pohledu na boxploty PŘÍLOHA 9, neboli Největšího Lyapunovského koeficientu u nepadačů u anteroposteriorní výchylky je zajímavé, že při měření na měkké podložce u žen s nadváhou a obezitou jsou si střední hodnoty a kvartily téměř rovné. PŘÍLOHA 12 ukazuje, že pro Largest diagonal line u nepadačů u anteroposteriorní výchylky jsou horní kvartily pro data žen ve věku 60-69 při měření na tvrdé podložce při zavřených očích jsou výrazně větší od ostatních boxplotů. To samé se projevuje u mediolaterální odchylky PŘÍLOHA 25.

Pokud se podíváme na Aproximační entropii u nepadačů pro mediolaterální směr (PŘÍLOHA 23) jsou při měření na měkké podložce při otevřených očích výrazně odlišné střední hodnoty od ostatních dat. U řady parametrů pro nepadače jsou výrazně odlišné střední hodnoty při měření na měkké podložce při zavřených očích. U Největšího Lyapunovského koeficientu při anteroposteriorní odchylce u padačů (PŘÍLOHA 62) je vidět, že střední hodnoty a kvartily jsou si pro všechna data naměřená při zavřených očích na měkké podložce rovny resp. nejsou určeny statisticky významné rozdíly. Pokud se podíváme na Aproximační entropii při euklidovské vzdálenosti mezi dvěma body COP u padačů PŘÍLOHA 89, je vidět, že střední hodnoty a kvartily jsou pro každou skupinu výrazně odlišné. Z uvedeného lze usoudit, že aproximační entropie silně závisí na typu měření, věku a BMI.

Z výsledků je zřejmé, že navržené metody jednoznačně identifikují rozdíly mezi jednotlivými skupinami a především padači a nepadači. Konkrétnější důvody uvedeného jsou dány primárně vlastnostmi měřených subjektů nikoliv navrženými metodami.

8. Závěr

8.1. Naplnění cílů práce

V práci byly vybrány a navrženy primárně metody nelineární analýzy, které jsou potenciálně vhodné k analýze posturální stability v klinické praxi. Metody byly implementovány v prostředí MATLAB. Celkem bylo naměřeno 1992 záznamů, kdy se měření účastnilo 113 žen. Pomocí t-testu či Wilcoxonova testu byly hledány statistické významnosti mezi jednotlivými skupinami dat. Byly nalezeny statistické významné rozdíly v datech resp. určených parametrech vypočtených metodami nelineární analýzy. Na závěry práce naváže zdravotnický rozbor zjištěných výsledků zjištěných aplikovanými metodami.

8.2. Doporučení dalšího řešení

Z inženýrského pohledu doporučuji se zaměřit na další otestování parametrů rekurentní kvantifikační analýzy, neboť se často objevovala statistická významnost při datech posturální stability ve spojitosti s rekurentní analýzou. Mezi další parametry k doporučenému dalšímu zkoumání patří Největší Lyapunovský koeficient, sklon křivky pro Detrendovanou flukтуаční analýzu a parametry Poincaré plotu.

Na výsledky zjištěné statistickým hodnocení je nutné navázat lékařskou analýzou výsledků a interpretaci. Uvedené je však nad rámec zaměření práce, v které bylo navrženo mnoho metod, které v takové šíři na uvedenou problematiku zatím nebyly prezentovány.

9. Použitá literatura

Webové zdroje:

- [3] RECURRENCE PLOTS::Recurrence Quantification Analysis, Definition. RECURRENCE PLOTS::Recurrence Plots, Cross Recurrence Plots, Dynamical Systems, Recurrence Quantification Analysis (RP, CRP, RQA), Recurrence Analysis, Nonlinear Dynamics, Chaos, Time series analysis, Data analysis [online]. Copyright © 2000 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.recurrence-plot.tk/rqa.php>
- [4] Approximate Entropy (ApEn). PhysioNet [online]. Dostupné z: <http://www.physionet.org/physiotools/ApEn/>
- [5] WHO/Europe | Body mass index - BMI. [online]. Copyright © 2019 WHO [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>
- [6] Balance-pad. AIREX – hochwertige Gymnastikmatten & Fitnessmatten direkt vom Hersteller [online]. Dostupné z: <https://www.my-airex.com/en/products/detail/13/balance-pad>
- [7] Jarque-Bera Test - Statistics How To. Statistics How To: Elementary Statistics for the rest of us! [online]. Copyright ©2019 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/jarque-bera-test/>
- [8] Engineering statistics handbook [online]. Dostupné z: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda353.htm>

Odborné články:

- [9] KIRICHENKO, Ludmila; RADIVILOVA, Tamara; DEINEKO, Zhanna. Comparative analysis for estimating of the Hurst exponent for stationary and nonstationary time series. Information Technologies & Knowledge, 2011, 5.1: 371-388.
- [10] Rosenstein, Michael T., James J. Collins, and Carlo J. De Luca. "A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets." Physica D: Nonlinear Phenomena 65.1-2 (1993): 117-134

- [11] PAILLARD, Thierry; NOÉ, Frédéric. Techniques and methods for testing the postural function in healthy and pathological subjects. *BioMed research international*, 2015, 2015.
- [12] QAZI, Sarang Latif, et al. High Postural Sway Is an Independent Risk Factor for Osteoporotic Fractures but Not for Mortality in Elderly Women. *Journal of Bone and Mineral Research*, 2019, e3664.
- [13] DE VASSIMON-BARROSO, Verena, et al. Linear and nonlinear analysis of postural control in frailty syndrome. *Brazilian journal of physical therapy*, 2017, 21.3: 184-191.
- [14] KIRCHNER, Marietta. Characterising postural sway fluctuations in humans using linear and nonlinear methods. 2013. PhD Thesis. Univ.-Bibliothek Frankfurt am Main.
- [15] TOLOZA, D.; ZEQUERA, M. Linear and non-linear methods for analysis Center Pressure and its application in Diabetic Peripheral Neuropathy: A systematic review. In: VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th-28th, 2016. Springer, Singapore, 2017. p. 713-716.
- [16] GOSHVARPOUR, Atefeh; GOSHVARPOUR, Ateke; RAHATI, Saeed. Analysis of lagged Poincare plots in heart rate signals during meditation. *Digital Signal Processing*, 2011, 21.2: 208-214.
- [17] PENG, C.-K., et al. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 1995, 5.1: 82-87.
- [18] BARUNIK, Jozef; KRISTOUFEK, Ladislav. On Hurst exponent estimation under heavy-tailed distributions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2010, 389.18: 3844-3855.
- [19] AFSAR, Ozgur; TIRNAKLI, Ugur; MARWAN, Norbert. Recurrence Quantification Analysis at work: Quasi-periodicity based interpretation of gait force profiles for patients with Parkinson disease. *Scientific reports*, 2018, 8.1: 9102.
- [20] MARWAN, Norbert, et al. Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics reports*, 2007, 438.5-6: 237-329.
- [21] KLIKOVÁ, B.; RAIDL, Aleš. Reconstruction of phase space of dynamical systems using method of time delay. In: *Proceedings of WDS*. 2011. p. 83-87.

- [22] GAO, Jianbo, et al. Shannon and Renyi entropies to classify effects of mild traumatic brain injury on postural sway. PLoS One, 2011, 6.9: e24446.

Studijní materiály:

- [23] KUTÍLEK, Patrik a Adam ŽIŽKA. Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-04993-8.
- [24] RAMACHANDRAN, K. M. a Chris P. TSOKOS. Mathematical statistics with applications. Boston: Academic Press, c2009. ISBN 978-012-3748-485.

Návody:

- [25] Home - International Society of Biomechanics [online]. Dostupné z: <https://isbweb.org/software/movanal/vaughan/amti.pdf>

Obrázky:

- [1] Home - International Society of Biomechanics [online]. Dostupné z: <https://isbweb.org/software/movanal/vaughan/amti.pdf>
- [2] KUTÍLEK, Patrik a Adam ŽIŽKA. Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-04993-8.
- [3] Balance-pad. AIREX – hochwertige Gymnastikmatten & Fitnessmatten direkt vom Hersteller [online]. Dostupné z: <https://www.my-airex.com/en/products/detail/13/balance-pad>
- [4] Stabilometric platform ALFA – 18.166.015. fysiomed CS [online]. Dostupné z: <http://www.fysiomed.cz/ru/rehabilitation-equipment/diagnostics/stabilometric-platform-alfa/>
- [5] TecnoBody Prokin 212 - Exertools. Activity Specific Equipment for Training, Rehab and Functional Fitness - Exertools Inc. [online]. Copyright © 2019 Exertools [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://exertools.com/tecnobody-prokin-212/>
- [6] Detrended Fluctuation Analysis (DFA). PhysioNet [online]. Dostupné z: <http://www.physionet.org/tutorials/fmnc/node5.html>
- [7] GOSHVARPOUR, Atefeh; GOSHVARPOUR, Ateke; RAHATI, Saeed. Analysis of lagged Poincare plots in heart rate signals during meditation. Digital Signal Processing, 2011, 21.2: 208-214.

- [8] Lorenz Attractor -- from Wolfram MathWorld. Wolfram MathWorld: The Web's Most Extensive Mathematics Resource [online]. Copyright © 1999 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://mathworld.wolfram.com/LorenzAttractor.html>
- [9] RILEY, M. A.; BALASUBRAMANIAM, R.; TURVEY, M. T. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait & posture*, 1999, 9.1: 65-78.

10. Přílohy

1-4: výsledky Two-sample t-Test

5-8: výsledky Wilcoxon Ranksum test

9-112: boxploty pro jednotlivé skupiny napříč všemi měření, věkovými skupinami a BMI

Výsledky ttest2 – padači vs. nepadači se stejným věkem																	
měření	věk	BMI	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'	
EC	60-69	normální	AP	-	0,973652103	-	0,398929046	0,144752945	0,258699592	0,299088817	-	-	0,82261248	0,876502281	-	0,524562256	
			ML	-	0,771151888	-	0,756154142	-	0,811157089	0,601433734	-	-	0,948609176	0,491148147	-	0,703419404	
			dva body	-	-	-	0,394914457	-	-	0,500112672	-	-	-	0,00816209	0,168779986	-	-
		střed a bod	-	0,414296895	-	0,851961898	0,235399857	0,335490852	0,322708251	-	-	-	0,885452579	-	-	0,694444722	
		AP	0,229017039	0,551494708	-	0,130326709	-	0,417439071	0,8496728	-	-	-	0,446907819	0,780522303	-	-	
		ML	-	-	-	0,504432539	-	0,494969124	0,166434284	-	-	-	0,165272812	0,906703142	-	-	
	dva body	-	0,343207832	-	0,184047007	-	0,455789619	-	-	-	-	0,013419016	0,400834444	-	-		
	střed a bod	-	0,95446953	-	0,044500638	-	0,145097505	0,261226351	-	-	-	0,565024088	0,779730463	-	-		
	70-79	normální	AP	0,433283057	-	0,645109146	0,845893437	0,771116107	0,68245057	0,645180141	0,96596998	-	-	0,565029025	0,381828213	0,884509569	0,951947809
			ML	-	0,935315727	0,986351214	0,744311325	0,70574497	0,612944301	0,291796188	-	-	0,595791649	0,524742802	0,540099755	0,757787151	
			dva body	-	0,197403968	-	0,448538297	0,260730919	0,352653158	0,776088533	0,882311771	-	-	0,440232986	0,78693883	0,451193662	0,602458225
		střed a bod	0,375259324	0,300565037	0,531061258	0,488404108	0,782263244	0,49475171	0,336512424	0,983367398	-	-	0,541007744	0,496852105	-	0,908860065	
AP		0,142600355	0,936971569	-	0,006638856	-	0,025463382	-	-	-	-	0,797062822	0,787771585	-	0,314457665		
ML		0,005626373	-	-	-	-	0,03382411	0,042181061	-	-	-	0,97736256	0,569788448	-	0,187966028		
dva body	-	-	-	0,214502945	-	0,138089835	0,064562309	-	-	-	0,246174872	0,335360737	-	-			
střed a bod	-	-	-	-	-	-	0,127103018	-	-	-	0,675292393	0,797958346	-	0,547154957			
MEC	60-69	normální	AP	-	0,656955658	0,678724998	-	0,612830555	0,252779545	-	0,192487168	-	0,961839725	0,562002632	0,151537287	-	
			ML	0,065440216	0,328166062	0,945155679	-	0,038861588	0,138911776	0,145477765	-	0,969166239	0,751390311	0,245264299	0,001379994		
			dva body	0,084807887	-	0,049356431	-	-	-	0,416341056	-	0,282634233	-	0,663431549	0,845023865	-	0,192619988
		střed a bod	-	-	-	-	0,321581704	-	-	-	-	-	0,853797395	0,443159232	0,150306401	0,001725771	
		AP	0,697928596	0,895398405	-	-	-	0,364636945	0,335530524	-	-	-	0,224068752	0,944141078	-	-	
		ML	-	0,761160297	-	-	-	0,998599655	0,360086114	0,41953235	-	-	0,36948701	0,587544445	-	-	
	dva body	0,347125169	-	-	-	-	-	0,785297257	0,191473797	-	-	0,881967294	0,935639363	-	0,629708326		
	střed a bod	-	0,171274673	-	-	0,206993719	-	0,090669262	-	-	-	0,940915437	0,485184574	0,898428599	-		
	70-79	normální	AP	-	0,97240585	-	0,762619321	0,95969724	0,41089023	0,34329736	0,499946568	-	0,219829341	0,35981374	0,355277115	0,818997566	
			ML	0,728664479	0,7536036	0,364939991	-	-	0,44788837	0,769265244	0,688351136	-	0,219404526	0,217342713	0,416802317	0,931444902	
			dva body	0,409085971	0,524396271	0,253737352	0,769870989	0,66504136	0,479217068	0,3661074	-	-	0,805818088	0,775814449	0,538380157	0,364080048	
		střed a bod	0,321860222	0,3221412	0,744140968	0,644699806	0,641032829	0,760275688	-	0,396262122	-	0,455968858	0,425381469	0,462492666	0,987182438		
AP		0,973847051	0,601905704	-	-	0,002263038	0,064620879	0,010669129	0,010997142	-	-	0,773690172	-	0,029731462	0,46861593		
ML		0,488981271	0,471700225	0,128152486	-	0,021296946	-	-	-	-	-	0,765470649	-	-	-		
dva body	-	-	-	-	-	-	0,013998215	-	0,018189254	-	0,634672471	0,441390402	-	0,043260047			
střed a bod	-	0,642149606	-	-	0,266921244	0,238067207	0,239036262	-	-	-	0,742082565	-	-	0,799313288			
MEO	60-69	normální	AP	-	-	0,087746585	-	0,041393455	0,06753914	0,025246961	0,06740518	-	0,868206999	0,194555331	0,487962786	0,637802925	
			ML	0,621497374	0,279524327	0,060899782	0,161564302	0,033672862	0,059463621	0,048528185	-	-	0,79608049	0,162334029	0,236601709	0,538022598	
			dva body	-	0,782163921	-	0,248463112	-	0,089067758	0,08524379	0,10747617	-	-	0,018059282	0,076029812	0,555145678	0,494650111
		střed a bod	-	0,413449539	0,312671126	-	0,057038555	0,032799259	0,191029995	-	-	-	0,647488048	0,19517167	0,458140916	0,27126748	
		AP	-	0,375855704	-	-	-	-	0,987804836	0,680500243	-	-	0,006483218	0,692735225	0,91736519	-	
		ML	0,042339951	0,815990916	-	0,655353613	-	0,98619994	0,797236882	0,918797753	-	-	0,0051791	0,578260757	0,936455141	-	
	dva body	-	0,575438664	-	0,903208712	-	0,875687888	0,559031368	-	-	-	0,490057511	-	-	0,988298595		
	střed a bod	-	0,16591894	0,254249023	-	-	-	-	-	-	-	0,007510303	0,608336651	-	-		
	70-79	normální	AP	0,975674937	0,174722713	0,732793985	0,754560384	0,830835532	0,342303898	0,120517807	0,960860207	-	-	0,462178249	0,669213235	0,808192246	0,875976667
			ML	0,592510932	-	0,453784183	0,349471134	-	0,425496351	0,810673375	0,787554173	-	-	0,219863337	0,405837118	0,537047706	0,533938571
			dva body	0,741569937	-	-	0,680960142	-	-	-	0,519978706	-	-	0,58645423	0,608117322	-	0,966592469
		střed a bod	0,71443496	0,258053345	-	-	0,763815632	-	-	-	-	-	0,455464886	0,643331732	0,934005828	-	
AP		-	0,033610104	0,050160453	0,192177228	0,954978011	0,94883621	-	-	-	-	0,67053778	0,708601722	-	-		
ML		0,664534914	0,019694007	-	0,100099294	-	-	0,069248275	0,352463737	-	-	0,656665742	0,671002358	-	-		
dva body	-	0,903168432	-	0,012250464	-	-	0,046294238	-	-	-	0,887450429	0,418462596	-	-			
střed a bod	-	-	0,132568729	-	-	0,295589049	-	-	-	-	0,748501547	0,942501909	-	-			

PŘÍLOHA 1

Výsledky ttest2 – padači vs. nepadači se stejným BMI																
měření	BMI	věk	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'
EC	normální	60-69	AP	-	0,973652	-	0,398929	0,144753	0,2587	0,299089	-	-	0,822612	0,876502	-	0,524562
			ML	-	0,771152	-	0,756154	-	0,811157	0,601434	-	-	0,948609	0,491148	-	0,703419
			dva body	-	-	-	0,394914	-	-	0,500113	-	-	-	0,008162	0,16878	-
		střed a bod	-	0,414297	-	0,851962	0,2354	0,335491	0,322708	-	-	0,885453	-	-	0,694445	
		AP	0,433283	-	0,645109	0,845893	0,771116	0,682451	0,64518	0,96597	-	0,565029	0,381828	0,88451	0,951948	
		ML	-	0,935316	0,986351	0,744311	0,705745	0,612944	0,291796	-	-	0,595792	0,524743	0,5401	0,757787	
	nadváha+obezita	60-69	dva body	-	0,197404	-	0,448538	0,260731	0,352653	0,776089	0,882312	-	0,440233	0,786939	0,451194	0,602458
			střed a bod	0,375259	0,300565	0,531061	0,488404	0,782263	0,494752	0,336512	0,983367	-	0,541008	0,496852	-	0,90886
			AP	0,229017	0,551495	-	0,130327	-	0,417439	0,849673	-	-	0,446908	0,780522	-	-
		ML	-	-	-	0,504433	-	0,494969	0,166434	-	-	0,165273	0,906703	-	-	
		dva body	-	0,343208	-	0,184047	-	0,45579	-	-	-	0,013419	0,400834	-	-	
		střed a bod	-	0,95447	-	0,044501	-	0,145098	0,261226	-	-	0,565024	0,77973	-	-	
70-79	AP	0,1426	0,936972	-	0,006639	-	0,025463	-	-	-	0,797063	0,787772	-	0,314458		
	ML	0,005626	-	-	-	-	0,033824	0,042181	-	0,977363	0,569788	-	0,187966			
	dva body	-	-	-	0,214503	-	0,13809	0,064562	-	-	0,246175	0,335361	-	-		
	střed a bod	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,675292	0,797958	-	0,547155		
	AP	-	0,656956	0,678725	-	0,612831	0,25278	-	0,192487	-	0,96184	0,562003	0,151537	-		
	ML	0,06544	0,328166	0,945156	-	0,038862	0,225686	0,138912	0,145478	-	0,969166	0,75139	0,245264	0,00138		
MEC	normální	60-69	dva body	0,084808	-	0,049356	-	0,416341	-	0,282634	-	0,663432	0,845024	-	0,19262	
			střed a bod	-	-	-	-	0,321582	-	-	-	0,853797	0,443159	0,150306	0,001726	
			AP	-	0,972406	-	0,762619	0,959697	0,41089	0,343297	0,499947	-	0,219829	0,359814	0,355277	0,818998
		ML	0,728664	0,753604	0,36494	-	0,447888	0,769265	0,688351	-	0,219405	0,217343	0,416802	0,931445		
		dva body	0,409086	0,524396	0,253737	0,769871	0,665041	0,479217	0,366107	-	0,805818	0,775814	0,53838	0,36408		
		střed a bod	0,32186	0,322141	0,744141	0,6447	0,641033	0,760276	-	0,396262	-	0,455969	0,425381	0,462493	0,987182	
	nadváha+obezita	60-69	AP	0,697929	0,895398	-	-	0,364637	0,335531	-	0,224069	0,944141	-	-		
			ML	-	0,761116	-	-	0,9986	0,360086	0,419532	-	0,369487	0,585754	-	-	
			dva body	0,347125	-	-	-	0,785297	0,191474	-	-	0,881967	0,935639	-	0,629708	
		střed a bod	-	0,171275	-	-	0,206994	0,090669	-	-	-	0,940915	0,485185	0,898429		
		AP	0,973847	0,601906	-	-	0,002263	0,064621	0,010669	0,010997	-	0,77369	-	0,029731	0,468616	
		ML	0,488981	0,4717	0,128152	-	0,021297	-	-	-	-	0,765471	-	-		
70-79	dva body	-	-	-	-	-	0,013998	-	0,018189	-	0,634672	0,44139	-	0,04326		
	střed a bod	-	0,64215	-	-	0,266921	0,238067	0,239036	-	0,742083	-	-	0,799313			
	AP	-	-	0,087747	-	0,041393	0,067539	0,025247	0,067405	-	0,868207	0,194555	0,487963	0,637803		
	ML	0,621497	0,279524	0,0609	0,161564	0,033673	0,059464	0,048528	-	0,79608	0,162334	0,236602	0,538023			
	dva body	-	0,782164	-	0,248463	-	0,089068	0,085244	0,107476	-	0,018059	0,07603	0,555146	0,49465		
	střed a bod	-	0,41345	0,312671	-	0,057039	0,032799	0,19103	-	0,647488	0,195172	0,458141	0,271267			
MEO	normální	60-69	AP	0,975675	0,174723	0,732794	0,75456	0,830836	0,342304	0,120518	0,96086	-	0,462178	0,669213	0,808192	0,875977
			ML	0,592511	-	0,453784	0,349471	-	0,425496	0,810673	0,787554	-	0,219863	0,405837	0,537048	0,533939
			dva body	0,74157	-	0,68096	-	-	0,519979	-	-	0,586454	0,608117	-	0,966592	
		střed a bod	0,714435	0,258053	-	-	0,763816	-	-	-	0,455465	0,643332	0,934006	-		
		AP	-	0,375856	-	-	-	0,987805	0,6805	-	-	0,006483	0,692735	0,917365	-	
		ML	0,04234	0,815991	-	0,655354	-	0,9862	0,797237	0,918798	-	0,005179	0,578261	0,936455	-	
	nadváha+obezita	60-69	dva body	-	0,575439	-	0,903209	-	0,875688	0,559031	-	-	0,490058	-	-	0,988299
			střed a bod	-	0,165919	0,254249	-	-	-	-	-	-	0,00751	0,608337	-	-
			AP	-	0,03361	0,05016	0,192177	0,954978	0,948836	-	-	-	0,670538	0,708602	-	
		ML	0,664535	0,019694	-	0,100099	-	0,069248	0,352464	-	-	0,656666	0,671002	-	-	
		dva body	-	0,903168	-	0,01225	-	0,046294	-	-	-	0,88745	0,418463	-	-	
		střed a bod	-	-	0,132569	-	0,295589	-	-	-	-	0,748502	0,942502	-	-	

Výsledky ttest2 – nepadači vs. nepadači a padači vs. padači se stejným věkem																		
měření	BMI	stav	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'		
EC	normální	nepadač	AP	0,443225	0,500214	0,568404	0,235556	0,009911	0,105644	0,109521	0,252849	-	0,931165	0,731348	-	0,205581		
			ML	-	0,732475	0,310683	0,257651	0,109953	0,087321	0,057502	-	-	0,985669	0,395437	-	0,167541		
			dva body	-	-	0,107617	0,116812	-	-	0,16659	0,218139	-	0,291403	-	0,046233	0,149114	-	-
			střed a bod	0,620416	0,493245	0,934521	0,390016	0,088462	0,16256	0,09652	0,831189	-	0,871481	0,874179	-	0,399655		
		padač	AP	-	-	-	0,594177	0,948644	0,609463	0,770183	-	-	0,840814	0,483536	0,740839	0,288346		
			ML	-	0,995223	-	0,40868	-	0,483906	0,557255	-	-	0,706673	0,623365	0,71187	0,487024		
			dva body	0,826841	0,142479	-	0,660333	-	-	0,617866	-	-	0,361786	0,673151	0,453166	0,947547		
			střed a bod	-	0,260652	-	0,877214	0,786983	0,993943	0,839352	-	-	0,855254	-	0,973911	0,475656		
	nadváha+obezita	nepadač	AP	0,339787	0,614611	-	0,00512	-	0,015039	0,032518	-	-	-	0,405389	0,54568	-	-	
			ML	-	-	-	0,001279	-	0,002022	0,002274	-	-	0,352216	0,67898	-	0,127684		
			dva body	-	0,577875	-	0,001014	-	0,004805	0,00152	-	-	0,065135	0,103167	-	-		
			střed a bod	-	0,690839	-	-	-	-	0,054248	-	-	0,408391	0,401463	-	0,218696		
		padač	AP	0,267373	0,836873	0,978622	0,633629	-	0,525116	-	-	-	0,721249	0,823275	-	-		
			ML	0,828058	-	0,814735	-	-	0,782249	0,530525	-	-	0,469851	0,635871	-	-		
			dva body	-	-	-	0,467984	-	0,376178	-	-	-	0,027162	0,703914	-	-		
			střed a bod	0,404607	-	-	-	-	0,284824	0,379116	-	-	0,75874	0,728573	-	-		
MEC	normální	nepadač	AP	-	0,778918	0,707503	-	0,836353	0,504941	-	0,40016	-	0,584581	0,516691	0,601656	-		
			ML	0,322929	0,203959	0,620914	-	0,182629	0,650635	0,259743	0,186059	-	0,690807	0,447956	0,879386	0,159397		
			dva body	0,474625	-	0,156806	-	0,080708	0,695129	-	0,050235	-	0,53126	0,389039	-	0,738973		
			střed a bod	0,366788	0,889624	0,784913	-	0,493368	-	-	0,642292	-	0,842302	0,658181	0,340053	0,106227		
		padač	AP	-	0,50219	-	0,75559	0,836147	0,194906	0,289347	0,541268	-	0,39723	0,957858	0,331081	0,843764		
			ML	0,922733	0,160875	0,341457	-	-	0,241125	0,4726	0,547793	-	0,326101	0,761313	0,634357	0,534652		
			dva body	0,76654	0,116753	0,888427	0,429234	-	0,418421	0,31961	-	-	0,275906	0,635465	0,87024	0,374		
			střed a bod	-	-	-	0,426356	0,621736	0,306788	-	-	-	0,482439	0,989066	0,375439	0,914874		
	nadváha+obezita	nepadač	AP	0,987215	0,491959	-	-	-	0,065165	0,004584	-	-	-	0,324683	-	-		
			ML	-	0,858698	-	-	0,003583	0,00169	0,003686	-	-	0,472811	0,230492	-	-		
			dva body	-	-	-	-	-	0,012713	-	-	-	0,910246	0,154665	-	0,006949		
			střed a bod	-	0,665018	-	-	0,071075	-	0,149617	-	-	-	-	-	0,322142		
		padač	AP	0,637118	0,842683	-	-	0,987764	0,259508	0,345182	0,954889	-	0,779326	0,33968	0,986261	0,14687		
			ML	0,445095	0,343048	-	-	0,840253	-	-	0,676476	-	0,920004	-	0,406015	0,217753		
			dva body	0,433325	0,82376	-	-	-	0,73387	-	0,821215	-	0,853379	0,344338	0,106849	0,893963		
			střed a bod	-	0,363963	-	-	0,440467	0,12933	0,145202	0,534054	-	0,706284	0,538206	0,674977	0,286899		
MEO	normální	nepadač	AP	0,960521	-	0,106704	-	0,064019	0,289009	0,972371	0,031454	-	0,471116	0,382029	0,344667	0,195924		
			ML	0,52674	0,549004	0,048317	0,199875	0,01243	0,042344	0,03371	-	0,556995	0,544095	0,156991	0,152751			
			dva body	-	-	0,036627	0,22858	0,040126	0,163619	0,353943	0,063259	-	0,045412	0,292316	0,976163	0,34456		
			střed a bod	0,721401	0,863222	-	-	0,061917	-	-	0,157718	-	0,795307	0,355636	0,410012	-		
		padač	AP	-	0,387994	0,781882	0,944882	0,675667	0,392418	0,24362	0,645794	-	0,763541	0,779952	0,525768	0,379414		
			ML	0,142007	-	0,482046	0,251208	-	0,591601	0,991258	0,862099	-	0,509749	0,763639	0,688309	0,755891		
			dva body	0,266913	0,10455	-	0,464887	-	-	0,668935	-	-	0,466499	0,640307	-	0,772057		
			střed a bod	-	0,231744	0,902126	0,672399	0,67473	0,956834	0,883203	-	-	0,81038	0,779047	0,900247	0,844384		
	nadváha+obezita	nepadač	AP	-	0,557909	-	-	-	0,024314	0,049442	-	-	-	0,010303	0,049069	0,003928	-	
			ML	0,610107	0,000587	-	0,000781	-	0,000145	0,005233	-	-	0,016028	0,06724	0,000407	-		
			dva body	-	0,774338	-	0,000561	-	0,000248	0,000111	-	-	0,325282	-	-	0,003146		
			střed a bod	-	0,613954	0,033771	-	-	-	-	-	-	0,016235	0,017024	-	-		
		padač	AP	-	0,55129	0,409262	-	0,007079	0,210651	-	-	-	0,427368	0,312722	-	-		
			ML	0,030464	0,448444	0,342659	0,030899	-	0,04332	0,04403	-	-	0,397625	0,393611	-	-		
			dva body	-	0,799404	-	0,106345	-	0,011778	-	-	-	0,919962	0,05784	-	-		
			střed a bod	-	-	0,440661	-	0,593575	-	-	-	0,936073	-	0,342397	0,392528	-		

PŘÍLOHA 3

Výsledky ttest2 – nepadači vs. nepadači a padači vs. padači se stejným BMI																
bmi	věk	BMI	type	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'
EC	60-69	normální	AP	0,295158	0,121573	-	0,779257	-	0,011709	0,029677	-	-	0,597933	0,358503	-	-
			ML	-	-	-	0,555135	-	0,339041	0,171744	-	-	0,576963	0,095408	-	0,468184
			dva body	-	-	-	0,457605	-	0,757294	0,650617	-	-	0,121368	0,297392	-	-
		střed a bod	-	0,41907	-	0,187175	-	0,094139	0,097366	-	-	0,753676	0,166592	-	0,602929	
		AP	-	0,340626	-	0,965855	-	0,283358	0,866663	-	-	0,715666	0,892428	-	-	
		ML	-	0,706238	-	0,708034	-	0,477416	0,255242	-	-	0,558861	0,822251	-	-	
	nadváha+obezita	dva body	0,960129	0,703923	-	0,697676	-	-	-	-	-	0,08391	0,75669	0,080473	0,720893	
		střed a bod	-	0,712864	-	0,642696	-	0,277635	0,368377	-	-	0,764258	-	-	-	
		AP	0,590467	0,985501	-	0,751798	-	0,183952	0,312367	-	-	0,980108	0,426243	-	0,589834	
		ML	-	-	-	0,394346	-	0,490259	0,965299	-	-	0,893385	0,75882	-	0,699665	
		dva body	-	0,247163	-	0,483802	-	0,844973	0,641895	-	-	0,890503	0,972528	0,761688	-	
		střed a bod	-	0,865883	-	-	-	-	0,720161	-	-	0,932572	0,396749	-	0,787932	
70-79	normální	AP	0,127511	-	0,585447	0,225732	0,84486	0,762836	-	0,184175	-	0,45653	0,173559	-	0,937697	
		ML	0,197692	-	0,42922	-	0,867136	0,997598	0,90331	0,211348	-	0,352402	0,511165	0,517738	0,801201	
		dva body	-	-	-	0,595552	-	0,598139	0,728877	0,426466	-	0,184854	0,644726	-	-	
	střed a bod	0,015671	-	-	-	0,634496	0,771458	0,591759	0,80746	-	0,492896	0,176876	0,916692	0,992888		
	AP	-	0,454723	-	-	-	0,581039	-	-	-	0,450028	0,939818	-	-		
	ML	-	0,529587	-	-	0,174188	0,18525	0,401914	-	-	0,598885	0,802041	-	-		
MEC	60-69	normální	dva body	0,267299	-	-	-	-	0,881207	-	-	-	0,997279	0,492643	-	0,126576
			střed a bod	0,552796	0,344237	-	-	0,84215	-	-	-	-	0,982383	0,079391	0,026533	
			AP	0,445711	0,205805	0,476858	0,680776	0,211417	0,78364	0,402805	0,257615	-	0,66133	0,539697	0,667866	0,069062
		ML	0,281054	0,543719	-	-	0,532094	0,57193	0,887352	0,983096	-	0,739281	0,460588	0,544298	0,047025	
		dva body	0,33244	0,349913	-	-	-	0,549022	0,686671	0,282796	-	0,773857	0,651653	0,988965	0,527351	
		střed a bod	-	-	-	0,257809	0,766017	0,03575	0,204895	-	-	0,632686	0,524326	0,373568	0,605128	
	70-79	normální	AP	-	0,82496	0,183823	0,339919	0,251228	0,427381	0,097037	0,226304	-	0,522872	-	0,086614	0,467706
			ML	0,249567	0,302046	0,141703	-	0,333986	0,089477	0,287731	-	0,581227	0,239124	-	-	
			dva body	-	-	-	-	-	0,224106	-	0,780219	-	0,576947	0,754181	-	0,098344
		střed a bod	-	0,850419	0,130599	-	0,607425	0,499282	0,556486	-	-	0,887055	-	-	0,677175	
		AP	-	0,935766	-	-	0,367925	0,704855	0,162806	0,094729	-	0,222025	0,987237	0,367939	0,773106	
		ML	0,141225	0,058218	0,506446	-	-	-	-	0,290858	-	0,161347	-	0,511366	0,824145	
nadváha+obezita	dva body	0,63155	0,06587	0,087303	-	0,099462	0,089689	-	-	-	0,18188	0,658804	0,03723	0,457172		
	střed a bod	0,257205	0,16642	-	-	0,333231	0,589782	-	0,194604	-	0,321311	0,839331	0,494836	0,550435		
	AP	-	-	-	-	-	0,002832	0,018338	-	-	0,939451	0,799963	0,215687	-		
	ML	0,470761	0,18988	-	0,859199	-	0,076748	0,071163	-	-	0,74171	0,929248	0,422096	-		
	dva body	-	0,189131	-	0,82394	-	-	0,15442	0,081646	-	-	0,057512	-	0,187319		
	střed a bod	-	0,327997	0,611669	-	-	-	-	-	-	0,751687	0,817231	-	-		
MEO	60-69	normální	AP	-	0,339786	0,425665	-	0,320523	0,403863	0,622333	0,107434	-	0,046991	0,413402	0,583534	0,953116
			ML	0,312188	0,659927	0,941914	0,276741	0,758655	0,610706	0,379355	0,336739	-	0,076028	0,430044	0,67808	0,648635
			dva body	-	0,131956	-	0,220172	-	0,390721	0,750193	0,091831	-	0,607555	0,223097	0,008335	0,488544
		střed a bod	-	0,184812	0,776554	0,856537	0,621947	0,927902	0,928755	-	-	0,032762	0,451752	0,630891	0,842134	
		AP	-	0,015202	0,220988	0,515399	0,229964	0,0045	0,009186	0,679982	-	0,315987	0,764261	0,050066	0,251367	
		ML	0,731398	0,022621	-	0,100645	-	0,088412	0,387174	-	-	0,385467	0,572244	0,126692	0,318678	
	70-79	normální	dva body	-	-	-	0,224953	-	0,050556	0,010149	-	-	0,776804	0,611797	-	0,048
			střed a bod	0,962068	0,290714	-	-	0,530834	-	-	-	-	0,271416	0,646625	0,103654	-
			AP	-	0,076726	0,643389	0,735038	0,655753	0,496268	-	-	-	0,069366	0,974215	-	-
		ML	0,403984	-	0,115662	0,059116	-	0,087925	0,594935	-	-	0,072338	0,944604	-	-	
		dva body	-	0,172487	-	0,300438	-	-	-	-	-	-	0,78481	0,366332	-	-
		střed a bod	-	-	0,638908	-	0,607161	-	-	-	-	-	0,053493	0,96648	-	-

Výsledky Wilcoxon Ranksum Test – pádači vs. nepadači se stejným BMI																	
měření	věk	BMI	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'	
EC	60-69	normální	AP	0,620047	-	1	-	-	-	-	0,259324	1	-	-	1	-	
			ML	0,534965	-	0,534965	-	1	-	-	1	1	-	-	-	0,534965	-
			dva body	0,534965	0,901515	0,804779	-	0,597319	0,710373	-	-	0,317599	1	-	-	1	1
		střed a bod	1	-	0,804779	-	-	-	-	-	0,620047	1	-	-	1	1	-
		AP	-	-	0,846451	-	0,391119	-	-	-	0,23422	-	-	-	-	0,846451	0,524597
		ML	0,175244	0,561276	0,846451	-	0,489186	-	-	-	0,678169	-	-	-	-	0,846451	0,889987
	dva body	0,638147	-	0,638147	-	0,931524	-	0,455035	0,361286	-	-	-	-	-	0,489186	0,889987	
	střed a bod	0,07215	-	1	-	0,256698	-	-	0,091505	-	-	-	-	-	0,889987	0,422402	
	AP	-	0,685714	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	ML	1	-	-	-	-	-	-	-	0,685714	1	-	-	-	-	-	
	dva body	0,685714	-	0,885714	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	střed a bod	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	0,485714	-	
AP	-	-	0,039241	-	0,12326	-	0,072763	0,013818	-	-	-	-	-	0,096647	-		
ML	-	1	0,026298	0,062675	0,143969	-	-	0,035581	-	-	-	-	-	0,193244	-		
dva body	0,088875	0,193244	0,021344	-	0,453425	-	-	0,253906	-	-	-	-	-	0,346832	0,167247		
střed a bod	0,013818	0,888571	0,104954	0,411842	0,616793	0,088875	-	0,508915	-	-	-	-	-	0,193244	-		
MEC	60-69	normální	AP	0,356061	-	-	0,500434	-	-	0,282417	-	1	-	-	-	0,002057	
			ML	-	-	-	0,21075	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
			dva body	-	0,408245	-	0,459756	0,196947	-	0,32666	-	1	-	-	-	0,236985	-
		střed a bod	0,017483	0,761826	0,696467	0,742904	-	0,828557	0,947027	0,459756	1	-	-	-	-	-	
		AP	-	-	0,408352	0,722707	0,619839	-	-	0,813182	-	-	-	-	-	0,408352	0,653552
		ML	0,734066	-	0,247062	0,287722	-	-	-	0,228295	-	-	-	-	-	0,266882	0,554809
	dva body	-	0,178142	0,210567	1	0,29813	-	-	0,905977	-	-	-	-	-	0,266882	-	
	střed a bod	0,136264	-	0,382095	0,088909	-	0,084624	-	0,12459	-	-	0,124666	-	-	-	-	
	AP	0,742857	-	0,885714	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
	ML	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
	dva body	-	-	-	-	-	-	-	0,885714	1	-	-	-	-	-	-	
	střed a bod	-	-	-	-	-	-	0,628571	-	1	-	-	-	-	-	-	
AP	-	-	0,031252	0,020841	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
ML	-	-	-	0,024021	-	0,040239	0,147947	0,06487	-	-	1	-	-	0,040239	0,758316		
dva body	0,374947	0,837472	0,123936	0,0455	0,16617	-	0,010344	-	-	-	-	-	-	0,010344	-		
střed a bod	0,374768	-	0,035504	0,342103	-	-	-	0,342682	-	-	-	0,681618	0,238204	-	-		
MEO	60-69	normální	AP	0,493459	0,206911	-	0,078733	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
			ML	-	-	-	-	-	-	-	0,167174	1	-	-	-	-	
			dva body	0,423447	-	0,814809	-	0,197203	-	-	-	1	-	-	-	-	
		střed a bod	0,480708	-	-	0,23587	-	-	-	0,138791	1	-	-	-	-	-	
		AP	0,668027	-	0,103107	0,6365	0,794979	-	-	0,687958	-	-	-	-	-	0,124666	
		ML	-	-	1	-	0,75877	-	-	-	-	-	-	-	-	0,210567	
	dva body	0,493306	-	0,523594	-	0,790384	-	-	0,687988	-	-	0,039861	0,493306	-	-		
	střed a bod	0,210521	-	-	0,603235	0,723083	0,981154	0,962115	0,332778	-	-	-	0,75877	0,586907	-		
	AP	-	-	-	-	-	-	-	-	0,888889	-	-	-	-	-		
	ML	-	0,063492	-	-	0,904762	-	-	-	0,888889	-	-	-	-	-		
	dva body	-	0,730159	0,904762	-	1	0,904762	-	0,904762	0,888889	-	-	-	0,730159	-		
	střed a bod	-	-	0,190476	0,730159	-	0,730159	0,730159	0,730159	0,888889	-	-	-	-	1		
AP	0,031636	-	-	-	-	-	-	0,743742	0,212193	0,300862	-	-	-	0,731242	0,600106		
ML	-	-	0,415938	-	0,286164	-	-	0,153256	0,300862	-	-	-	-	0,302813	0,95675		
dva body	0,254751	-	0,95675	-	0,435616	-	0,010245	0,062605	0,300862	-	-	-	-	0,338008	0,786266		
střed a bod	0,525707	0,375606	-	0,218854	-	0,239979	0,067094	0,270145	0,300862	-	-	-	1	0,375726			

Výsledky Wilcoxon Ranksum Test – padači vs. nepadači se stejným věkem																	
měření	BMI	věk	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'	
EC	normální	60-69	AP	0,620047	-	1	-	-	-	-	0,259324	1	-	-	1	-	
			ML	0,534965	-	0,534965	-	1	-	-	1	1	-	-	0,534965	-	
			dva body	0,534965	0,901515	0,804779	-	0,597319	0,710373	-	-	0,317599	1	-	-	1	1
		střed a bod	1	-	0,804779	-	-	-	-	-	0,620047	1	-	-	1	-	-
		AP	-	0,685714	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
		ML	1	-	-	-	-	-	-	-	0,685714	1	-	-	-	-	-
	nadváha+obezita	60-69	AP	-	-	0,846451	-	0,391119	-	-	0,23422	-	-	-	-	0,846451	0,524597
			ML	0,175244	0,561276	0,846451	-	0,489186	-	-	0,678169	-	-	-	-	0,846451	0,889987
			dva body	0,638147	-	0,638147	-	0,931524	-	0,455035	0,361286	-	-	-	-	0,489186	0,889987
		střed a bod	0,07215	-	1	-	0,256698	-	-	0,091505	-	-	-	-	0,889987	0,422402	-
		AP	-	-	0,039241	-	0,12326	-	0,072763	0,013818	-	-	-	-	0,096647	-	-
		ML	-	1	0,026298	0,062675	0,143969	-	-	0,035581	-	-	-	-	0,193244	-	-
dva body	0,088875	0,193244	0,021344	-	0,453425	-	-	0,253906	-	-	-	-	0,346832	0,167247	-		
střed a bod	0,013818	0,888571	0,104954	0,411842	0,616793	0,088875	-	0,508915	-	-	-	-	0,193244	-	-		
MEC	normální	60-69	AP	0,356061	-	-	0,500434	-	-	0,282417	-	1	-	-	-	0,002057	
			ML	-	-	-	0,21075	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
			dva body	-	0,408245	-	0,459756	0,196947	-	0,32666	-	1	-	-	-	0,236985	-
		střed a bod	0,017483	0,761826	0,696467	0,742904	-	0,828557	0,947027	0,459756	1	-	-	-	-	-	
		AP	0,742857	-	0,885714	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
		ML	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	nadváha+obezita	60-69	AP	-	-	0,408352	0,722707	0,619839	-	-	-	0,813182	-	-	-	0,408352	0,653552
			ML	0,734066	-	0,247062	0,287722	-	-	-	0,228295	-	-	-	-	0,266882	0,554809
			dva body	-	0,178142	0,210567	1	0,29813	-	-	0,905977	-	-	-	-	0,266882	-
		střed a bod	0,136264	-	0,382095	0,088909	-	0,084624	-	0,12459	-	0,124666	-	-	-	-	
		AP	-	-	0,031252	0,020841	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
		ML	-	-	-	0,024021	-	0,040239	0,147947	0,06487	-	-	-	1	0,040239	0,758316	
dva body	0,374947	0,837472	0,123936	0,0455	0,16617	-	0,010344	-	-	-	-	-	0,010344	-			
střed a bod	0,374768	-	0,035504	0,342103	-	-	-	0,342682	-	-	-	0,681618	0,238204	-			
MEO	normální	60-69	AP	0,493459	0,206911	-	0,078733	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
			ML	-	-	-	-	-	-	-	0,167174	1	-	-	-	-	
			dva body	0,423447	-	0,814809	-	0,197203	-	-	-	-	1	-	-	-	
		střed a bod	0,480708	-	-	0,23587	-	-	-	0,138791	1	-	-	-	-		
		AP	-	-	-	-	-	-	-	-	0,888889	-	-	-	-	-	
		ML	-	0,063492	-	-	0,904762	-	-	-	0,888889	-	-	-	-	-	
	nadváha+obezita	60-69	AP	0,668027	-	0,103107	0,6365	0,794979	-	-	0,687958	-	-	-	-	-	0,124666
			ML	-	-	1	-	0,75877	-	-	-	-	-	-	-	-	0,210567
			dva body	0,493306	-	0,523594	-	0,790384	-	-	0,687988	-	-	0,039861	0,493306	-	
		střed a bod	0,210521	-	-	0,603235	0,723083	0,981154	0,962115	0,332778	-	-	-	-	0,75877	0,586907	
		AP	0,031636	-	-	-	-	-	0,743742	0,212193	0,300862	-	-	-	0,731242	0,600106	
		ML	-	-	0,415938	-	0,286164	-	-	0,153256	0,300862	-	-	-	0,302813	0,95675	
dva body	0,254751	-	0,95675	-	0,435616	-	0,010245	0,062605	0,300862	-	-	-	0,338008	0,786266			
střed a bod	0,525707	0,375606	-	0,218854	-	0,239979	0,067094	0,270145	0,300862	-	-	-	1	0,375726			

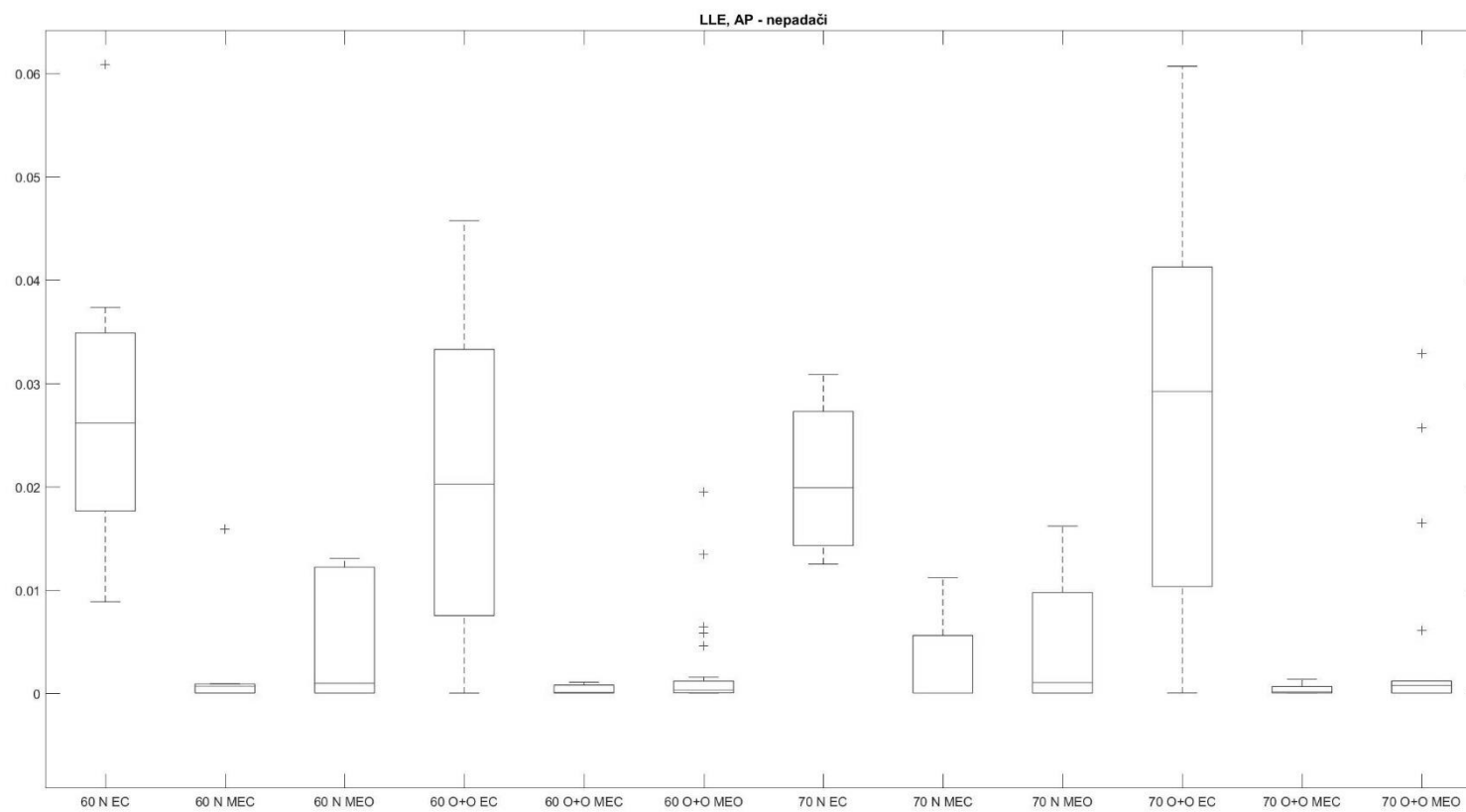
PŘÍLOHA 6

Výsledky Wilcoxon Ranksum Test – nepadači vs. nepadači a padači vs. padači se stejným BMI																		
měření	BMI	stav	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'		
EC	normální	nepadač	AP	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,527273	-		
			ML	0,648485	-	-	-	-	-	-	-	0,163636	1	-	-	0,648485	-	
			dva body	0,230303	1	-	-	0,642424	-	-	-	-	-	1	-	-	0,927273	0,527273
		střed a bod	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,927273	-	
		padač	AP	0,412121	0,648485	0,527273	-	-	-	-	-	-	0,927273	1	-	-	-	-
			ML	0,412121	-	0,927273	-	0,527273	-	-	-	0,648485	1	-	-	-	-	-
	dva body		-	-	0,927273	-	0,933333	1	-	-	0,927273	1	-	-	-	-	-	
	střed a bod	1	-	1	-	-	-	-	-	0,927273	1	-	0,787879	-	-	-	-	
	nadváha+obezita	nepadač	AP	-	-	0,048452	-	0,006267	-	-	-	0,000906	-	-	-	0,013497	0,164932	
			ML	0,285932	0,388445	0,006846	-	0,008882	-	-	-	0,001848	-	-	-	0,036589	-	
			dva body	1	-	0,12482	-	0,147891	-	-	-	0,002862	-	-	-	0,139842	0,048452	
		střed a bod	0,313158	-	0,111088	0,017181	0,036589	0,027296	-	-	0,051878	-	-	-	0,048452	-	-	
padač		AP	-	-	-	-	0,936839	-	0,524398	1	-	-	-	-	0,812092	0,691947		
		ML	-	0,812092	-	0,475731	0,691947	-	-	-	0,383387	-	-	-	0,302936	1		
	dva body	0,112999	0,428111	0,302936	-	0,935469	-	0,874074	-	0,341648	-	-	-	0,057193	0,812092			
střed a bod	-	0,526118	0,936839	1	1	-	-	-	0,936839	-	-	-	0,936839	0,691947	-			
MEC	normální	nepadač	AP	0,393939	-	-	0,513487	-	-	0,523477	-	1	-	-	-	0,539461		
			ML	-	-	-	0,23976	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
			dva body	-	0,187812	-	0,23976	-	-	0,453546	-	-	1	-	-	0,839161	-	
		střed a bod	-	-	-	0,867133	-	1	0,785215	-	-	1	-	-	-	-		
		padač	AP	0,516667	-	0,933333	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
			ML	-	-	-	0,270707	0,682828	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
	dva body		-	-	-	-	0,808081	-	-	-	0,569697	1	-	-	-	-		
	střed a bod	0,166667	0,569697	0,682828	-	-	-	0,436364	-	0,682828	1	-	-	-	-			
	nadváha+obezita	nepadač	AP	-	-	0,033033	0,016905	0,00214	-	-	-	0,021043	-	-	0,316272	0,009518	0,556154	
			ML	0,665006	-	0,072256	0,00182	-	-	-	-	0,001548	-	-	-	0,019369	0,514277	
			dva body	0,707454	0,454681	0,02703	0,030493	0,012489	-	0,005919	0,029311	0,02703	-	-	-	0,02703	-	
		střed a bod	0,623529	-	0,01778	0,041703	-	0,077448	-	0,072222	-	0,286524	0,245553	0,050397	-	-		
padač		AP	-	-	0,267257	0,75063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		ML	-	-	1	0,874027	-	0,812092	0,318246	-	-	-	0,177939	-	-	-		
	dva body	-	-	0,526118	0,874074	0,905347	-	0,302936	-	-	-	-	-	-	-			
střed a bod	0,375758	-	0,23458	0,525651	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
MEO	normální	nepadač	AP	-	0,416583	-	0,05994	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
			ML	-	-	-	-	-	-	-	0,23976	1	-	-	-	-		
			dva body	0,082917	0,082917	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
		střed a bod	-	-	0,898102	0,18981	-	0,028971	0,023976	-	-	1	-	-	-	0,297702		
		padač	AP	0,973737	-	-	-	-	-	-	-	-	0,666667	-	-	-	-	
			ML	-	0,153535	-	-	0,933333	-	-	-	-	0,666667	-	-	-	-	
	dva body		-	-	0,214141	-	0,682828	0,569697	-	0,933333	0,666667	-	-	-	0,682828	-		
	střed a bod	0,933333	-	-	-	-	-	-	0,933333	0,666667	-	-	-	-	-			
	nadváha+obezita	nepadač	AP	0,294127	-	0,00629	0,003443	0,003066	-	-	-	0,006777	-	-	-	-	0,130463	
			ML	-	-	0,001696	-	0,002823	-	-	-	0,001424	-	-	-	-	0,090991	
			dva body	0,353563	-	0,182085	-	0,096096	-	-	-	0,002823	-	-	0,484582	0,061747	-	
		střed a bod	0,366712	-	-	0,035999	0,031739	0,027912	0,073987	0,021438	-	-	-	-	0,033815	0,731507		
padač		AP	0,251232	-	-	0,017976	-	-	0,051099	0,02397	0,558185	-	-	-	0,024089	0,005975		
		ML	-	-	-	-	0,057008	-	-	0,120951	0,558185	-	-	-	0,034454	0,016544		
	dva body	0,887885	-	0,438104	-	0,479625	-	0,341151	0,158594	0,558185	-	-	-	0,013618	0,028873			
střed a bod	0,358107	0,168663	-	0,572696	-	0,438104	1	-	-	0,558185	-	-	-	0,259383	0,066838			

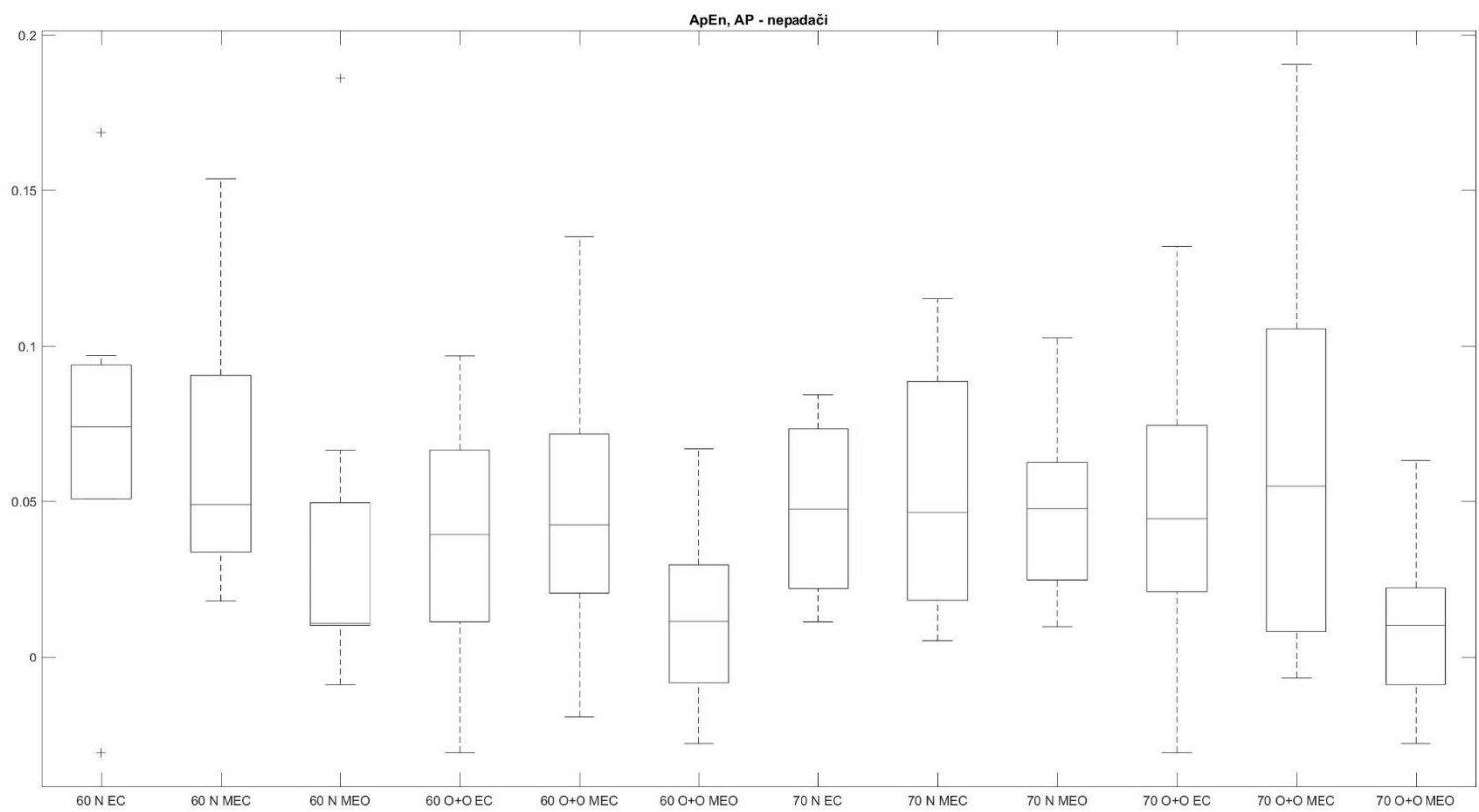
PŘÍLOHA 7

Výsledky Wilcoxon Ranksum Test – nepadači vs. nepadači a padači vs. padači se stejným věkem																	
měření	věk	stav	typ	'LLE'	'apen'	'DET'	'LMAX'	'LAM'	'TT'	'VMAX'	'DIV'	'Shannon'	'DFA-alpha'	'Hurst'	'SD1'	'SD2'	
EC	60-69	nepadač	AP	-	-	0,889987	-	0,128127	-	-	0,803378	-	-	-	0,524597	0,391119	
			ML	0,933858	0,933858	0,332922	-	0,719121	-	-	-	0,889987	-	-	-	0,846451	-
			dva body	0,678169	0,455104	0,760895	-	1	-	-	-	0,638147	-	-	-	0,256698	0,256698
		střed a bod	0,678169	-	0,524597	-	0,391119	-	-	-	0,361286	-	-	-	0,760895	-	
		AP	0,026224	-	0,710373	-	0,710373	-	-	-	0,534965	1	-	-	0,710373	0,901515	
		ML	0,128205	-	0,901515	-	0,620047	-	-	-	1	1	-	-	0,710373	0,804779	
	70-79	nepadač	dva body	-	-	0,620047	-	0,609557	0,620047	0,901515	0,455711	1	-	-	-	-	-
			střed a bod	0,017483	-	0,901515	-	0,455711	-	-	1	1	-	0,804779	-	0,804779	0,710373
			AP	-	-	0,096924	-	0,418691	-	-	-	0,639648	-	-	-	0,136303	-
		ML	0,250475	0,831472	0,327607	-	0,580047	-	-	-	0,287297	-	-	-	0,523186	-	
		dva body	0,160148	-	0,469331	-	0,228701	-	-	-	0,898396	-	-	-	-	0,160148	
		střed a bod	0,469331	-	0,250475	1	0,765749	0,287297	-	-	0,96605	-	-	-	-	0,136303	-
70-79	padač	AP	-	0,234454	-	-	-	-	-	0,772269	-	1	-	-	0,411765	-	
		ML	-	0,477311	-	0,703361	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
		dva body	0,295798	0,35042	0,703361	-	0,693277	-	-	-	-	1	-	-	0,548739	0,956303	
	střed a bod	-	0,245378	0,956303	0,784874	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	AP	0,63273	-	0,135448	1	0,205448	-	0,4581	-	0,909688	-	-	-	-	0,219303	0,041774	
	ML	0,431968	-	0,984922	0,805918	-	-	-	-	0,954788	-	-	-	-	0,248996	0,039407	
MEC	60-69	nepadač	dva body	-	0,248996	0,416434	0,623123	0,532236	-	0,508332	0,55798	-	-	-	0,719546	-	
			střed a bod	-	-	0,719546	0,850084	-	0,66381	0,969727	0,864924	-	0,264852	-	-	-	-
			AP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
		padač	ML	-	-	0,280963	0,894172	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
			dva body	-	-	0,335664	0,350894	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
			střed a bod	1	0,955089	0,396892	-	-	-	-	-	0,778866	1	-	-	-	-
	70-79	nepadač	AP	0,384615	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0,411765	-	-
			ML	-	-	-	0,548739	-	-	-	-	0,548739	1	-	-	0,078992	0,703361
			dva body	0,446154	0,101681	0,295798	0,956303	0,411765	-	0,201681	-	-	1	-	-	0,201681	-
		střed a bod	0,497802	-	-	0,309244	-	-	-	-	0,477311	1	-	0,245378	0,163025	-	
		padač	AP	0,266667	-	0,784874	0,365546	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
			ML	-	-	-	0,136975	0,130252	0,295798	0,395798	-	-	1	-	0,784874	-	-
dva body	-		-	-	0,201681	-	-	0,078992	0,201681	1	-	-	-	-	-		
střed a bod	-	-	0,623529	0,463025	-	-	0,561345	-	-	1	-	-	-	-			
MEO	60-69	nepadač	AP	0,654296	0,301998	0,430556	0,557592	0,093437	-	-	0,504754	-	-	-	-	0,041217	
			ML	-	-	0,129558	-	0,175686	-	-	0,585269	-	-	-	-	0,163143	
			dva body	0,479321	-	0,027592	-	0,142975	-	-	0,951651	-	-	0,093437	0,202907	-	
		střed a bod	0,139966	-	-	0,903471	0,151286	0,033822	0,133705	0,792746	-	-	-	0,163143	0,022379		
		AP	0,47397	-	-	0,220047	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
		ML	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
	70-79	padač	dva body	0,040093	-	0,120591	-	0,510334	-	-	-	1	-	-	-	-	
			střed a bod	0,463403	-	-	-	-	-	-	0,866511	1	-	-	-	-	
			AP	0,969852	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		nepadač	ML	-	-	0,192106	-	0,192106	-	-	-	0,351494	-	-	-	-	
			dva body	0,247967	0,47889	0,737316	-	0,522756	-	-	-	0,852179	-	-	-	0,794189	
			střed a bod	-	-	0,079845	0,737253	-	0,314305	0,735676	0,852179	-	-	-	-	0,47889	
padač	AP	0,120227	-	-	-	-	-	0,991228	0,796698	0,421053	-	-	-	0,124355	0,036636		
	ML	-	0,079979	-	-	0,262126	-	-	0,530444	0,421053	-	-	-	0,100103	0,100103		
	dva body	0,664603	-	0,596491	-	0,885965	0,530444	0,736326	0,809598	0,421053	-	-	-	0,9613	0,036636		
střed a bod	0,642415	0,397317	-	0,651703	-	0,809598	0,982456	0,809598	0,421053	-	-	-	0,184727	0,124355			

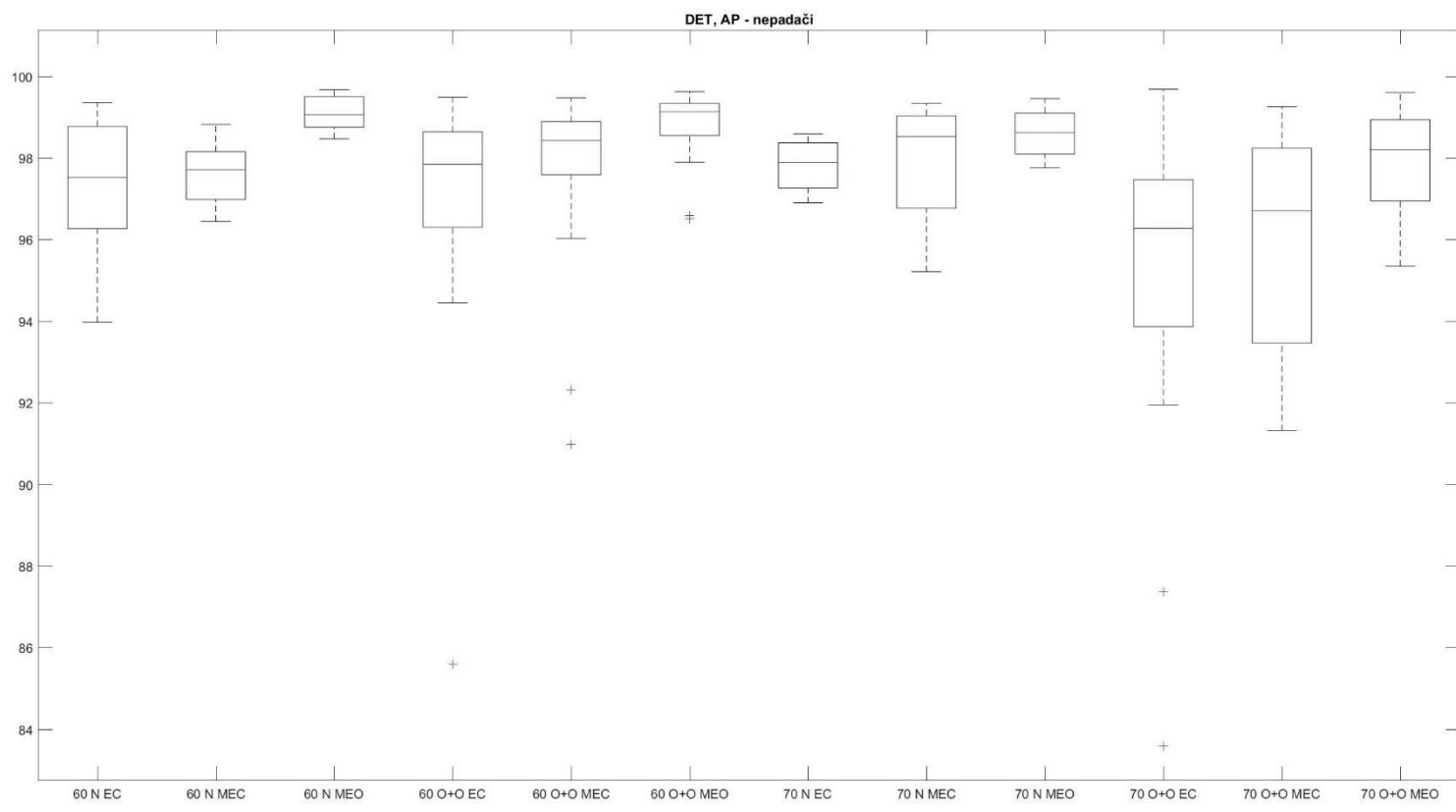
PŘÍLOHA 8



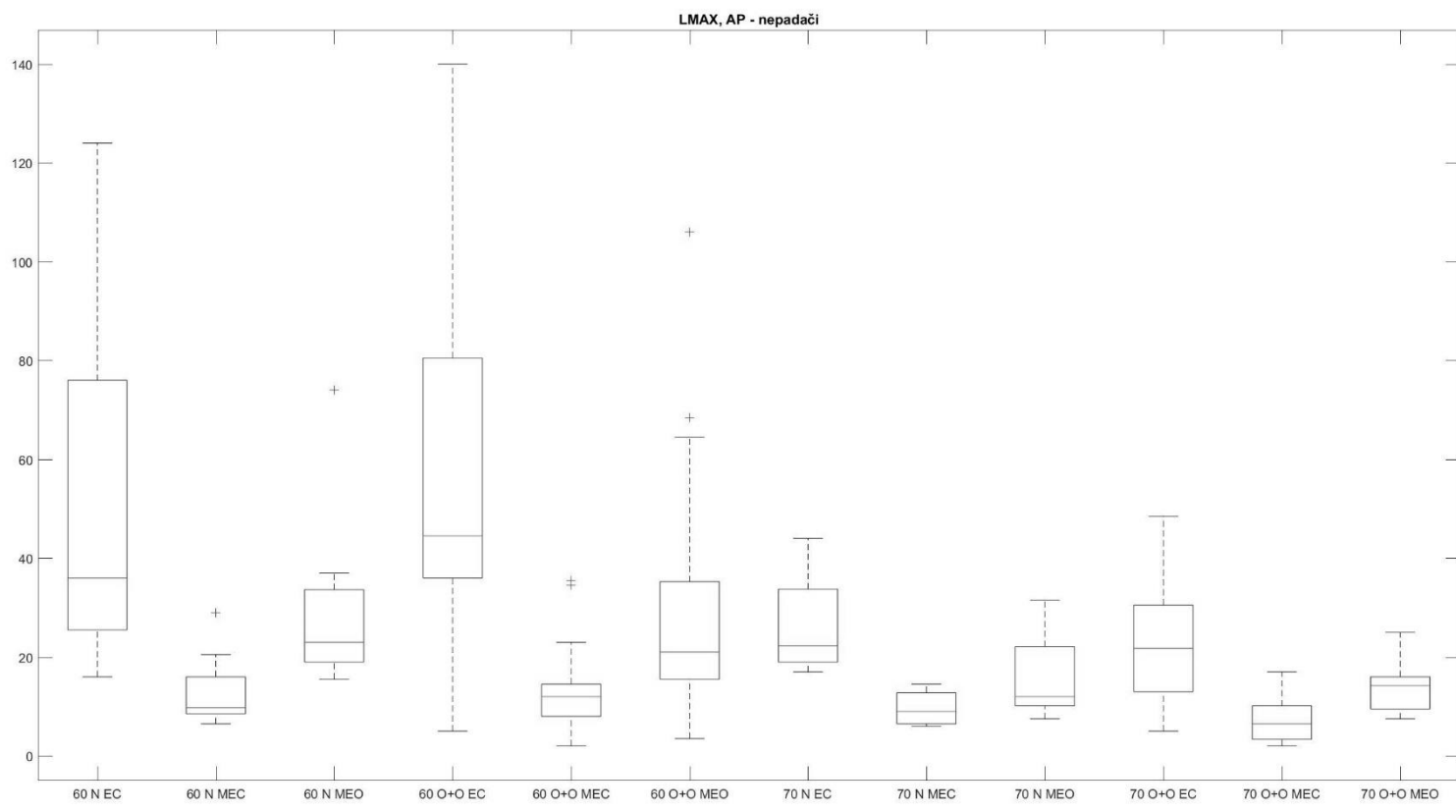
PŘÍLOHA 9



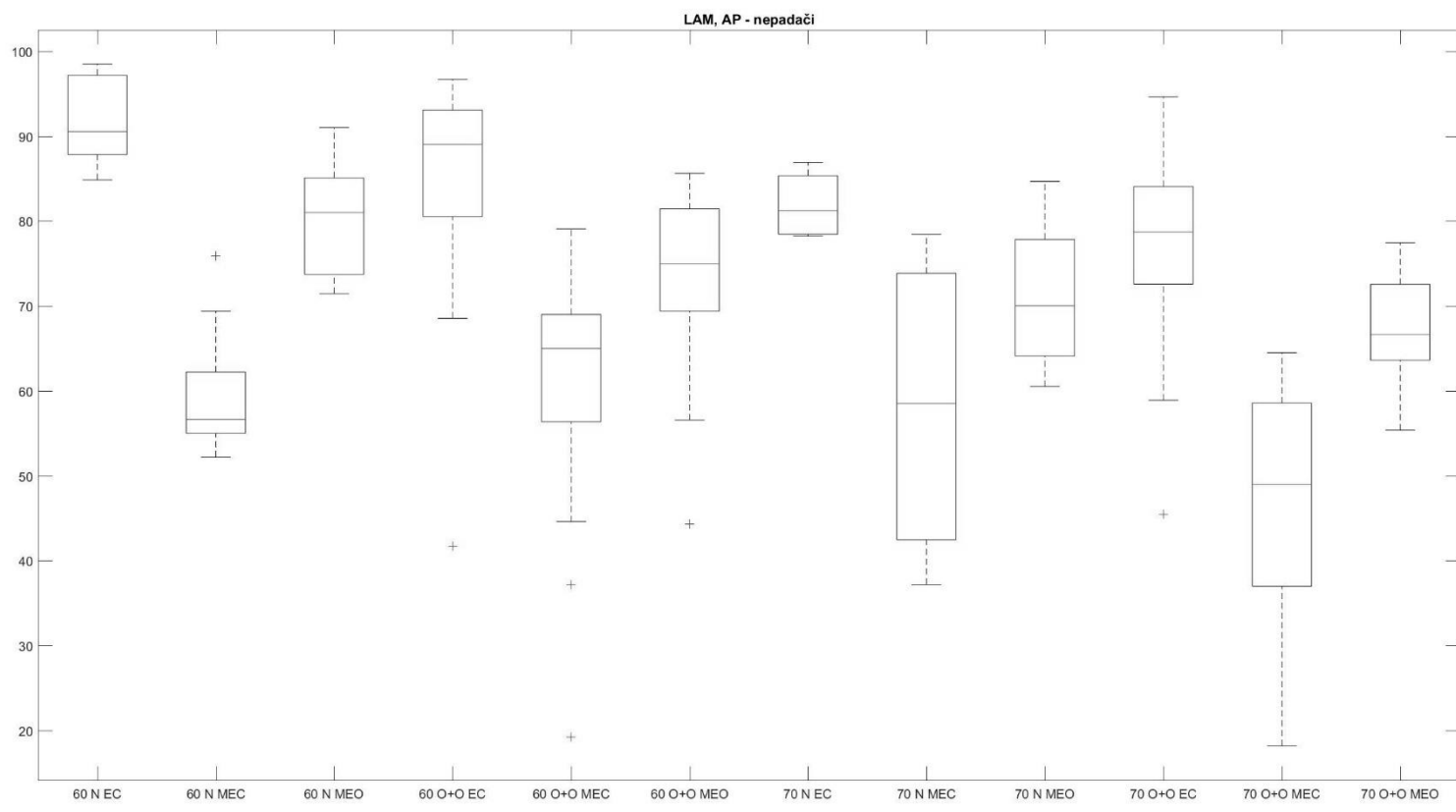
PŘÍLOHA 10



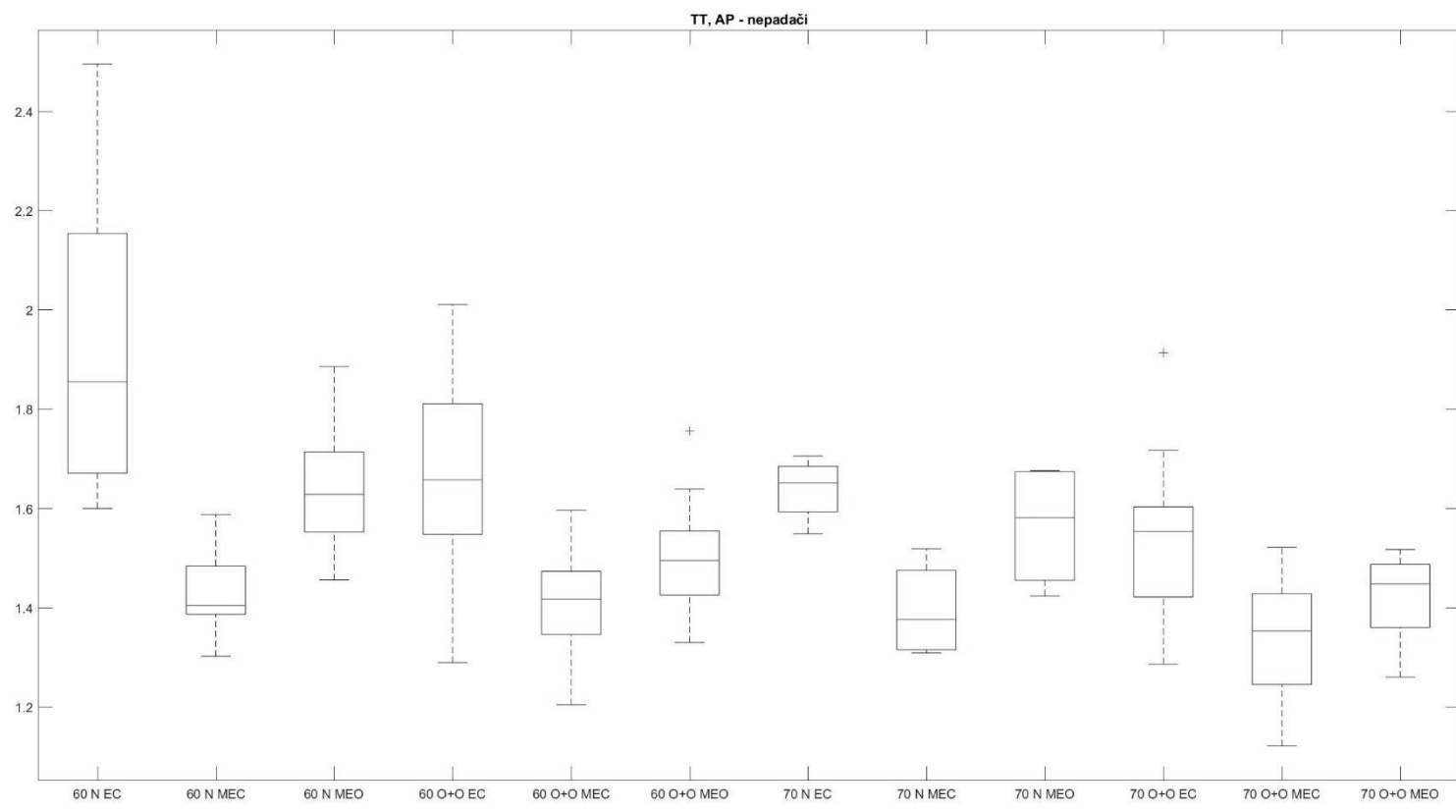
PŘÍLOHA 11



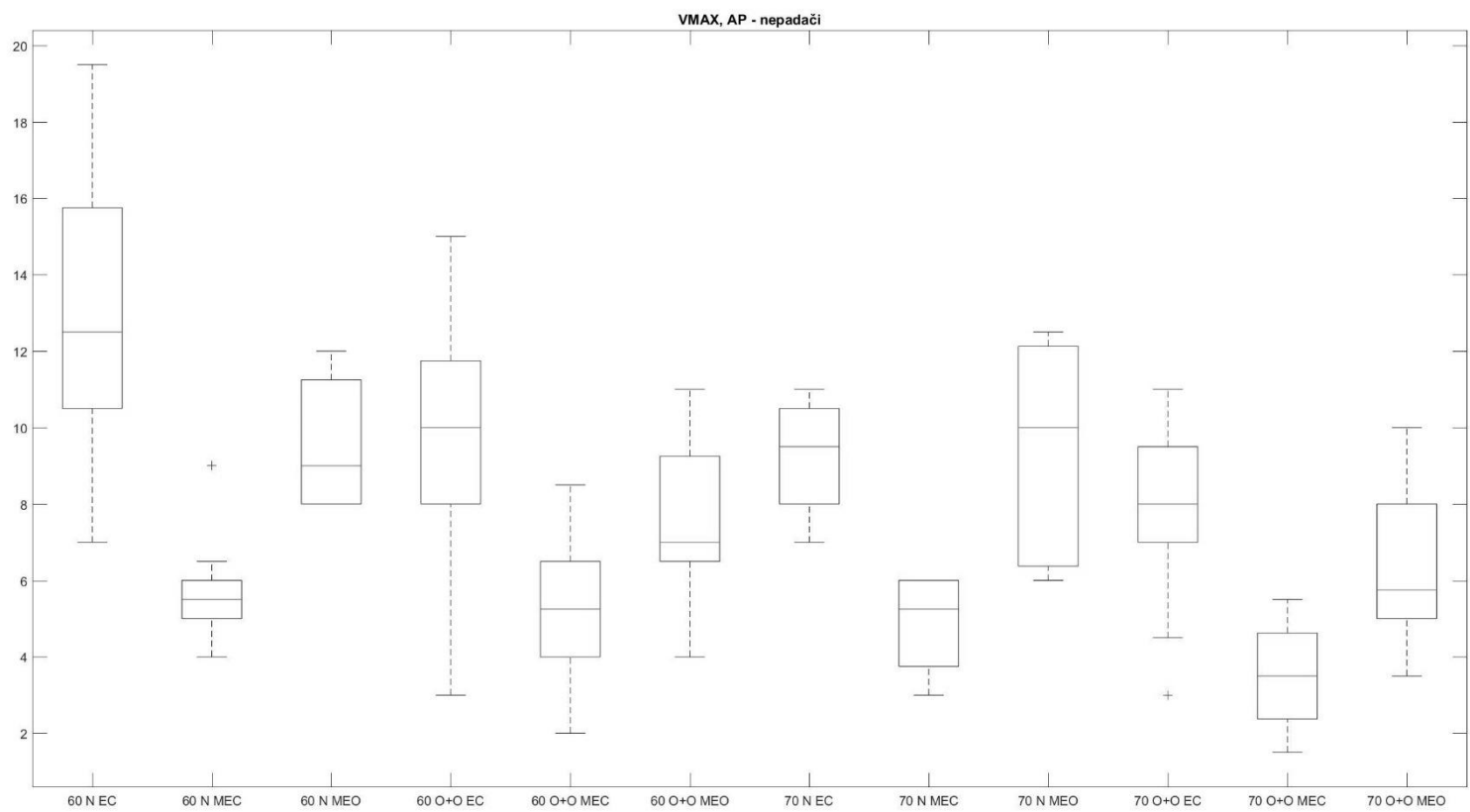
PŘÍLOHA 12



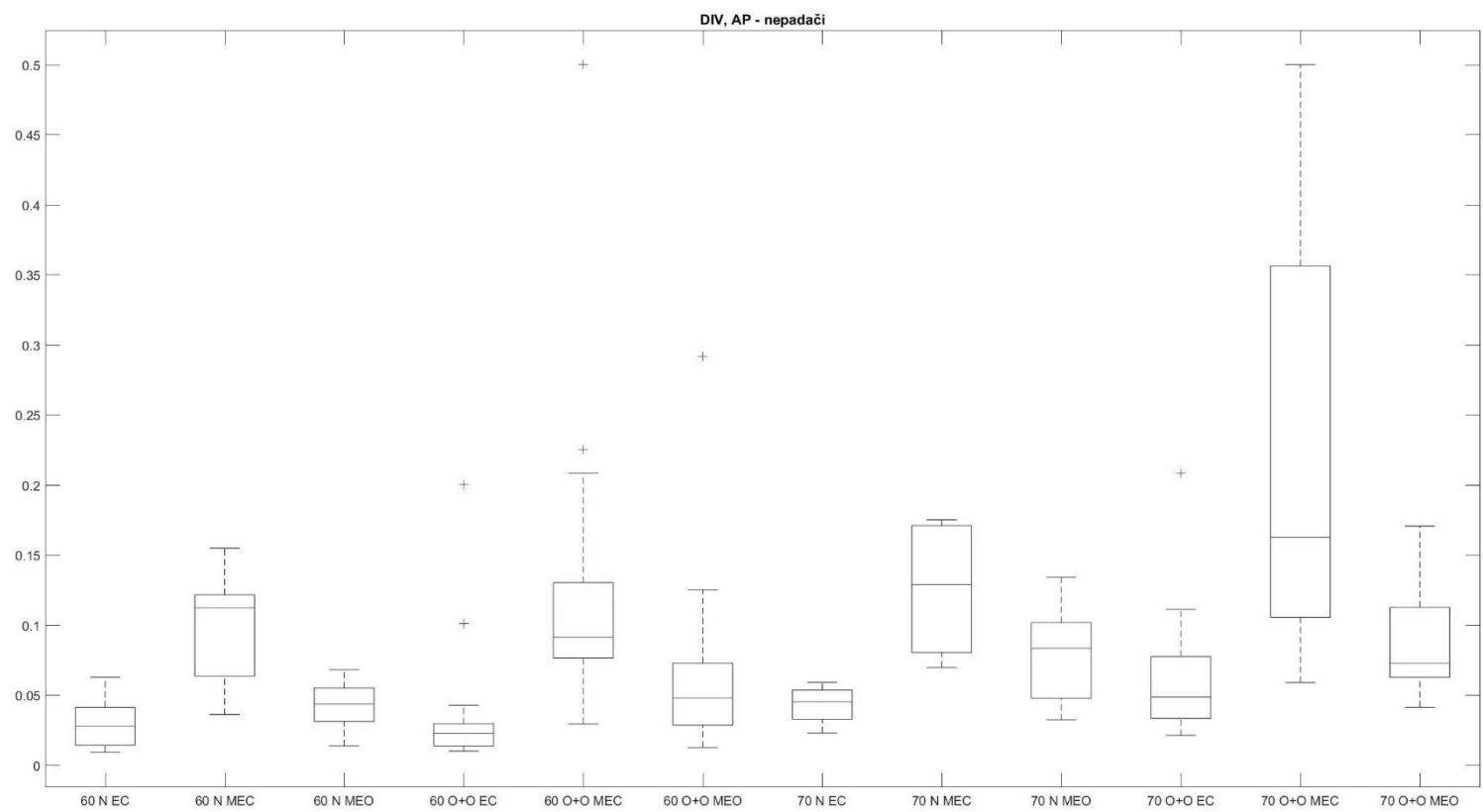
PŘÍLOHA 13



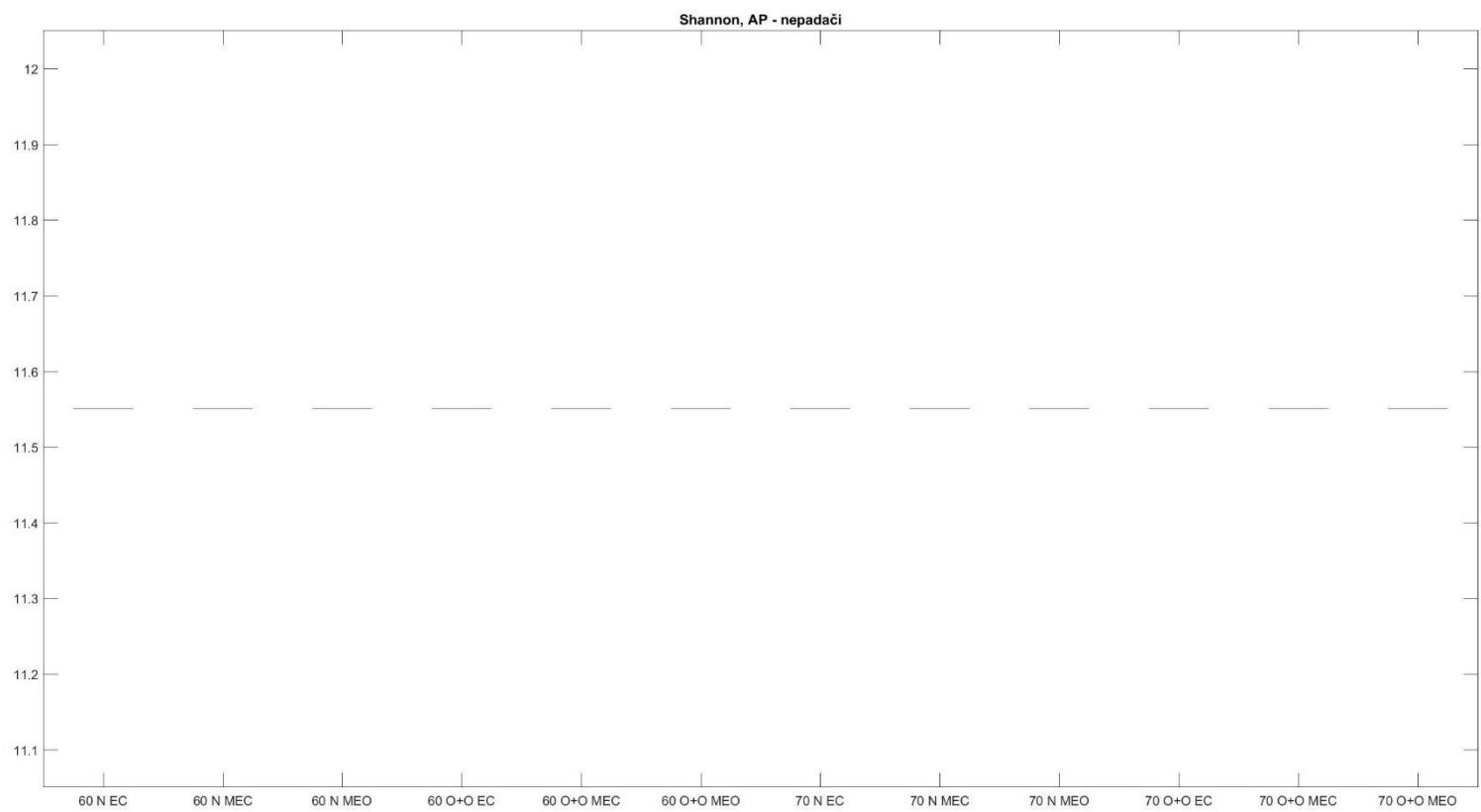
PŘÍLOHA 14



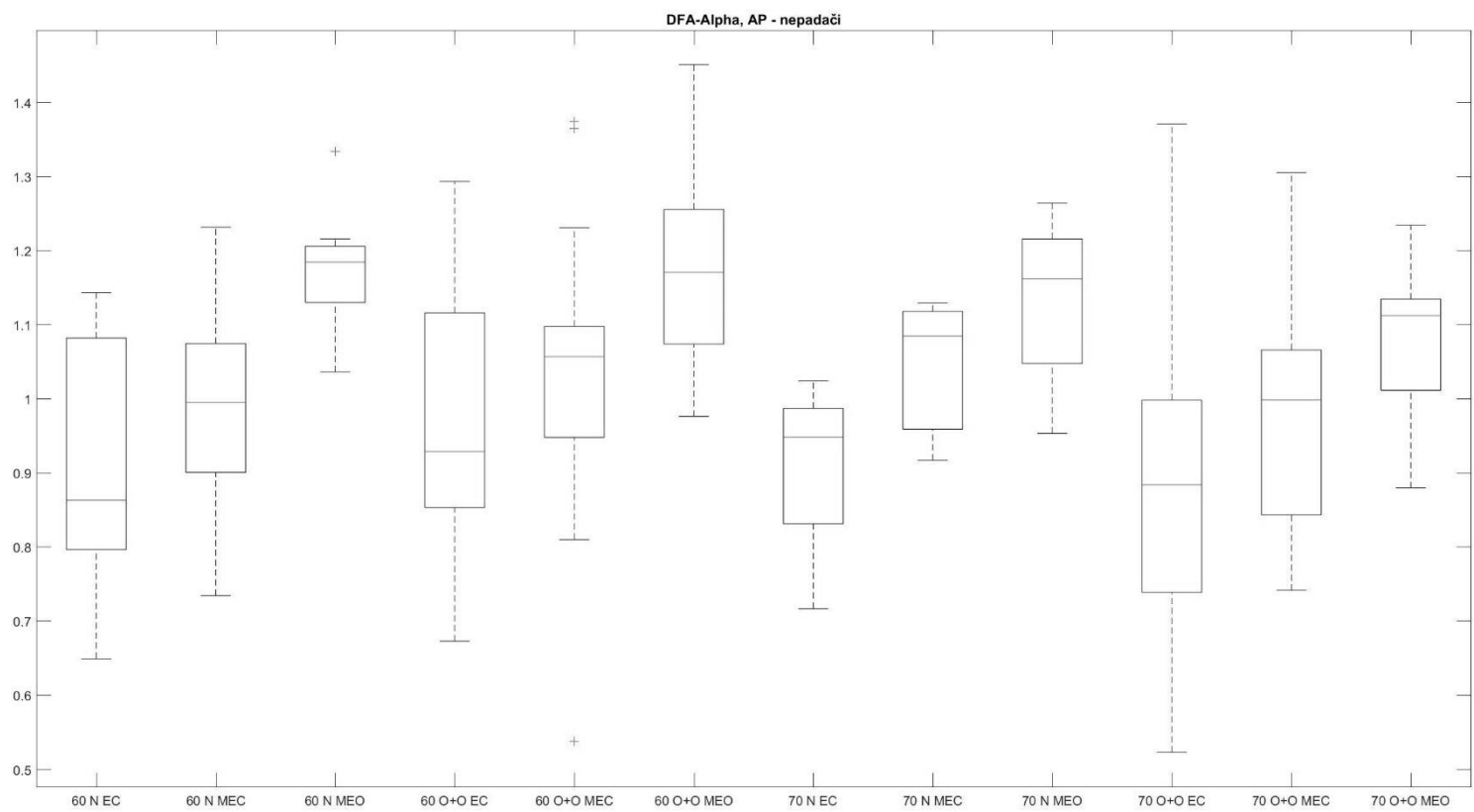
PŘÍLOHA 15



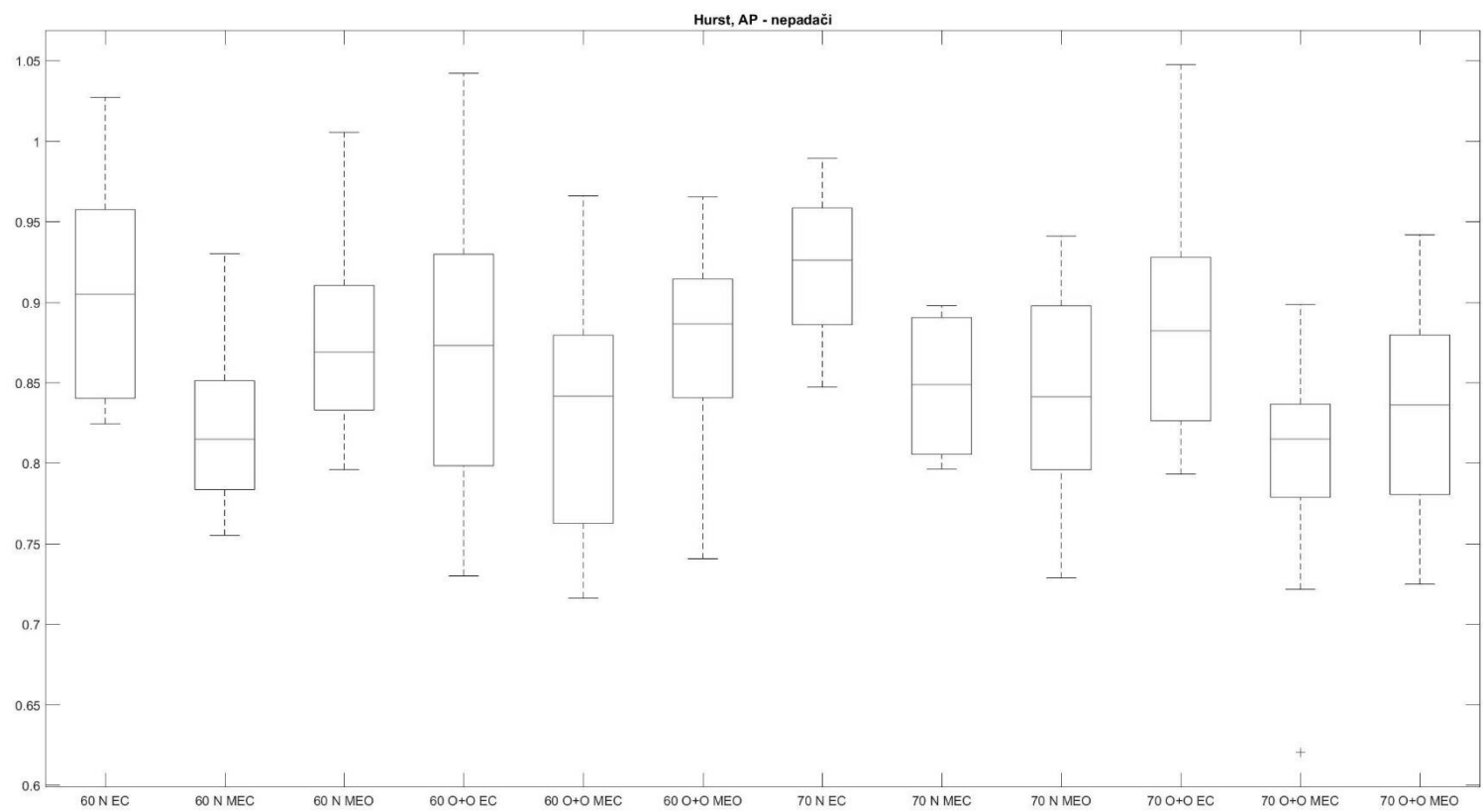
PŘÍLOHA 16



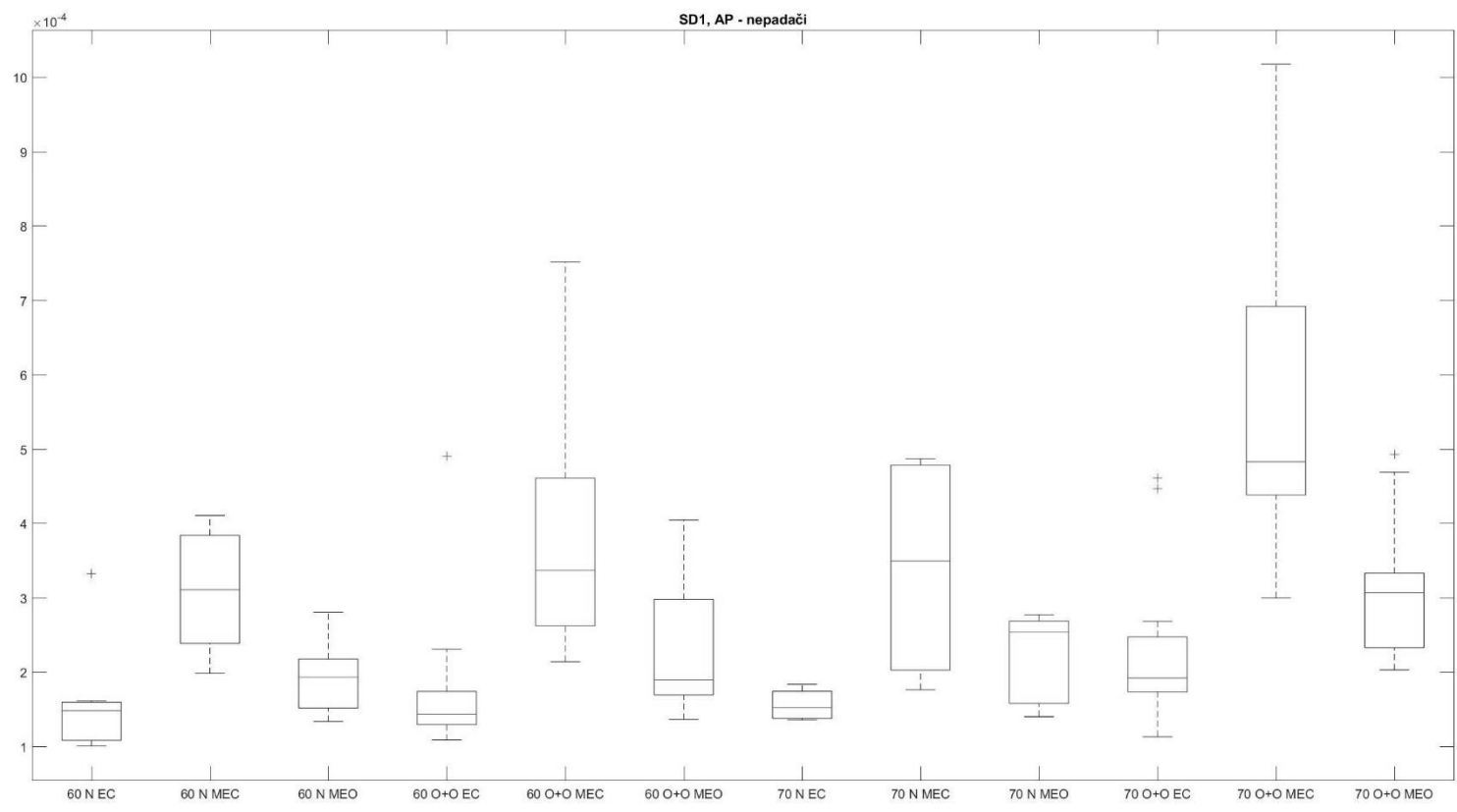
PŘÍLOHA 17



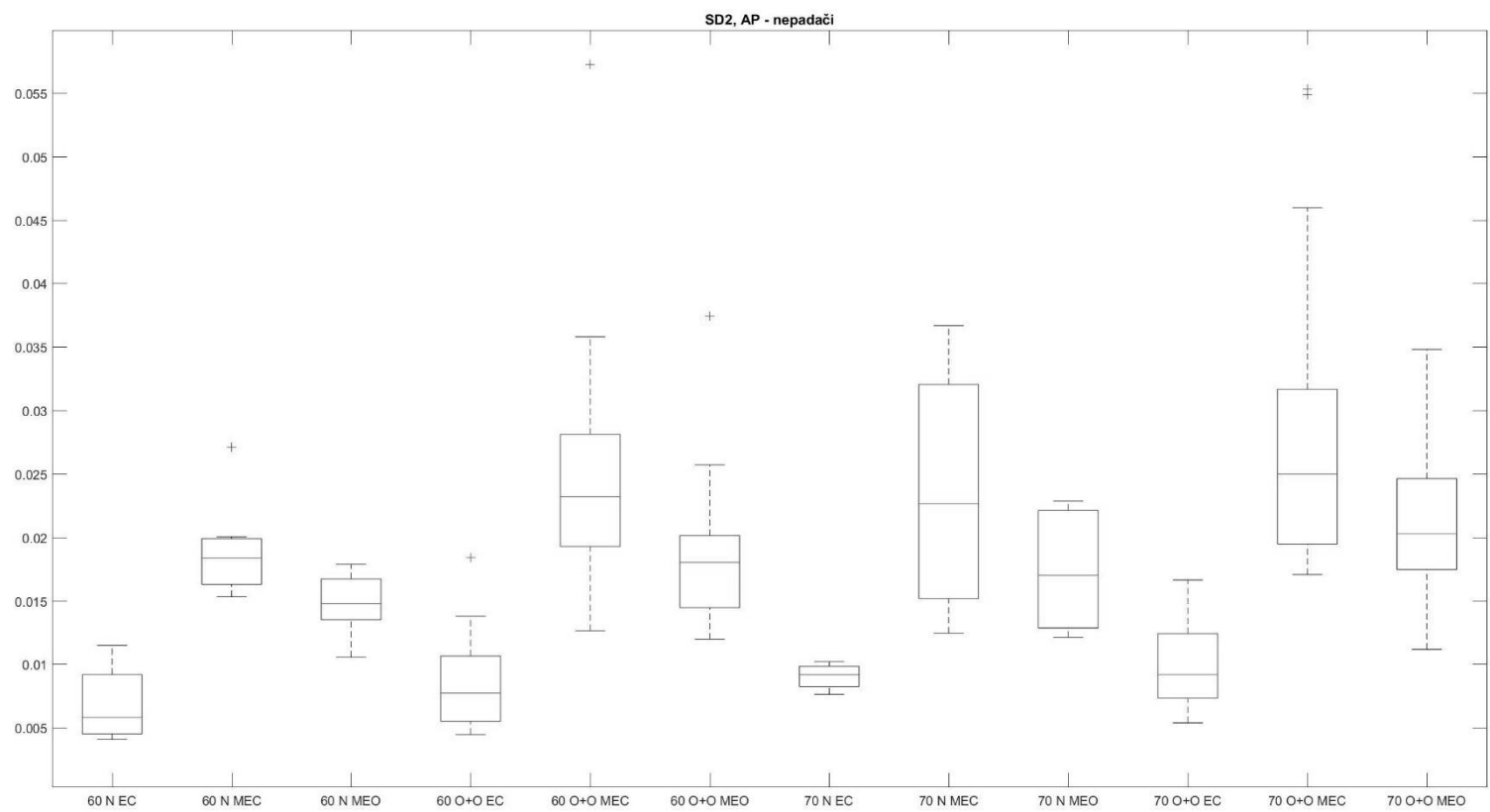
PŘÍLOHA 18



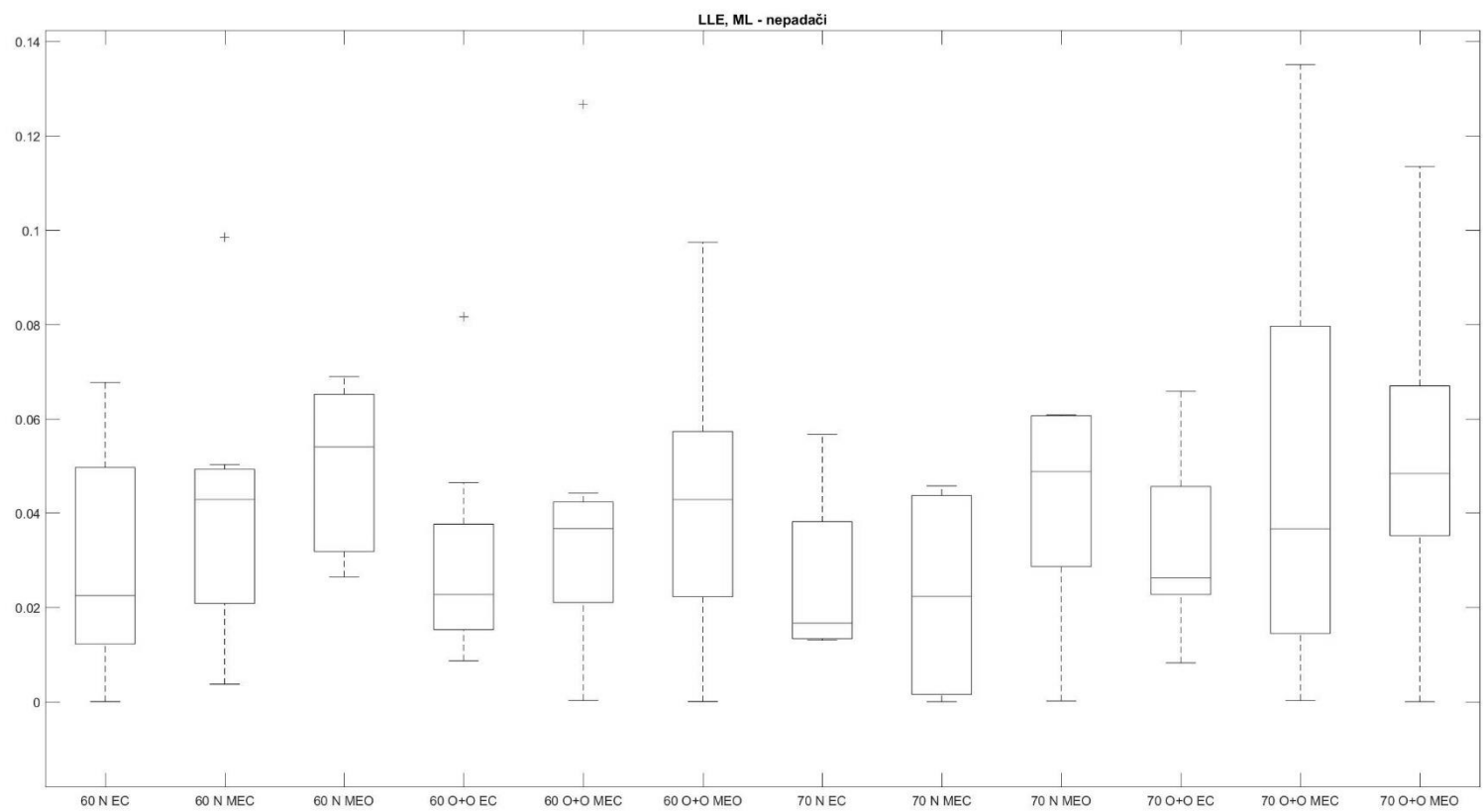
PŘÍLOHA 19



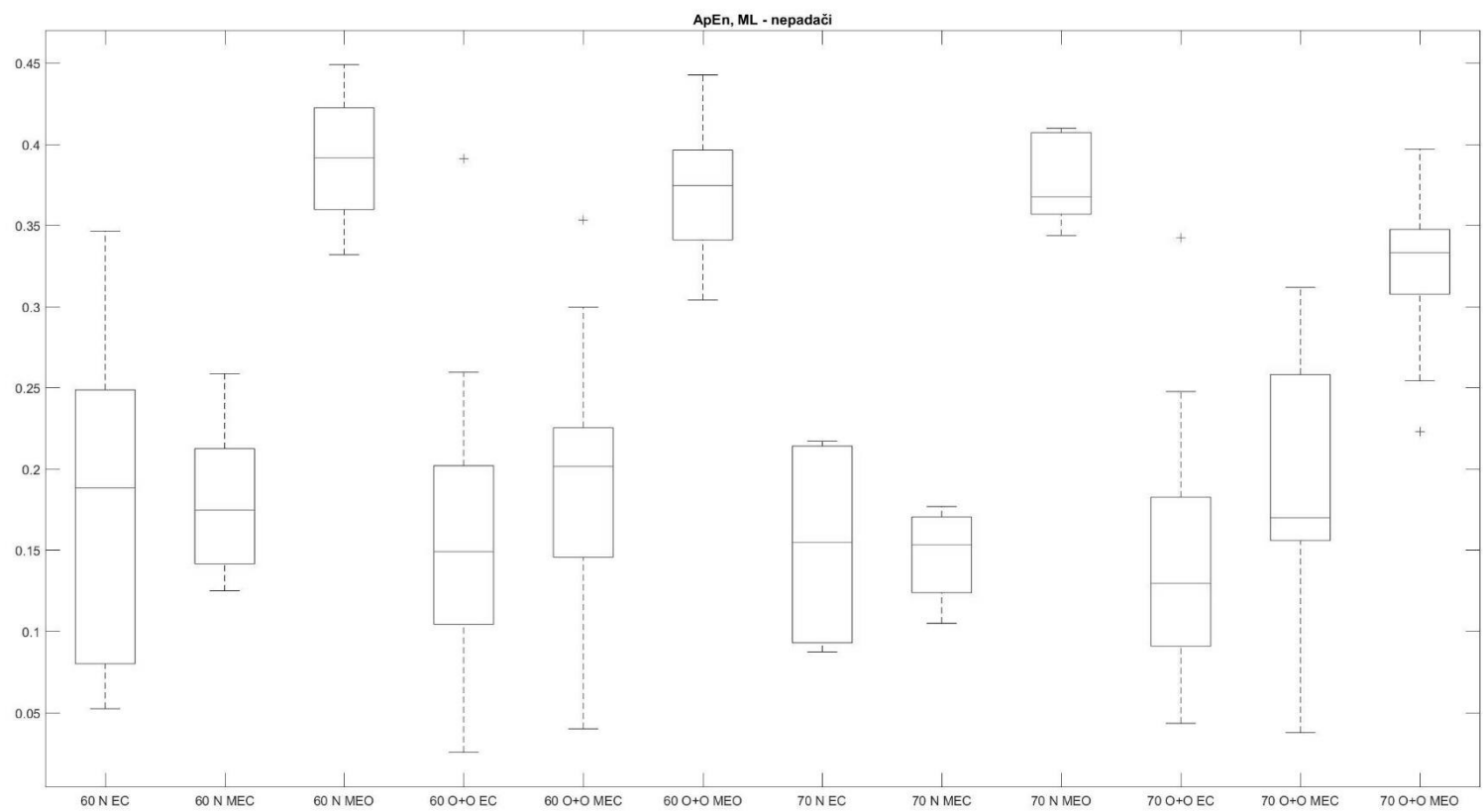
PŘÍLOHA 20



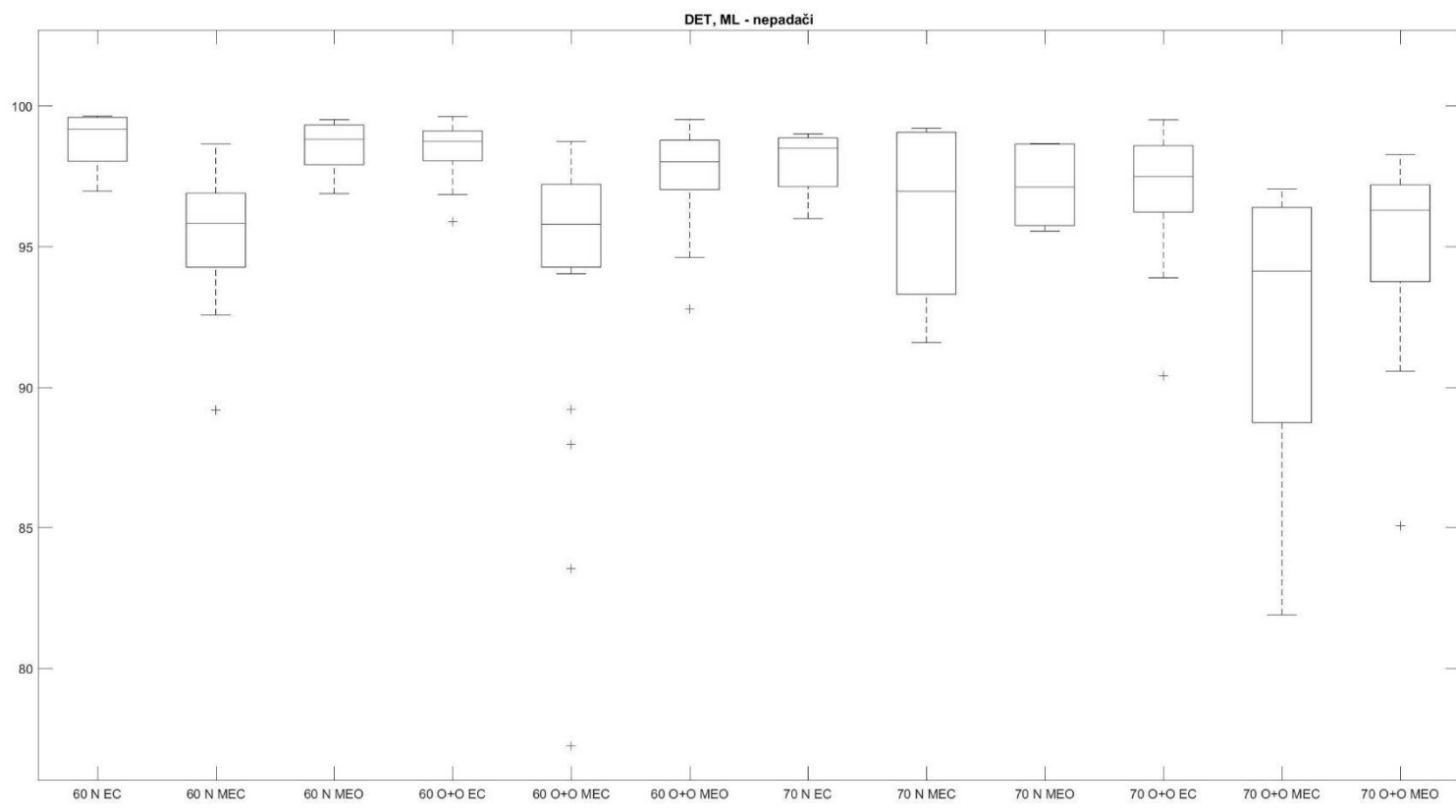
PŘÍLOHA 21



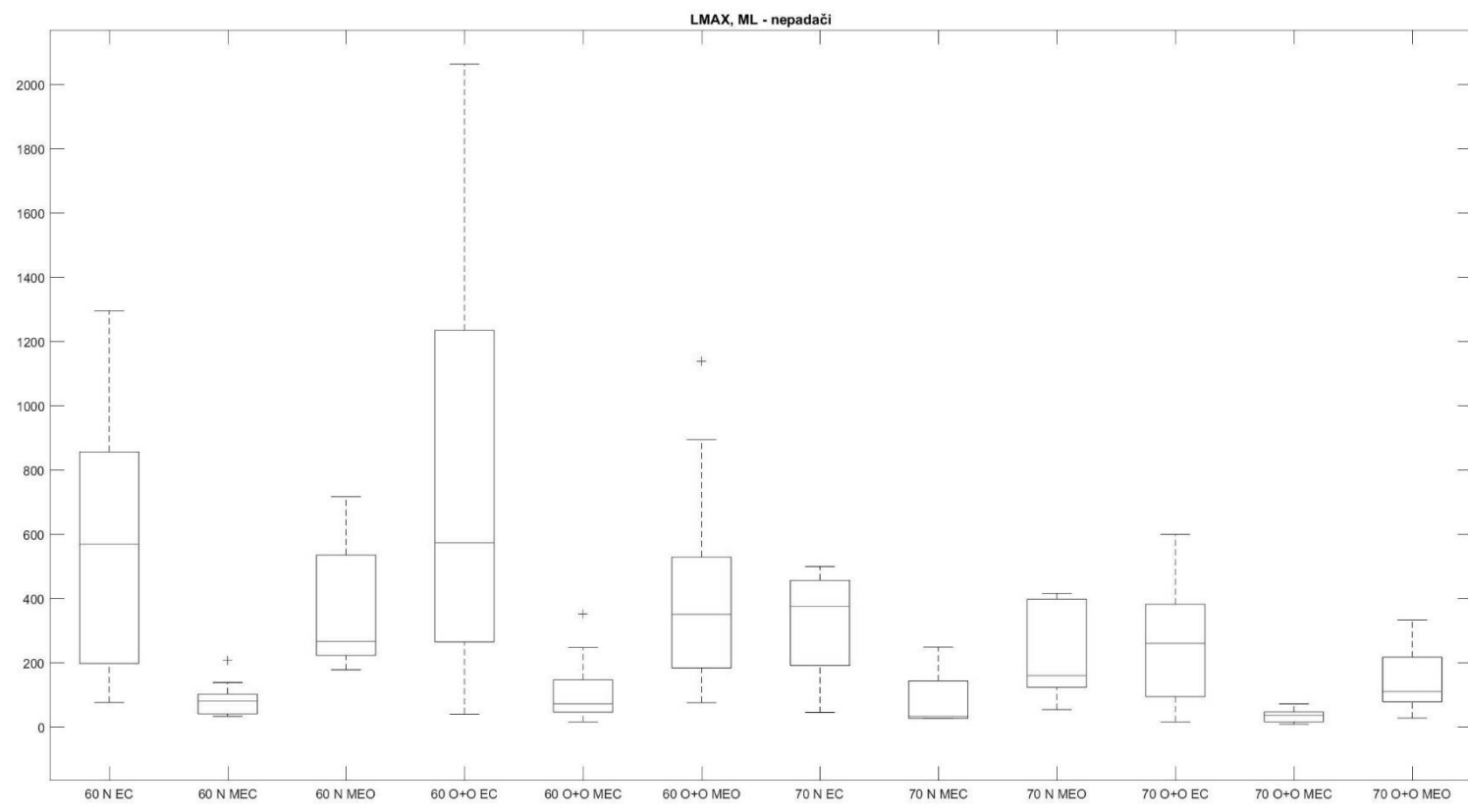
PŘÍLOHA 22



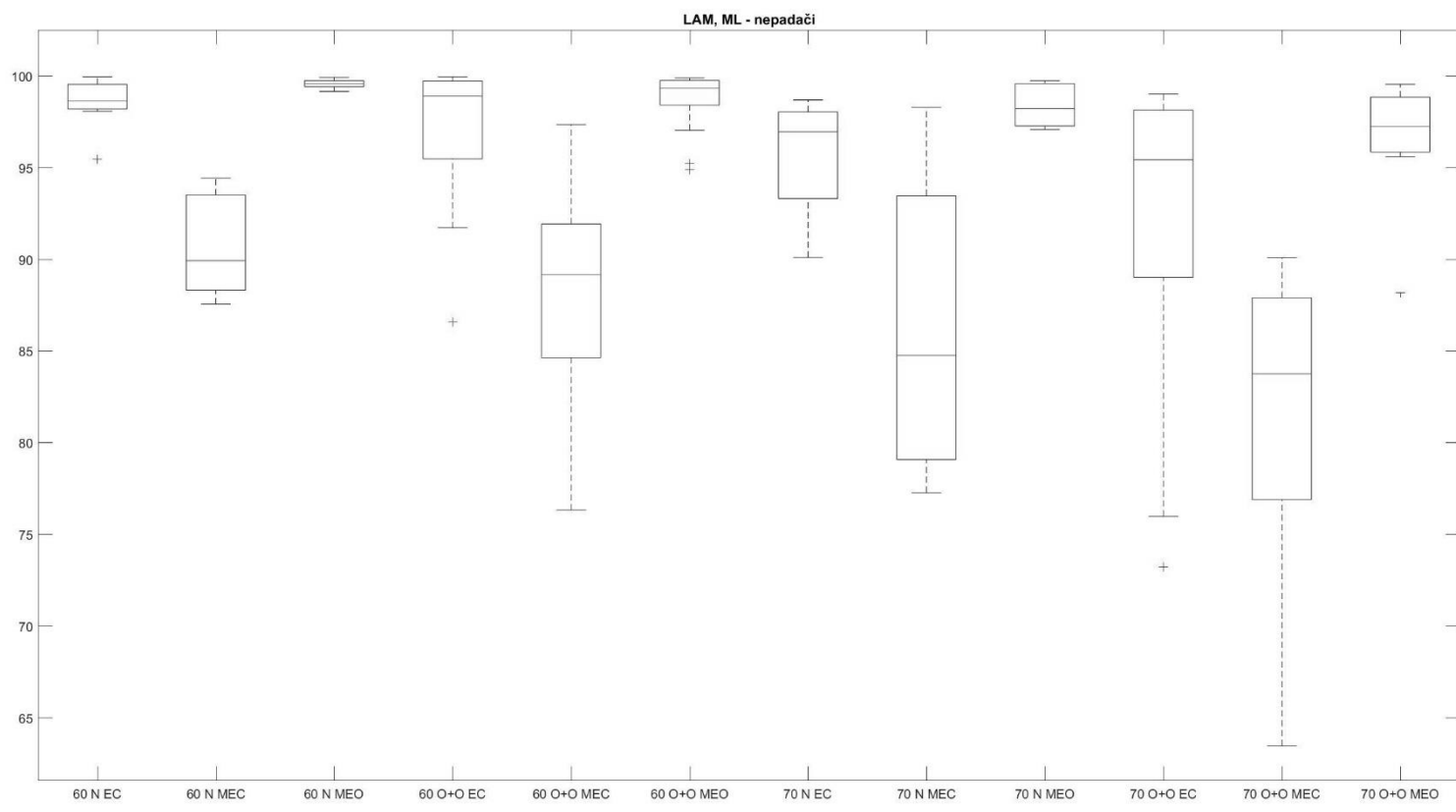
PŘÍLOHA 23



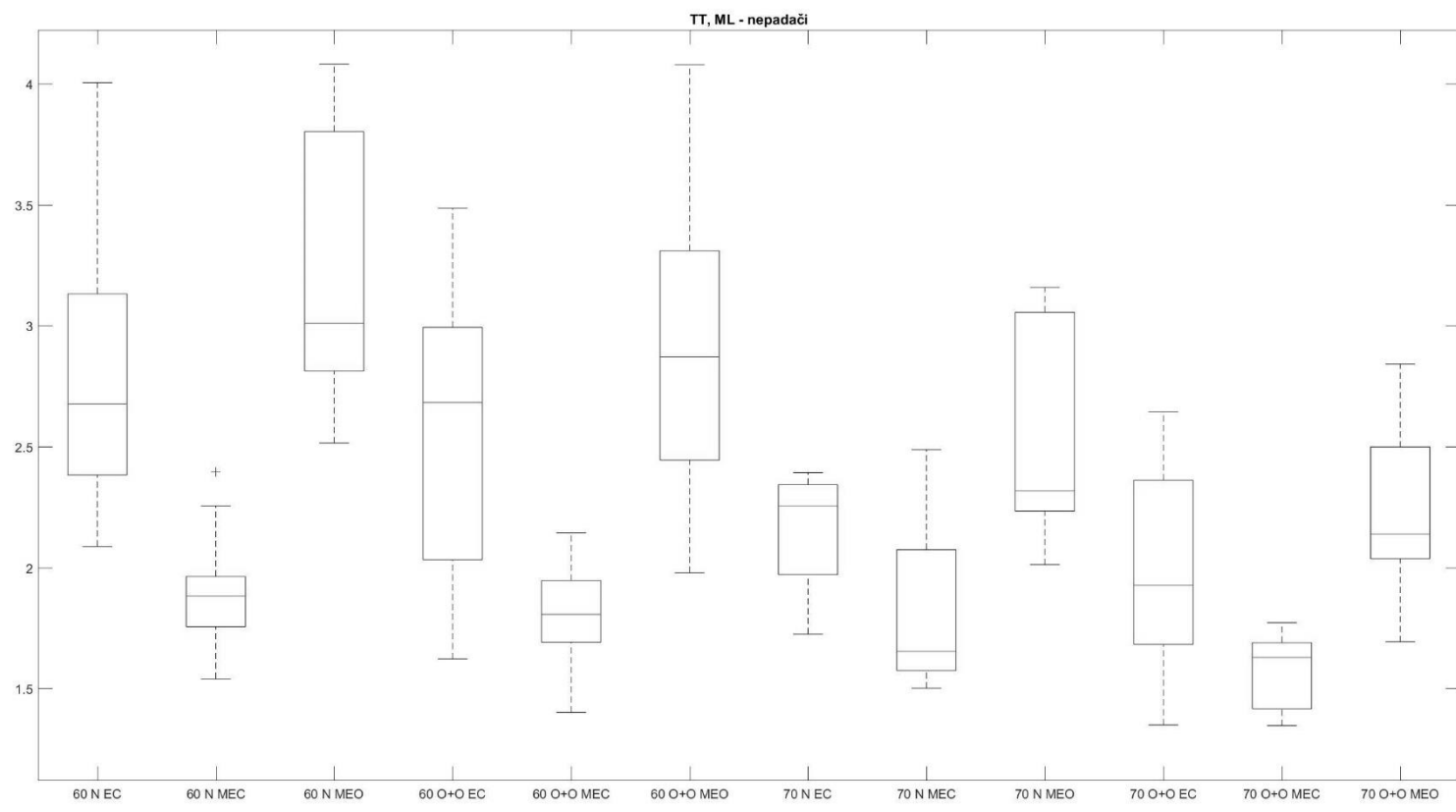
PŘÍLOHA 24



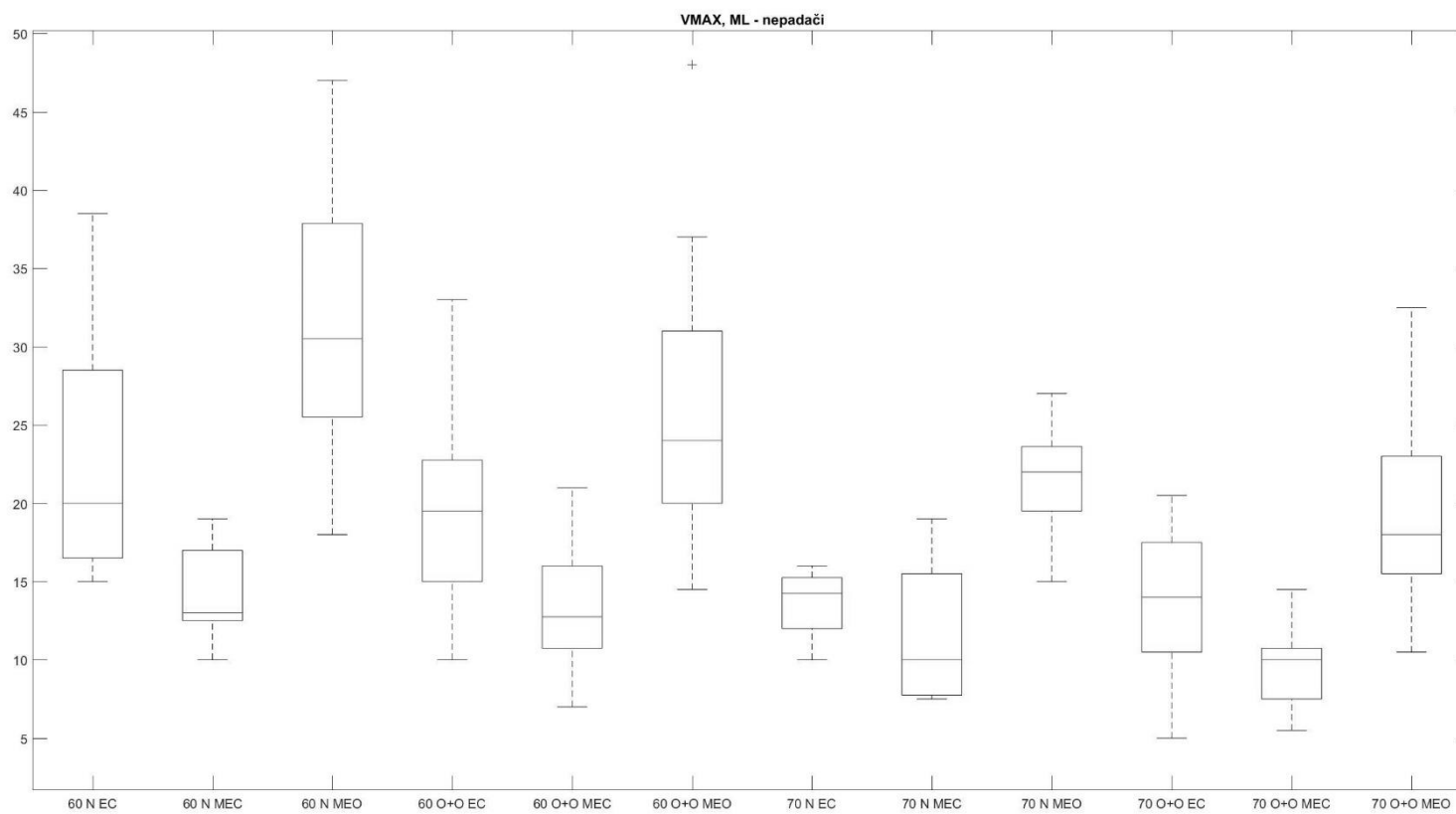
PŘÍLOHA 25



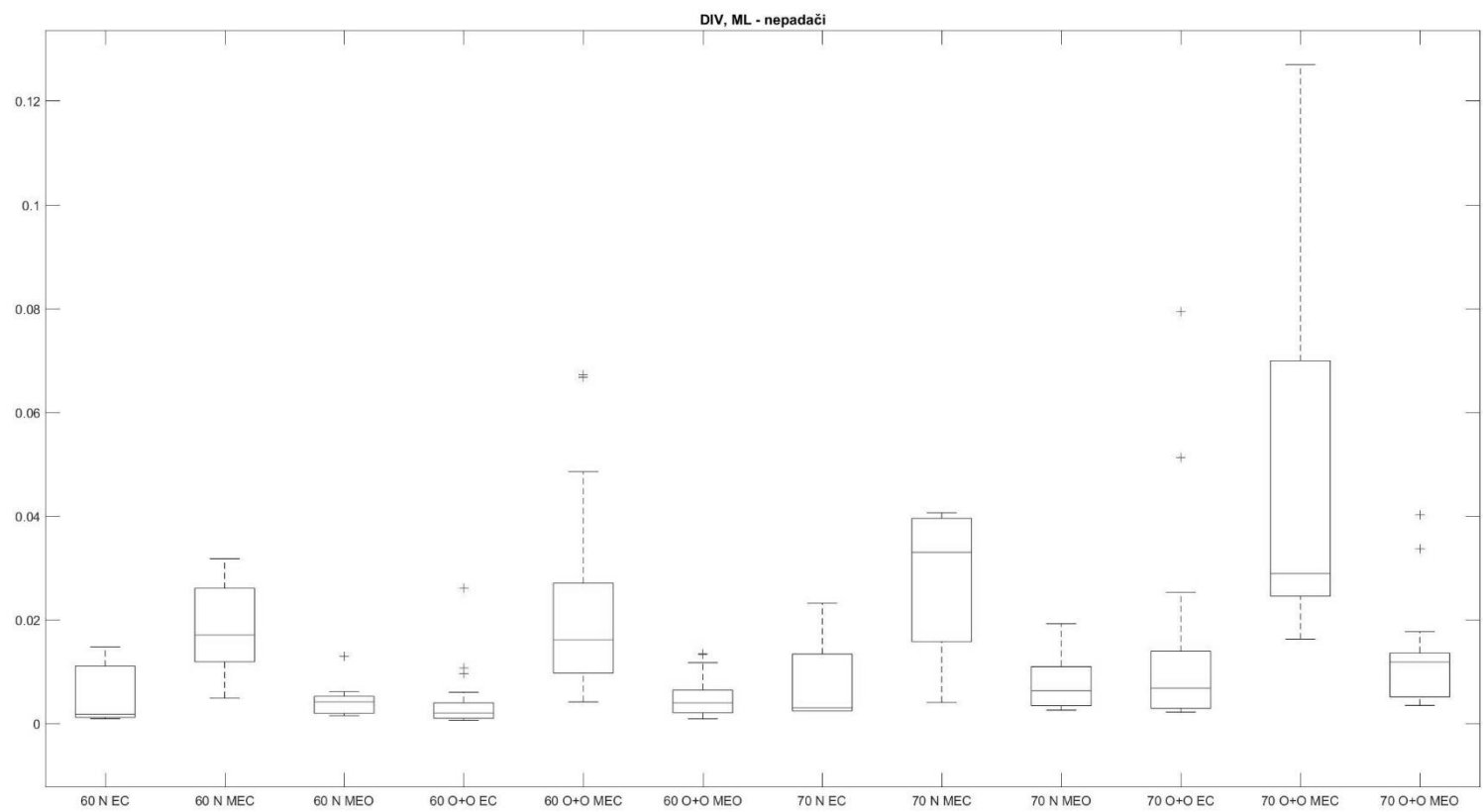
PŘÍLOHA 26



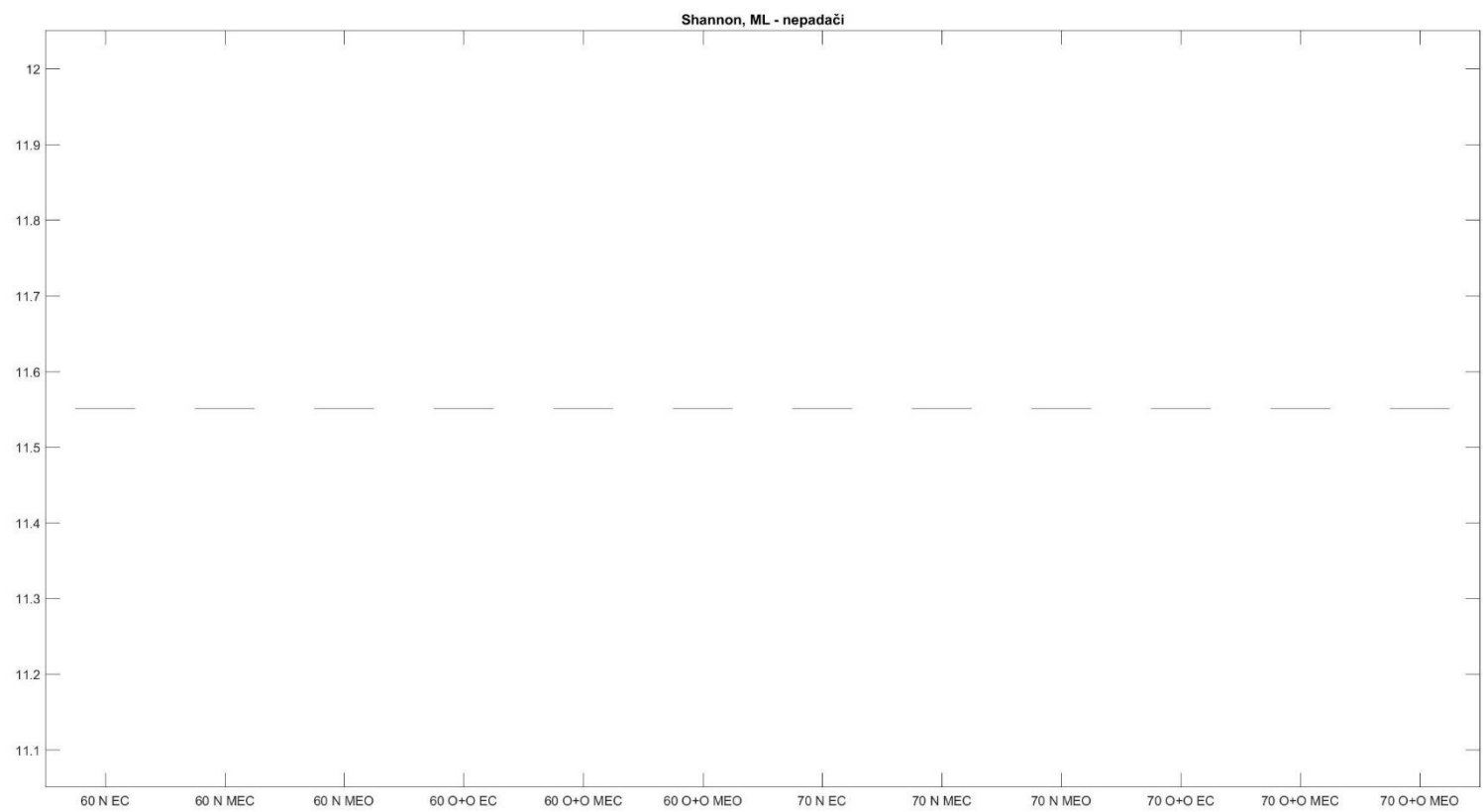
PŘÍLOHA 27



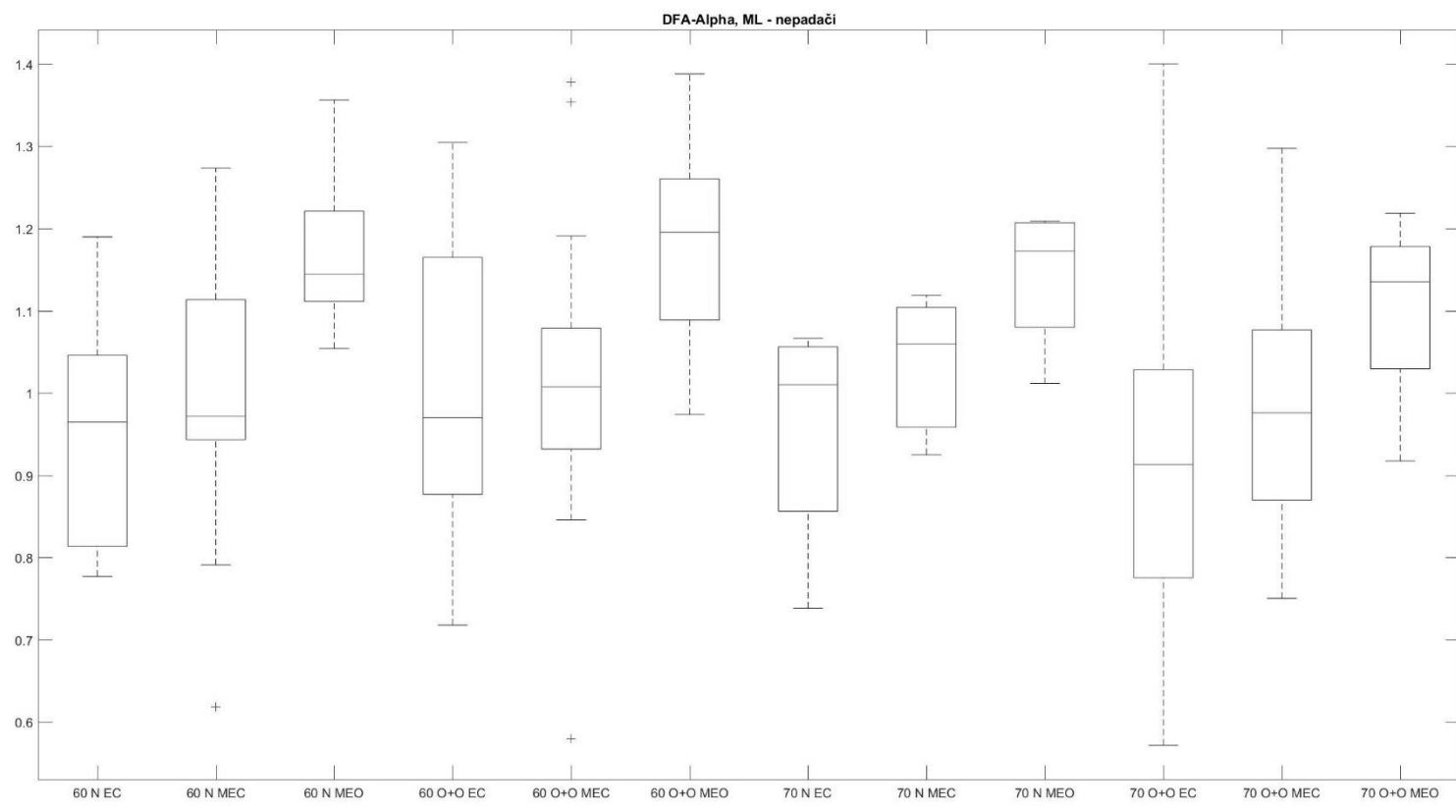
PŘÍLOHA 28



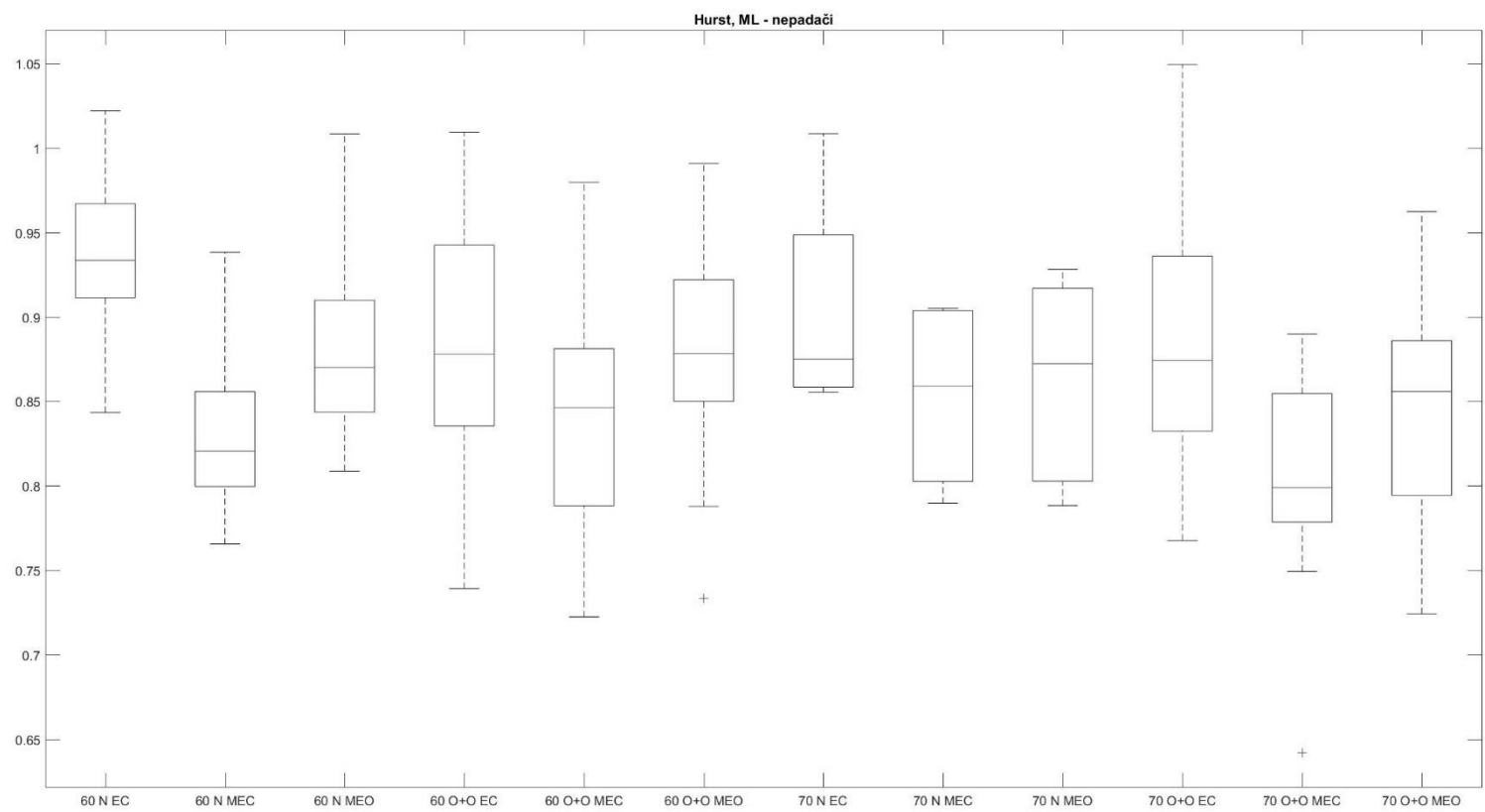
PŘÍLOHA 29



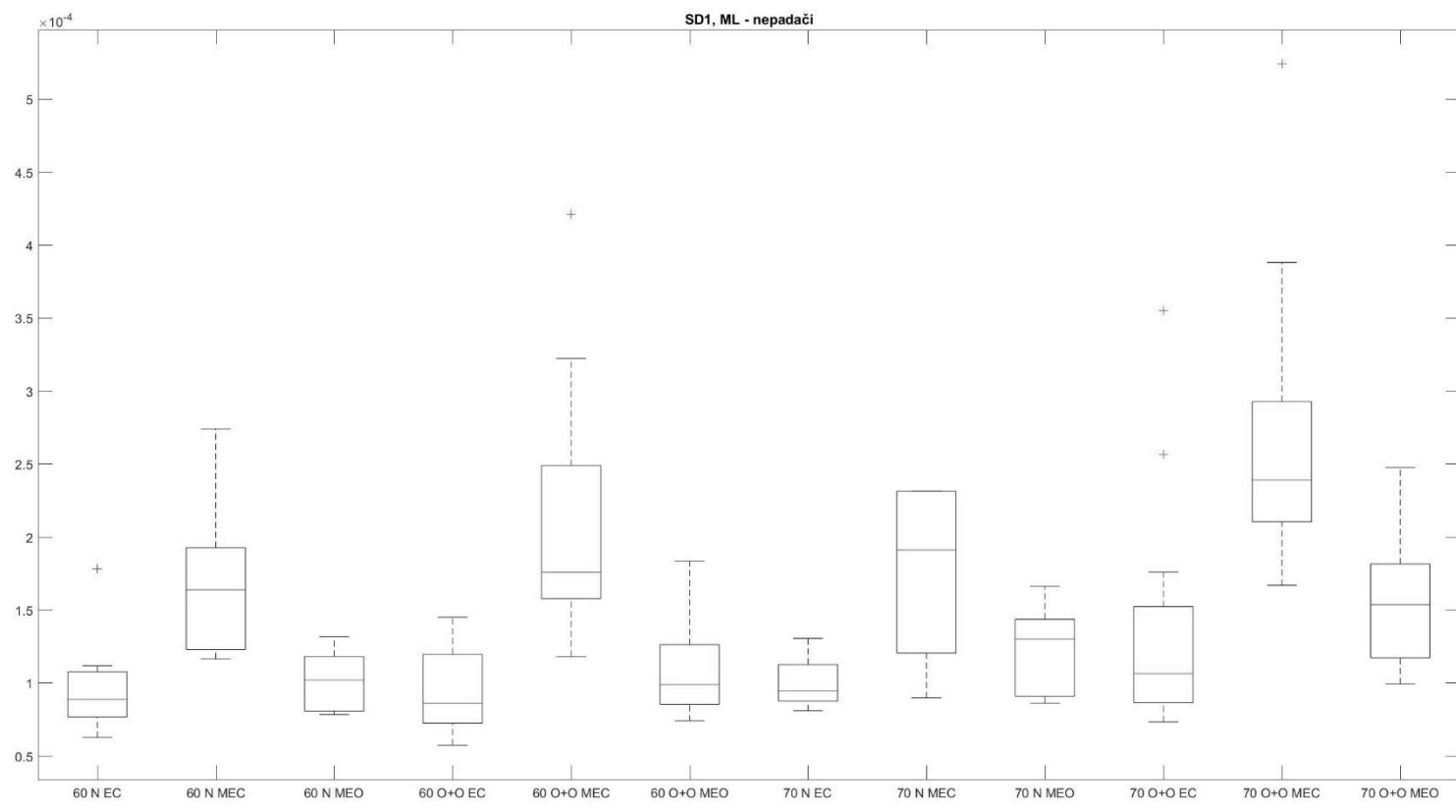
PŘÍLOHA 30



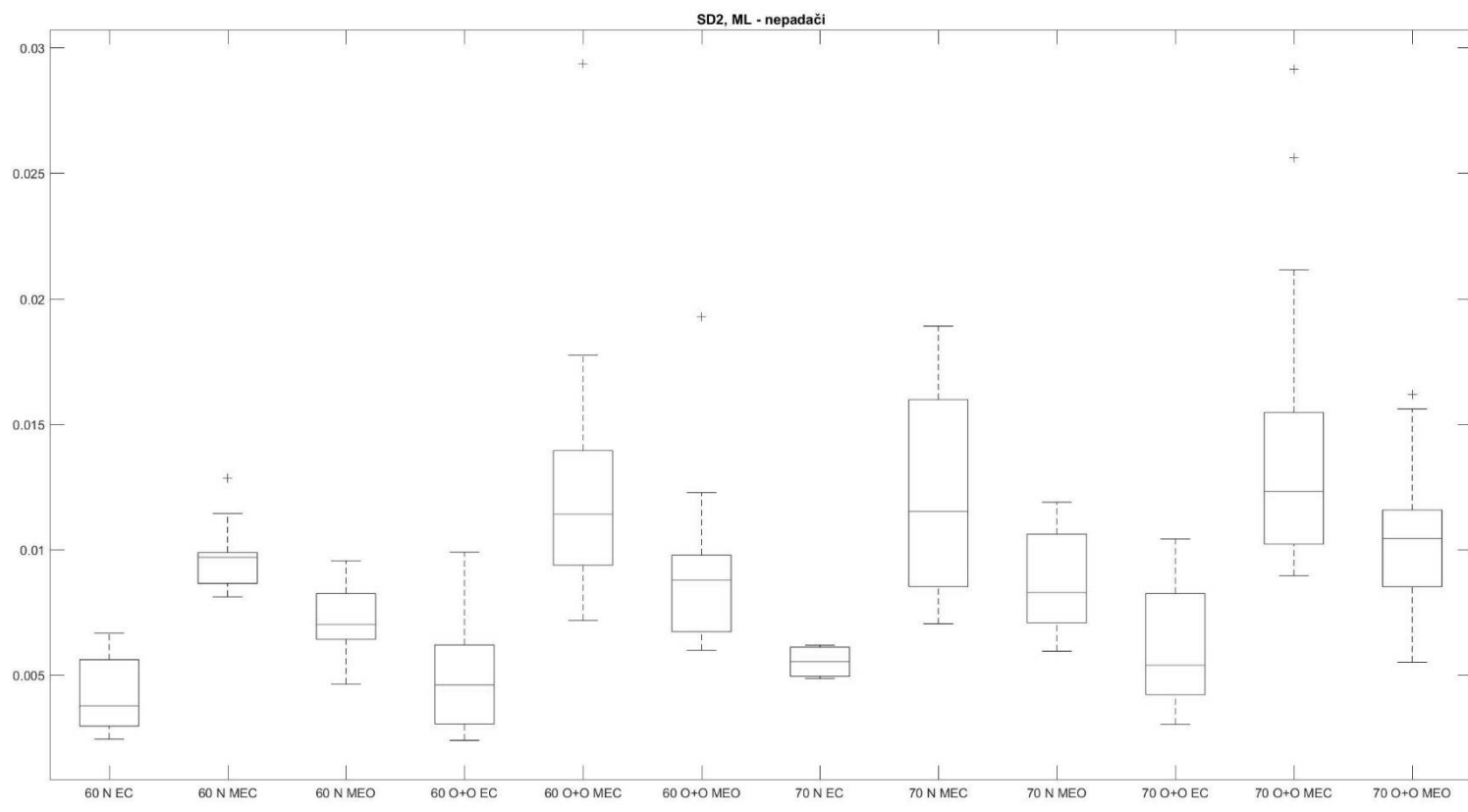
PŘÍLOHA 31



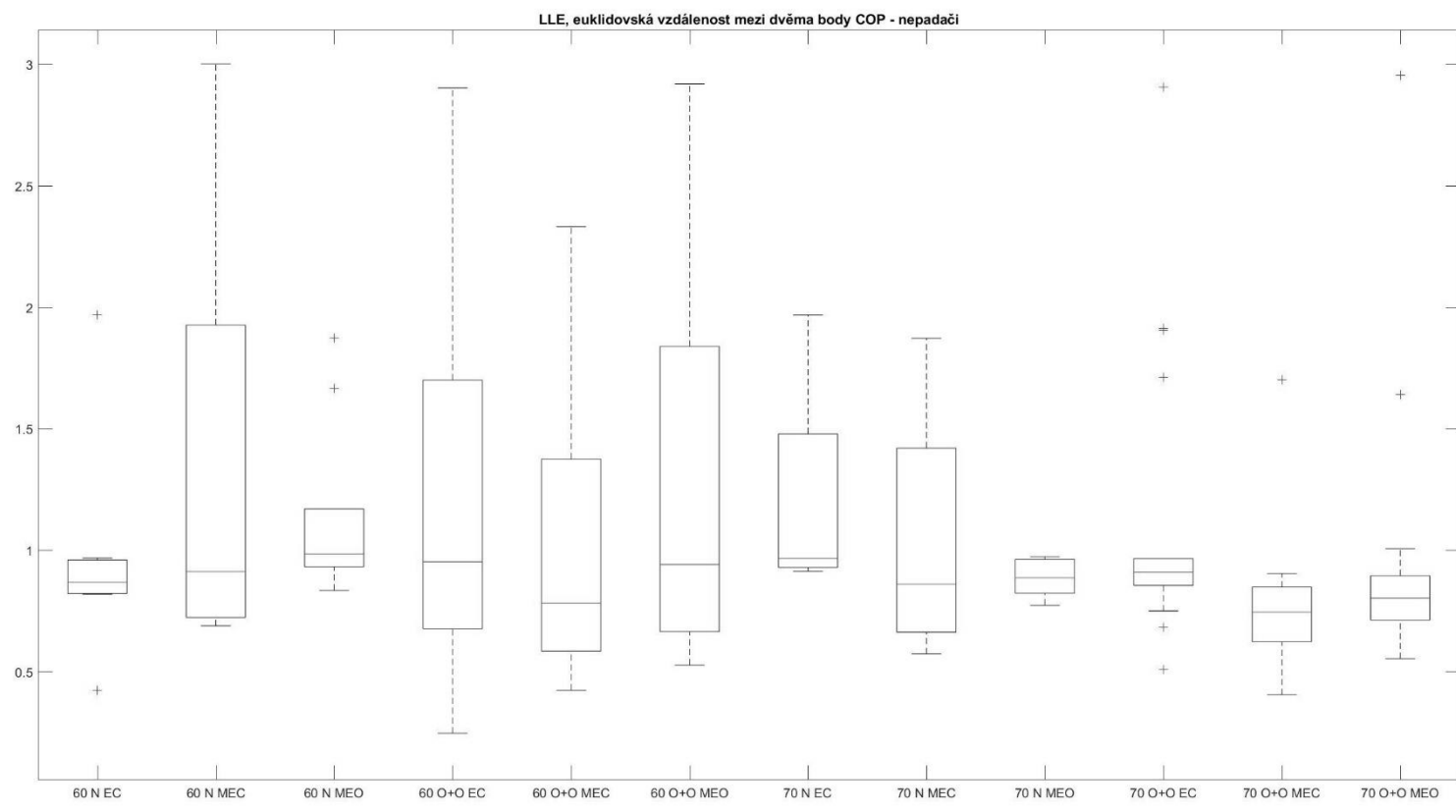
PŘÍLOHA 32



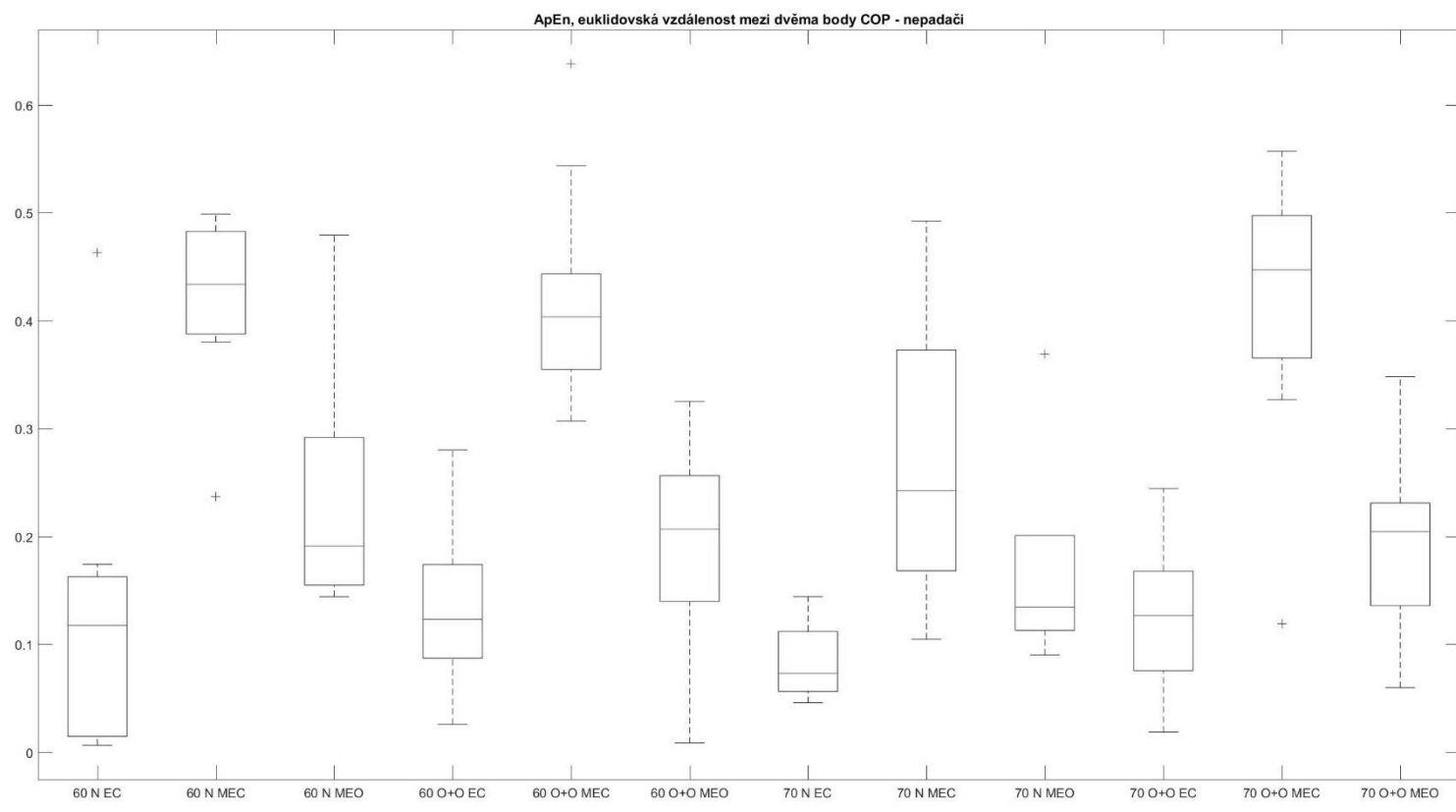
PŘÍLOHA 33



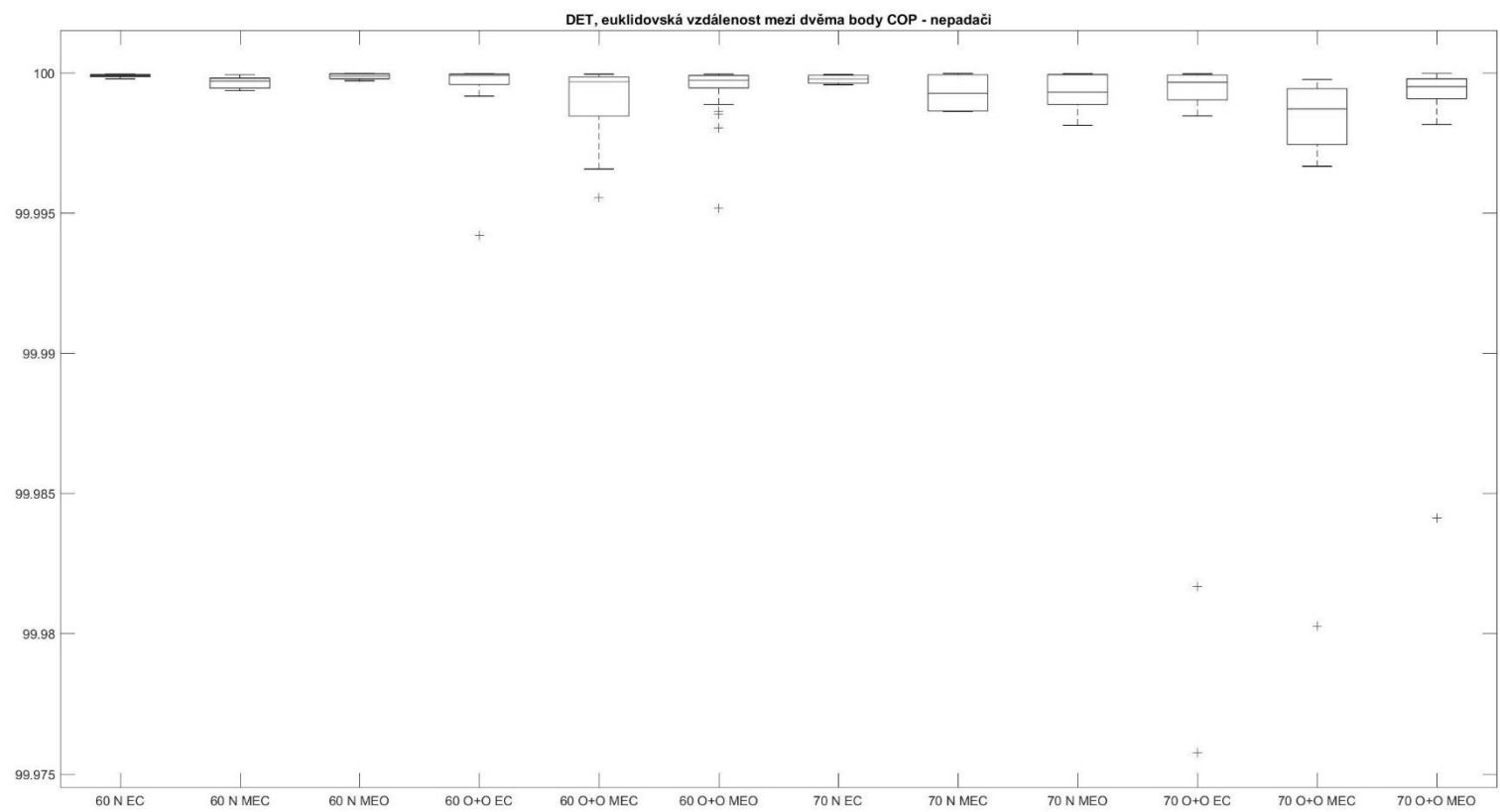
PŘÍLOHA 34



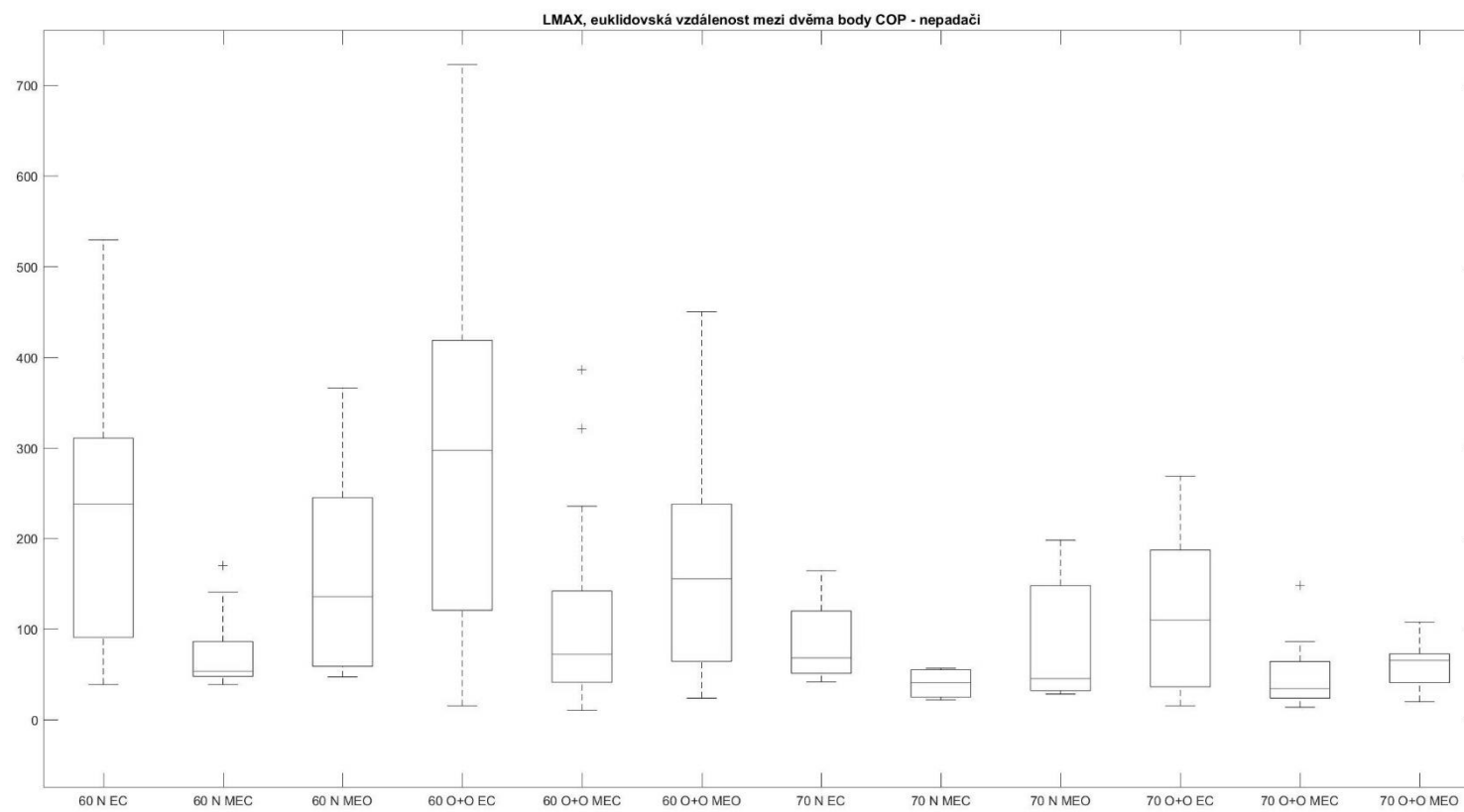
PŘÍLOHA 35



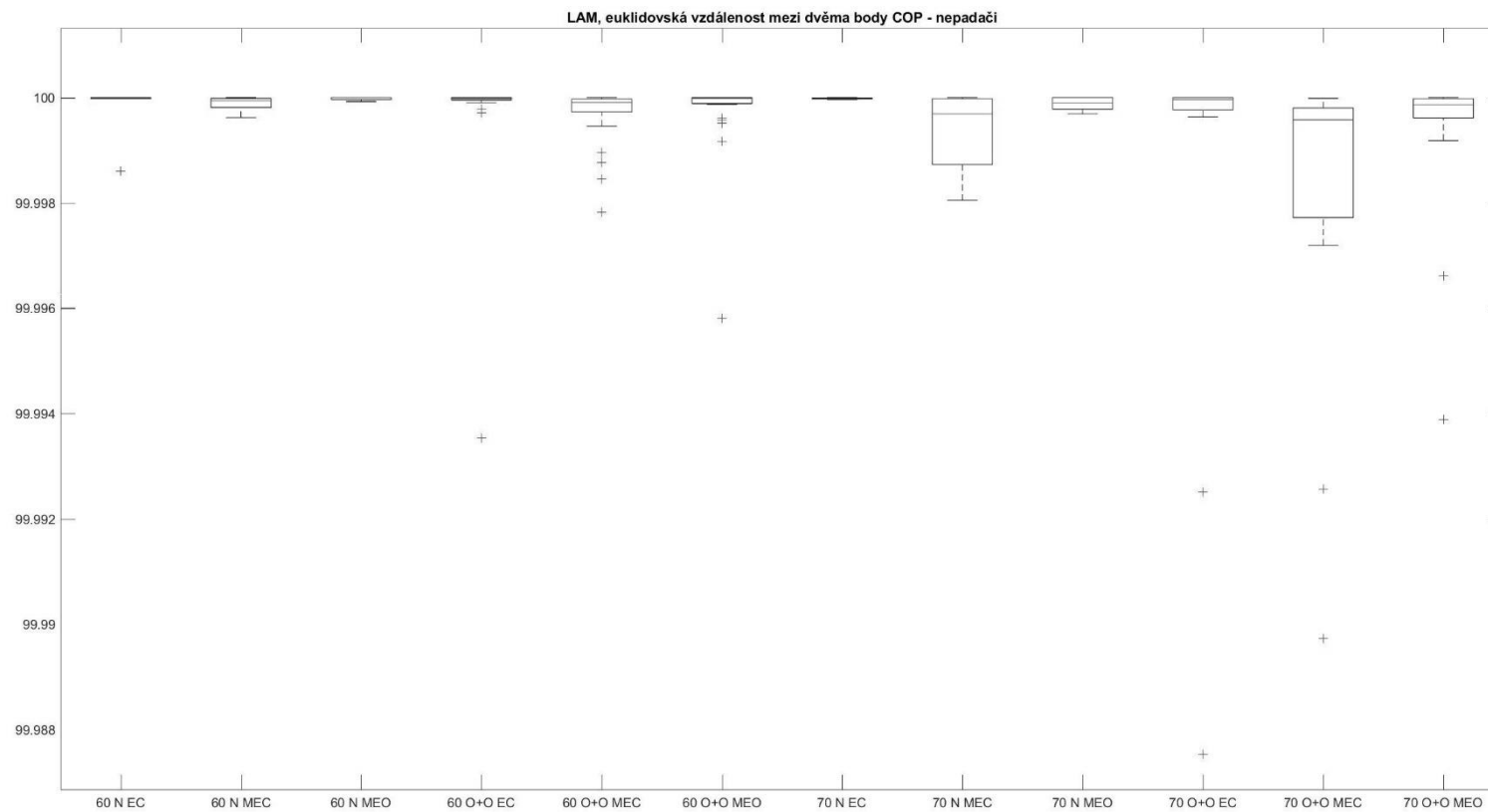
PŘÍLOHA 36



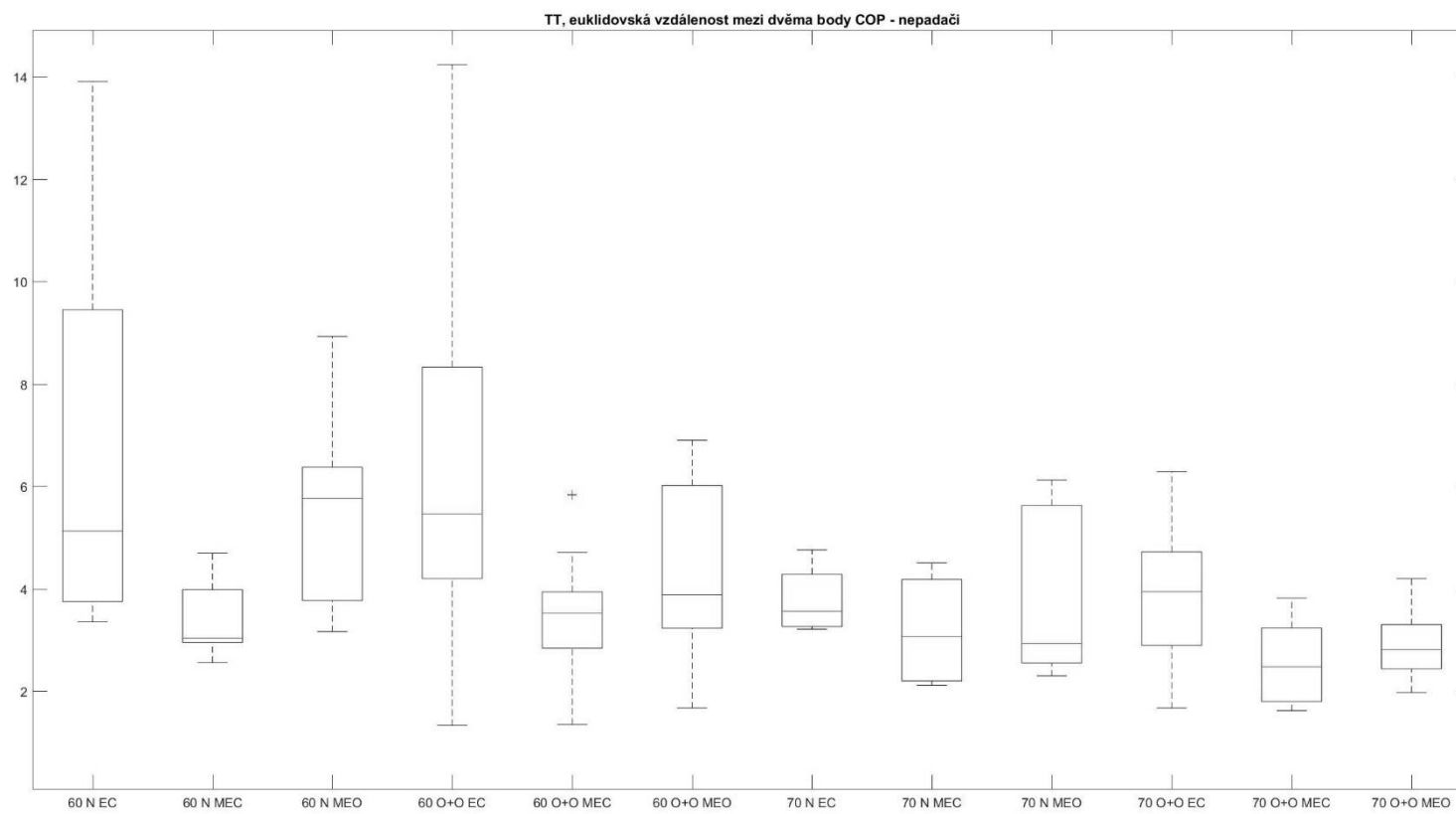
PŘÍLOHA 37



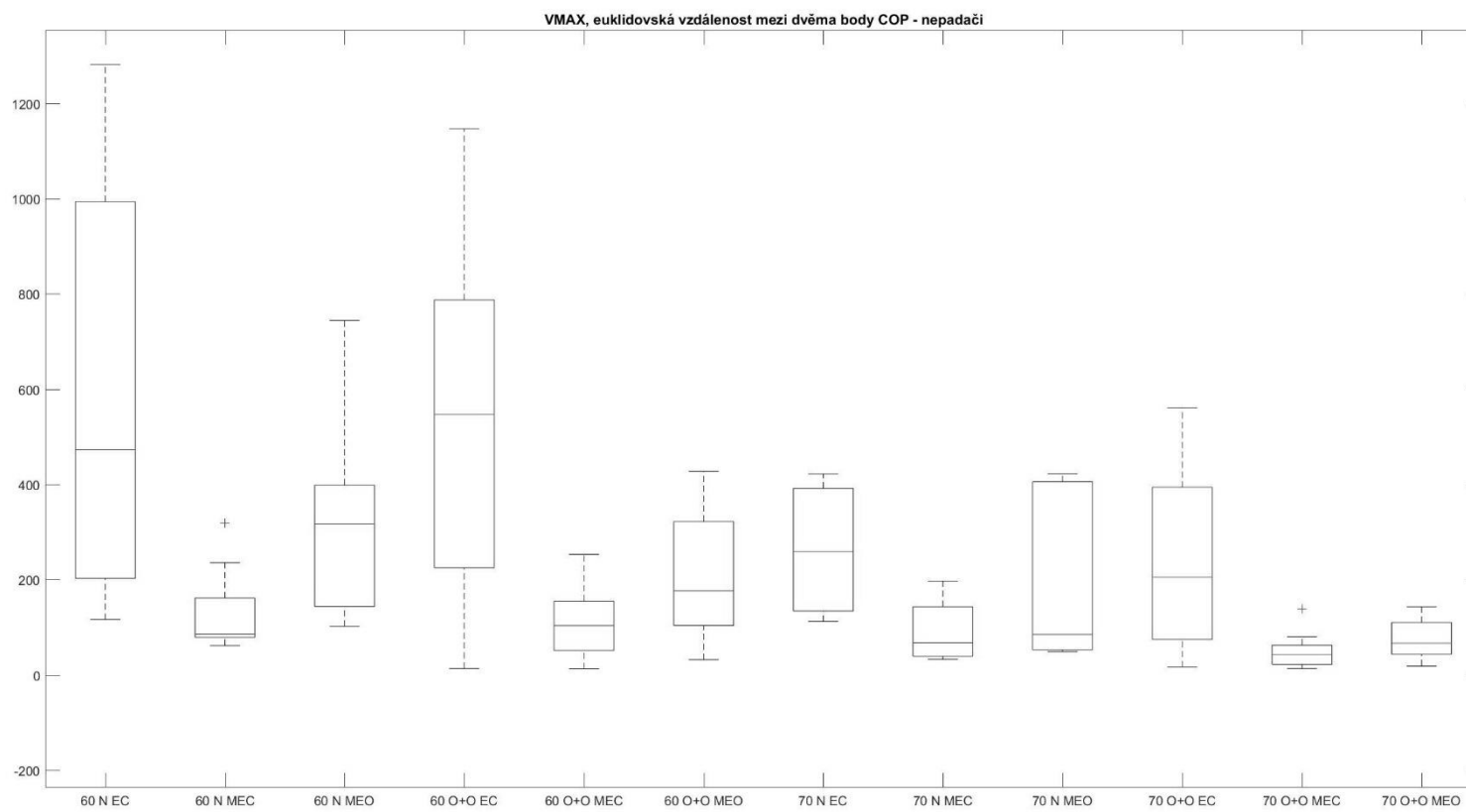
PŘÍLOHA 38



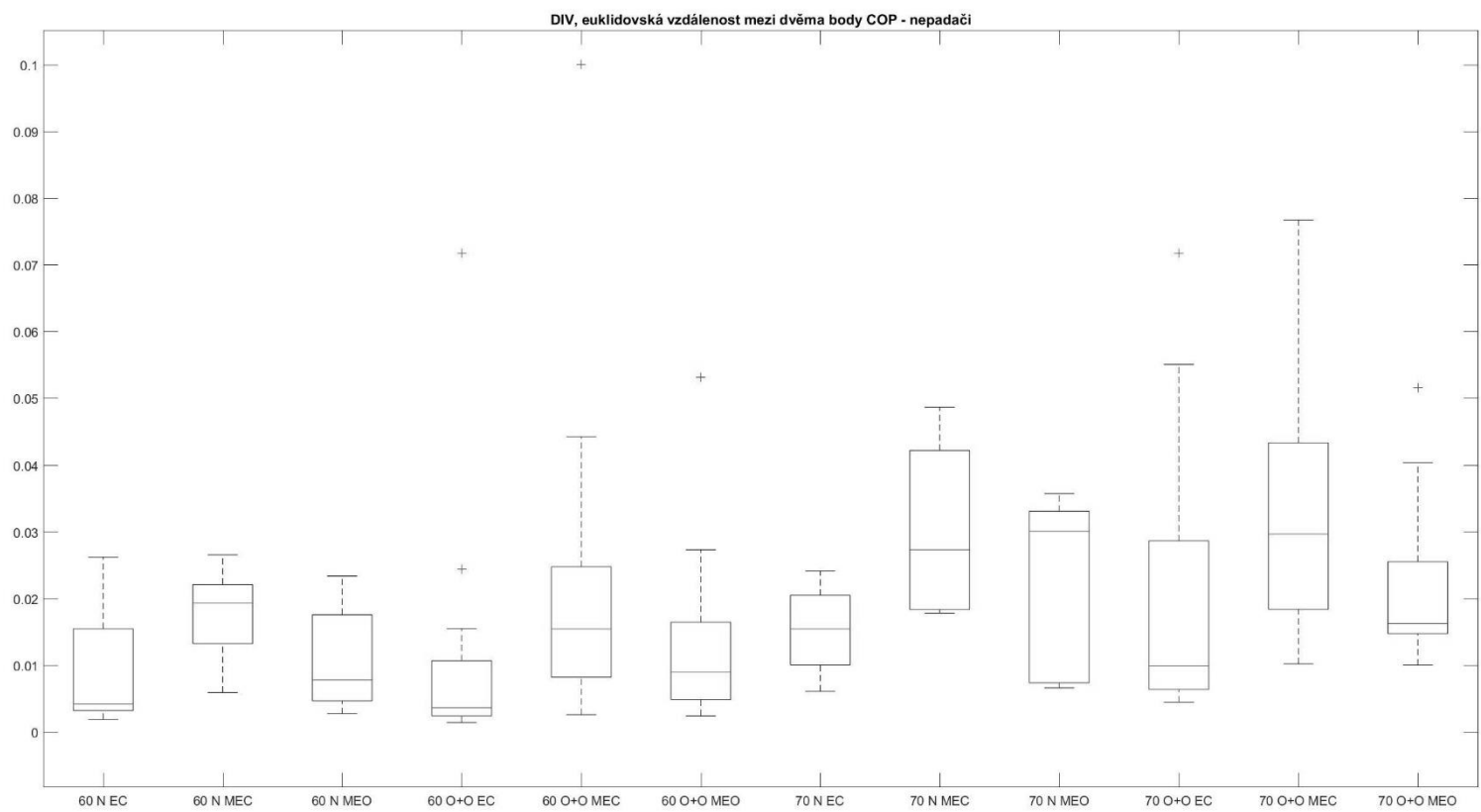
PŘÍLOHA 39



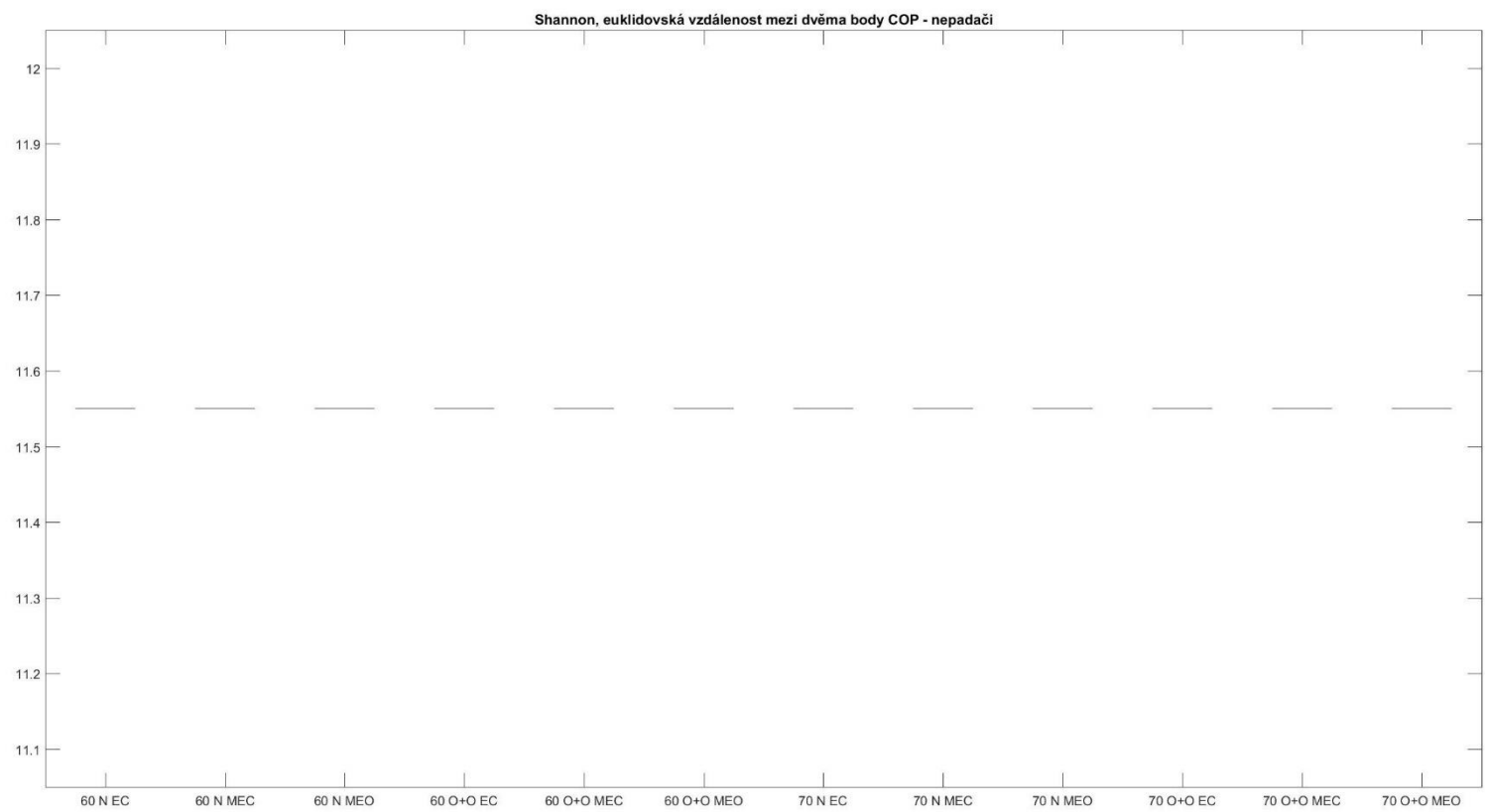
PŘÍLOHA 40



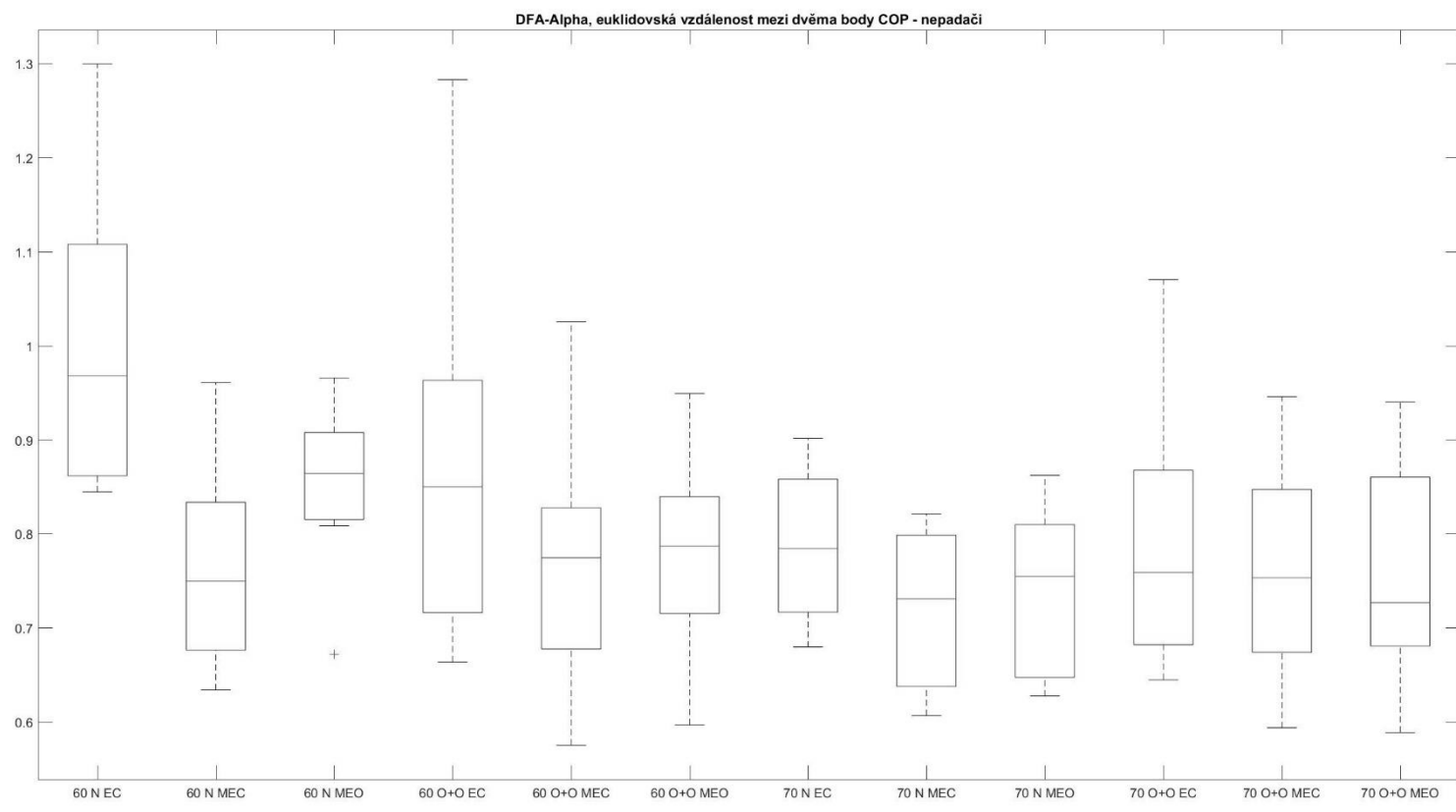
PŘÍLOHA 41



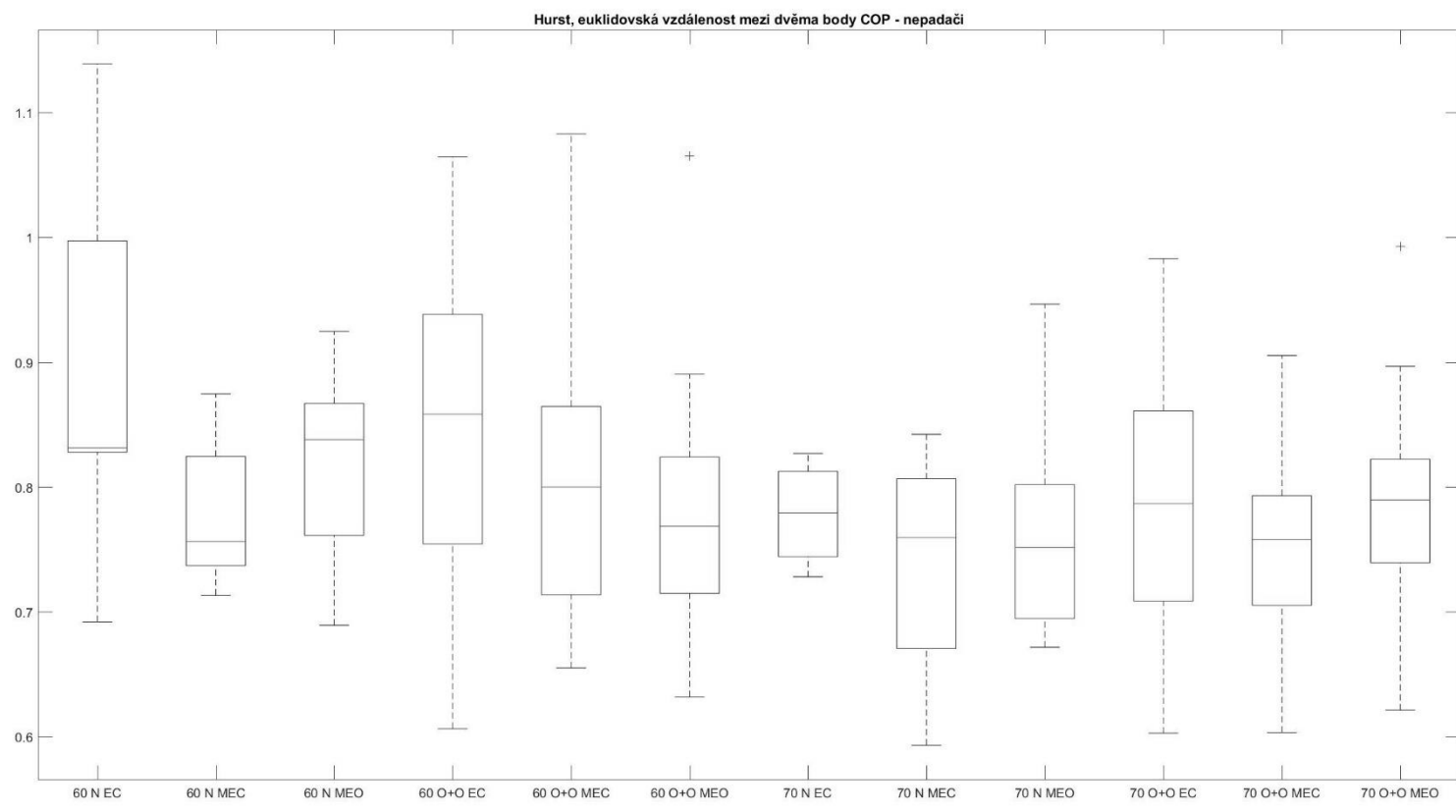
PŘÍLOHA 42



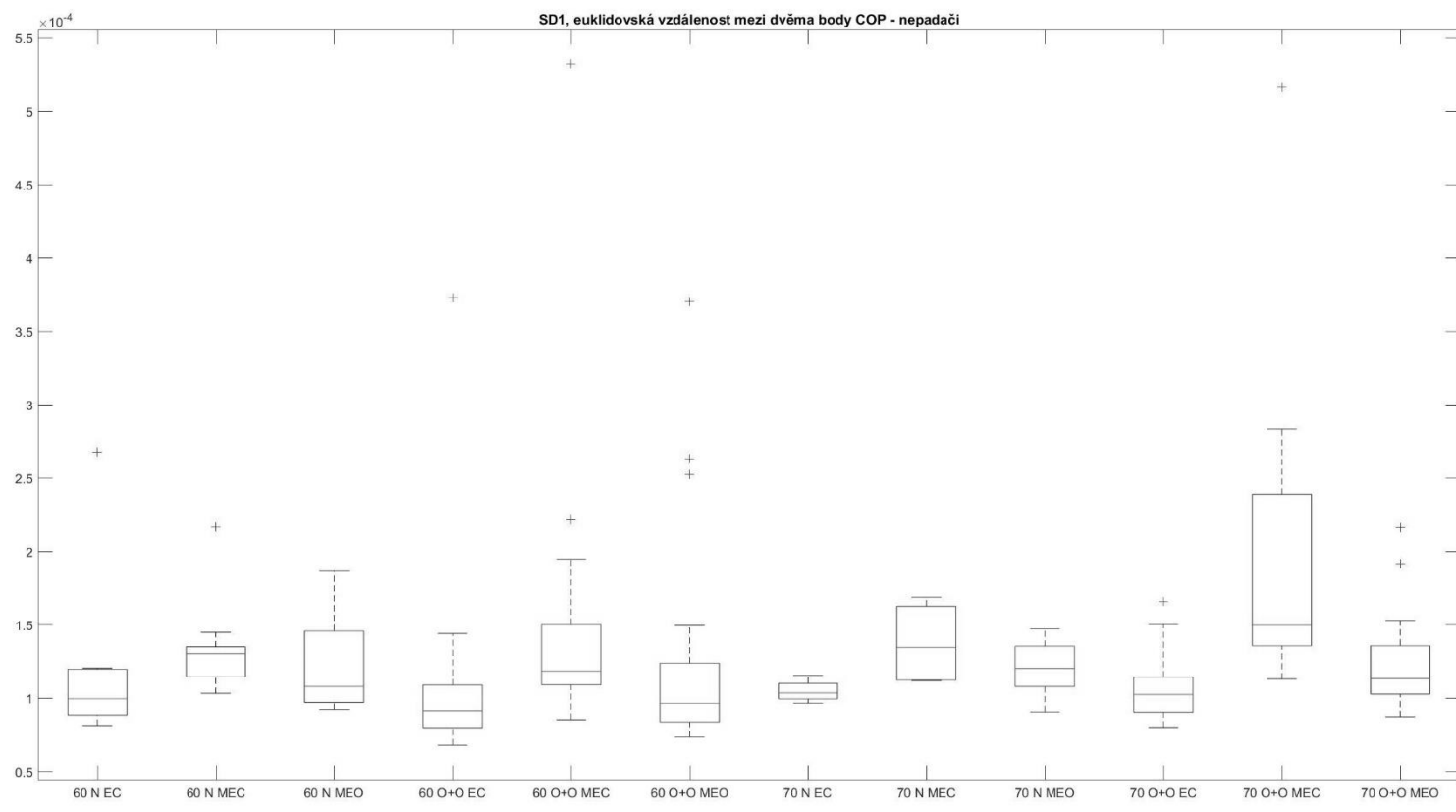
PŘÍLOHA 43



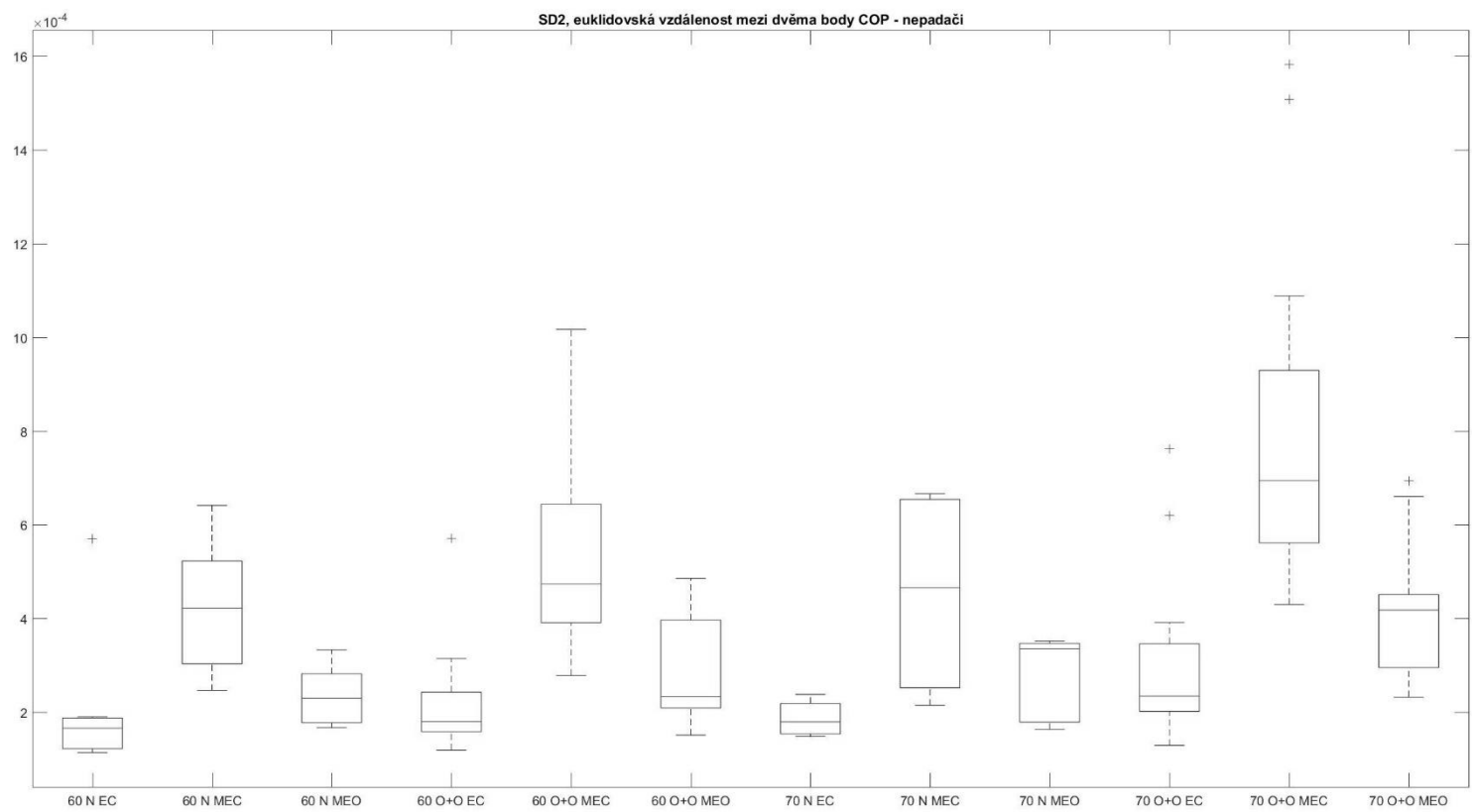
PŘÍLOHA 44



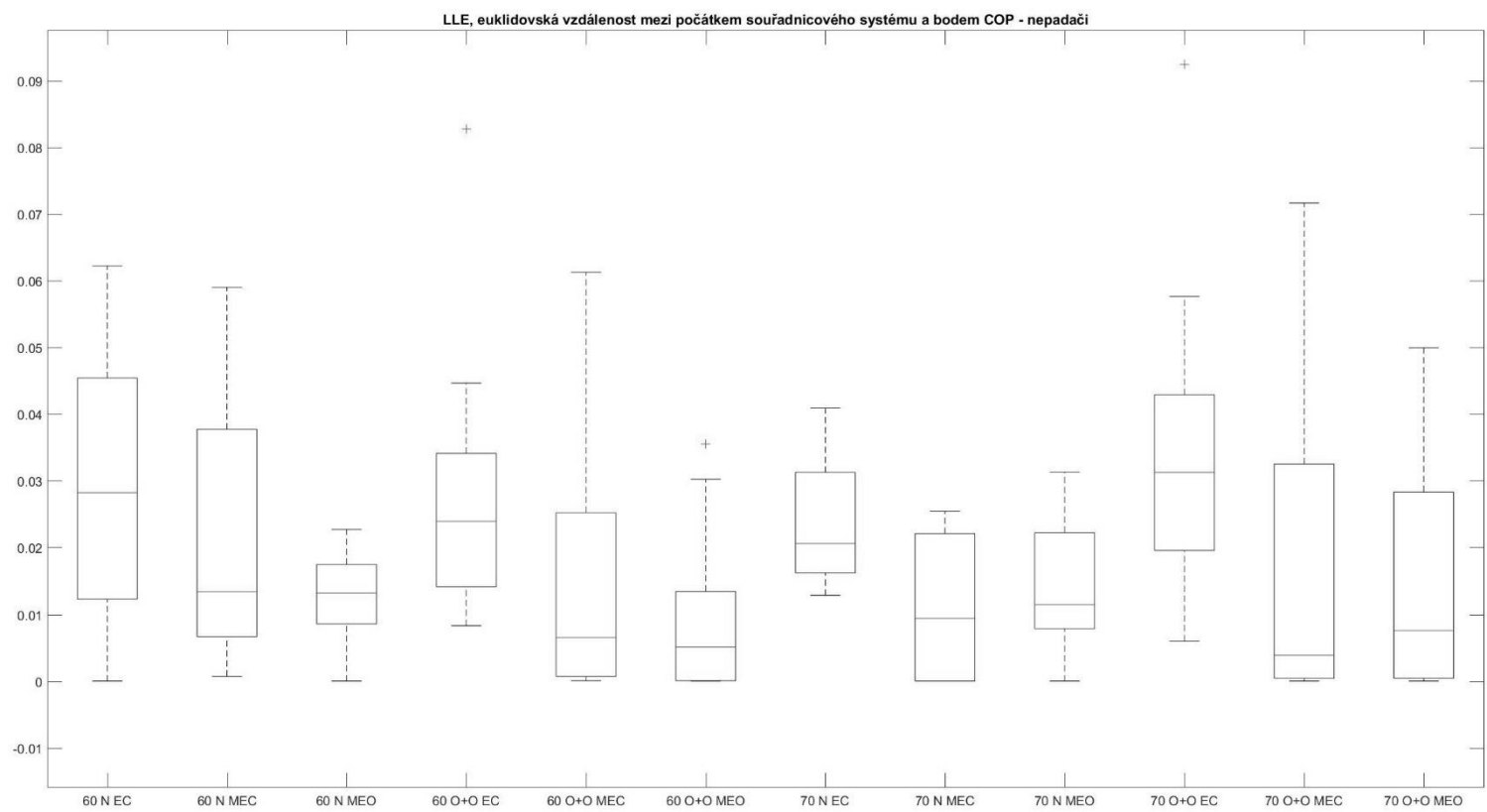
PŘÍLOHA 45



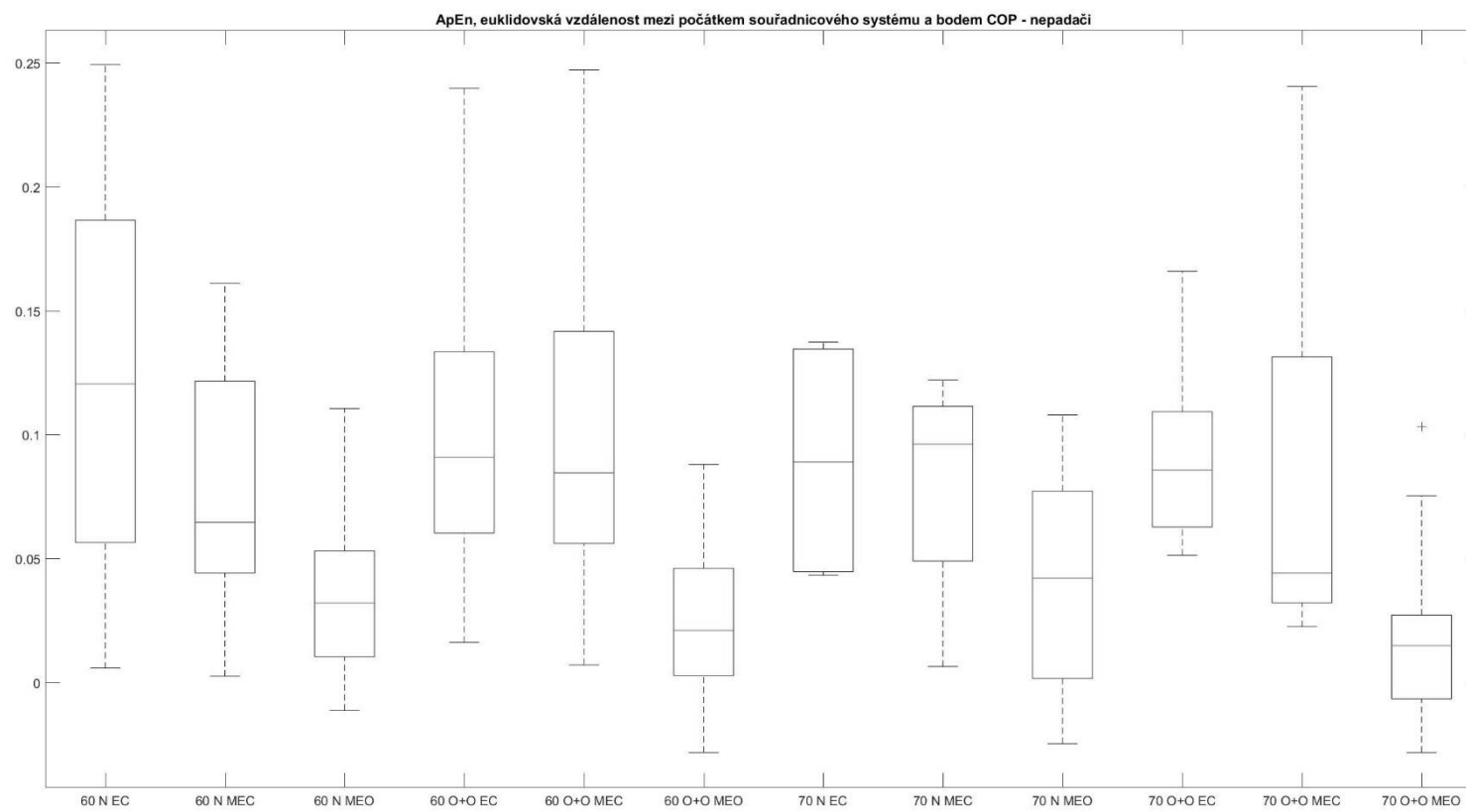
PŘÍLOHA 46



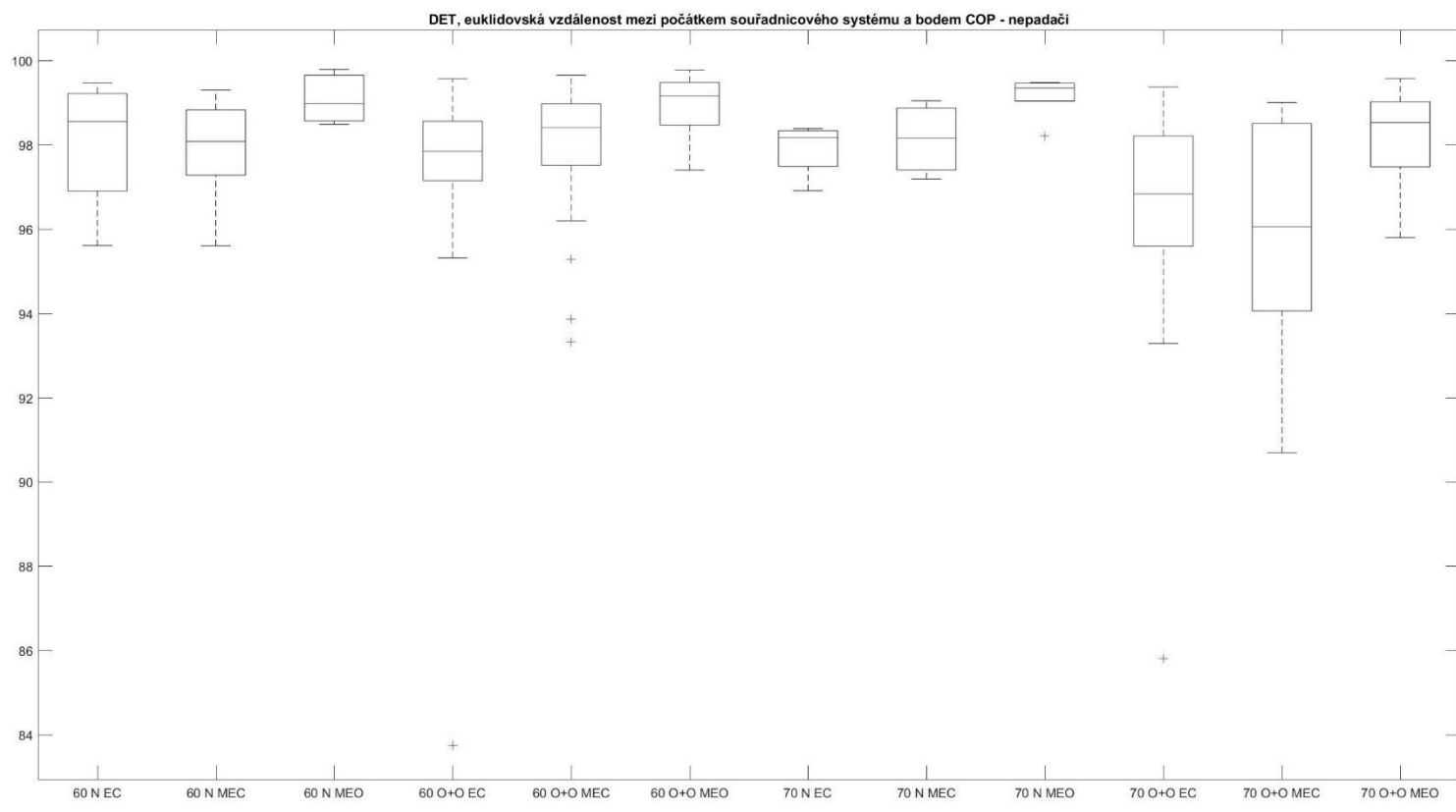
PŘÍLOHA 47



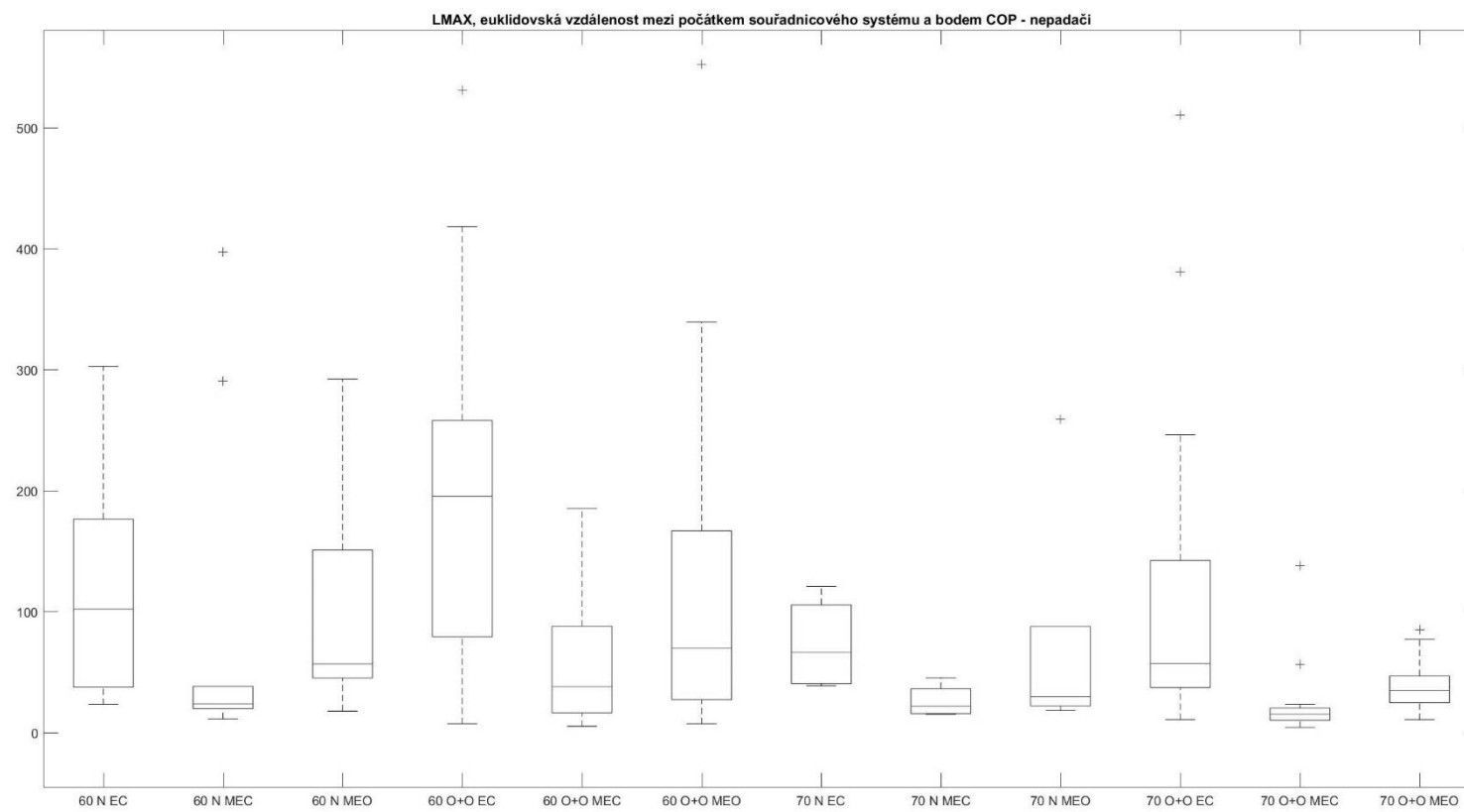
PŘÍLOHA 48



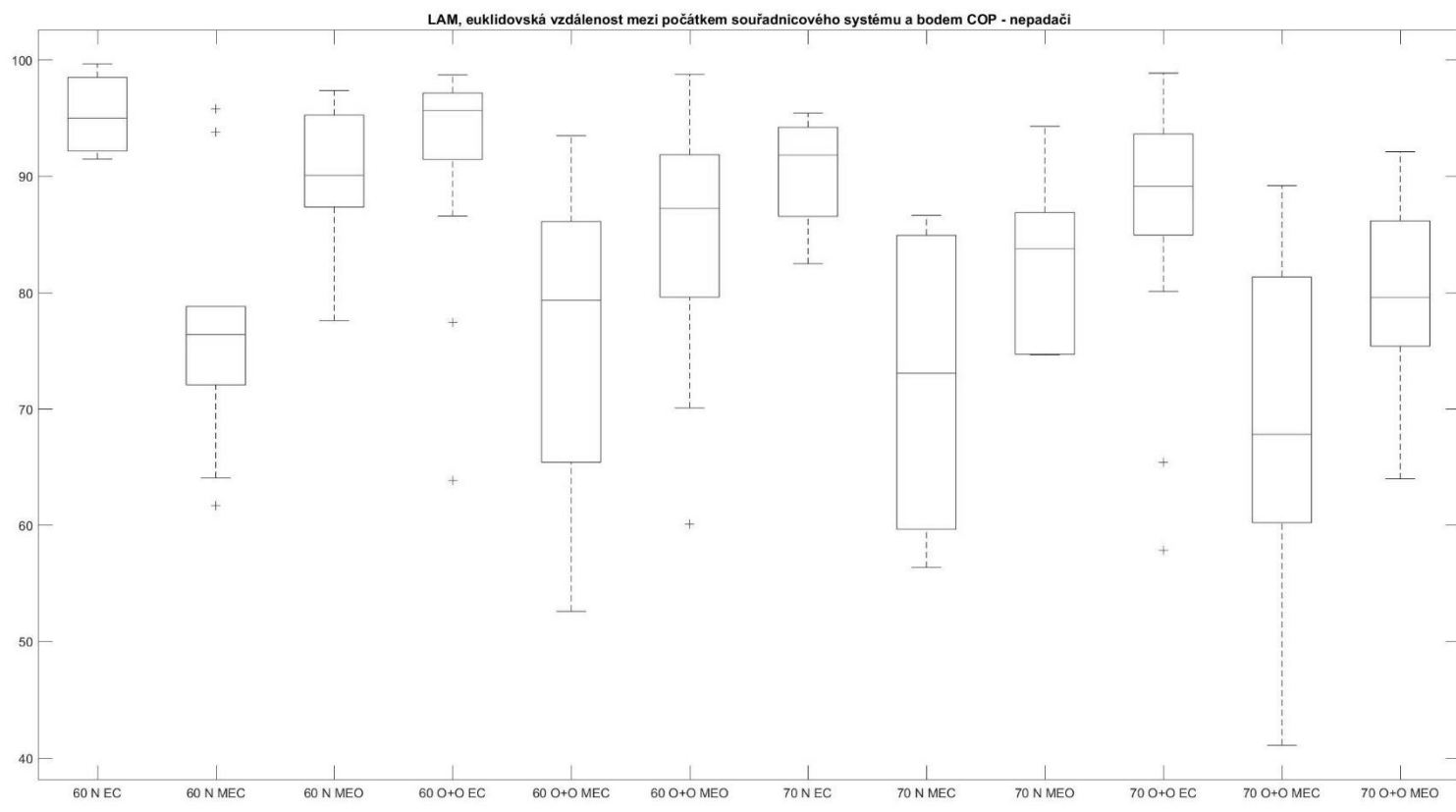
PŘÍLOHA 49



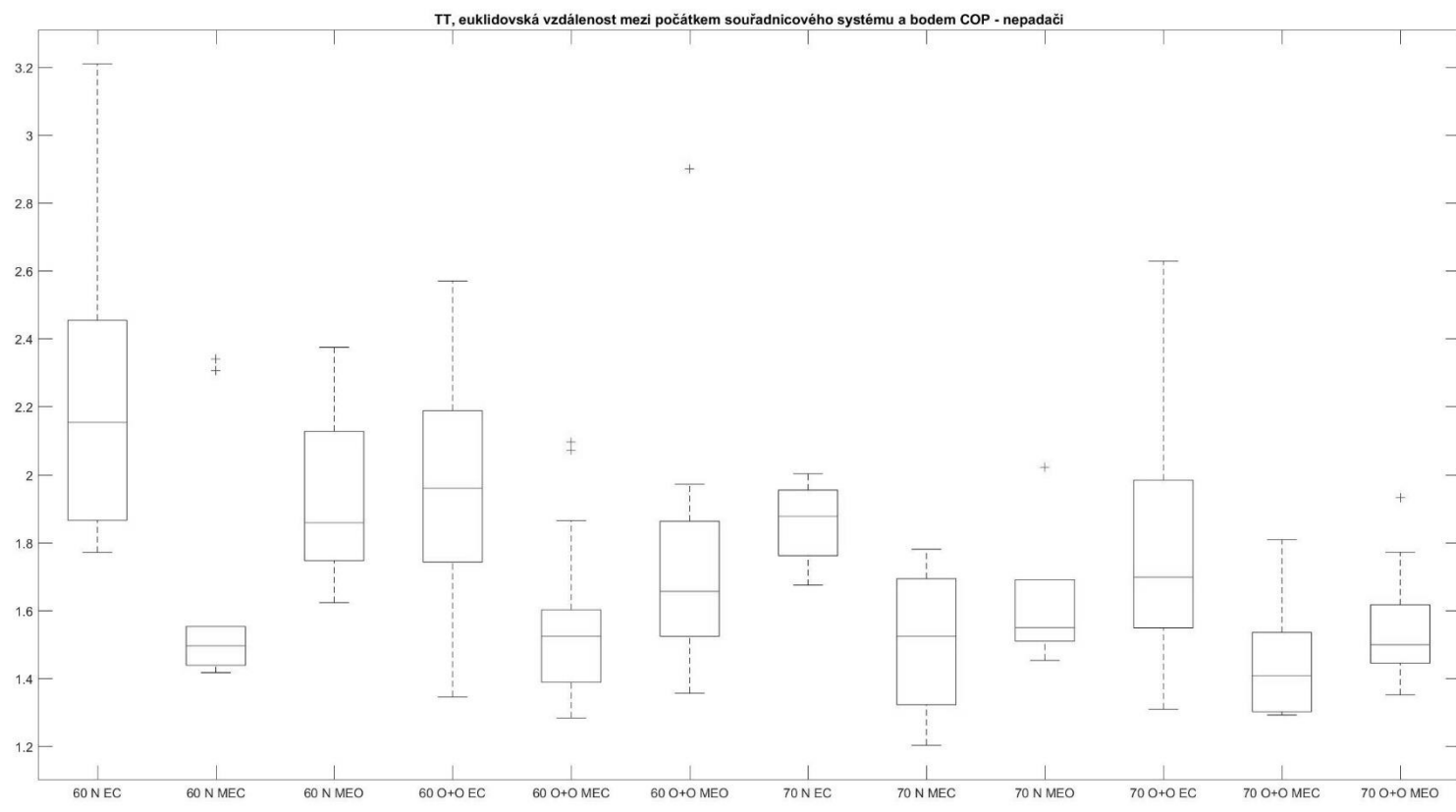
PŘÍLOHA 50



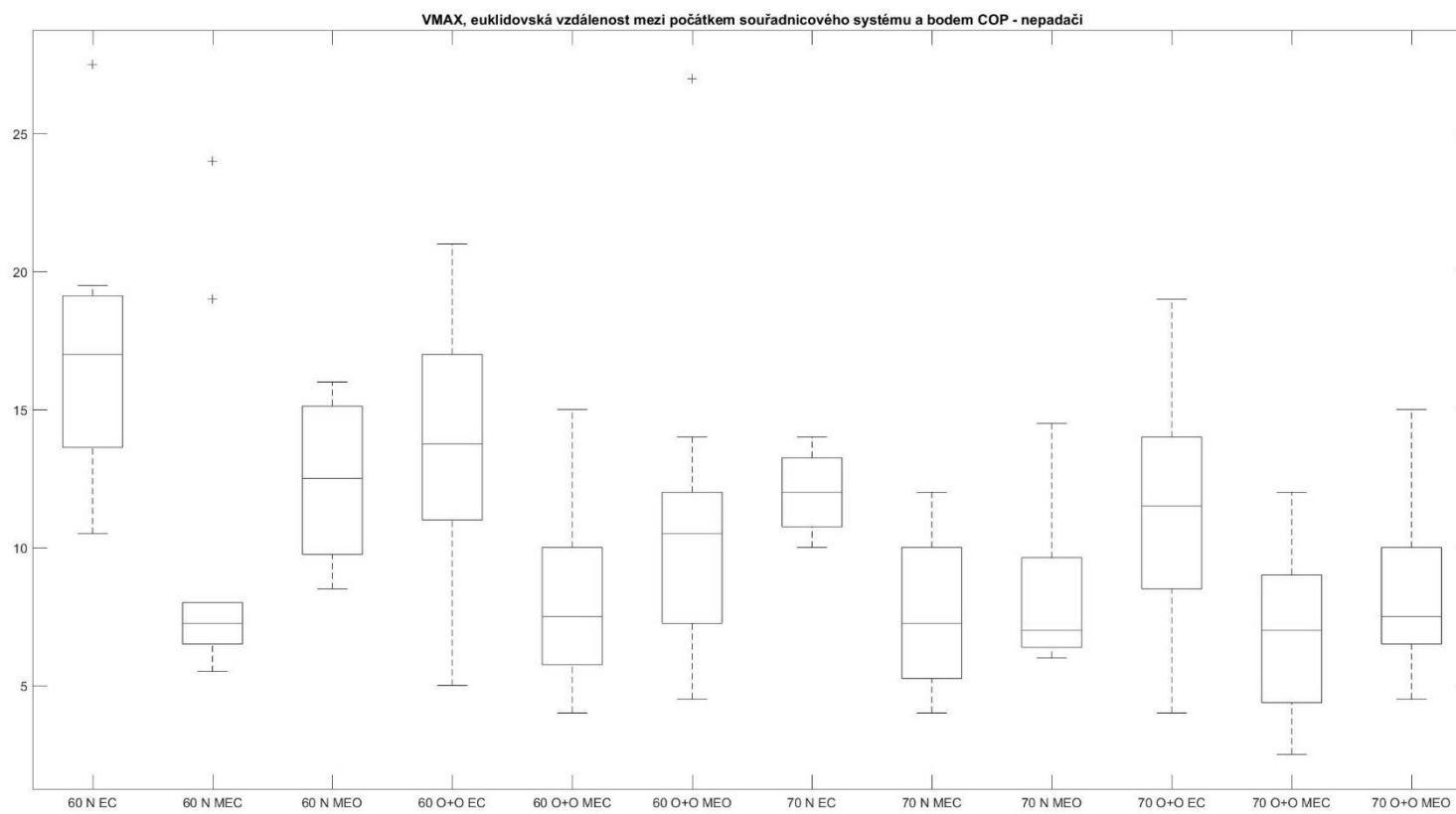
PŘÍLOHA 51



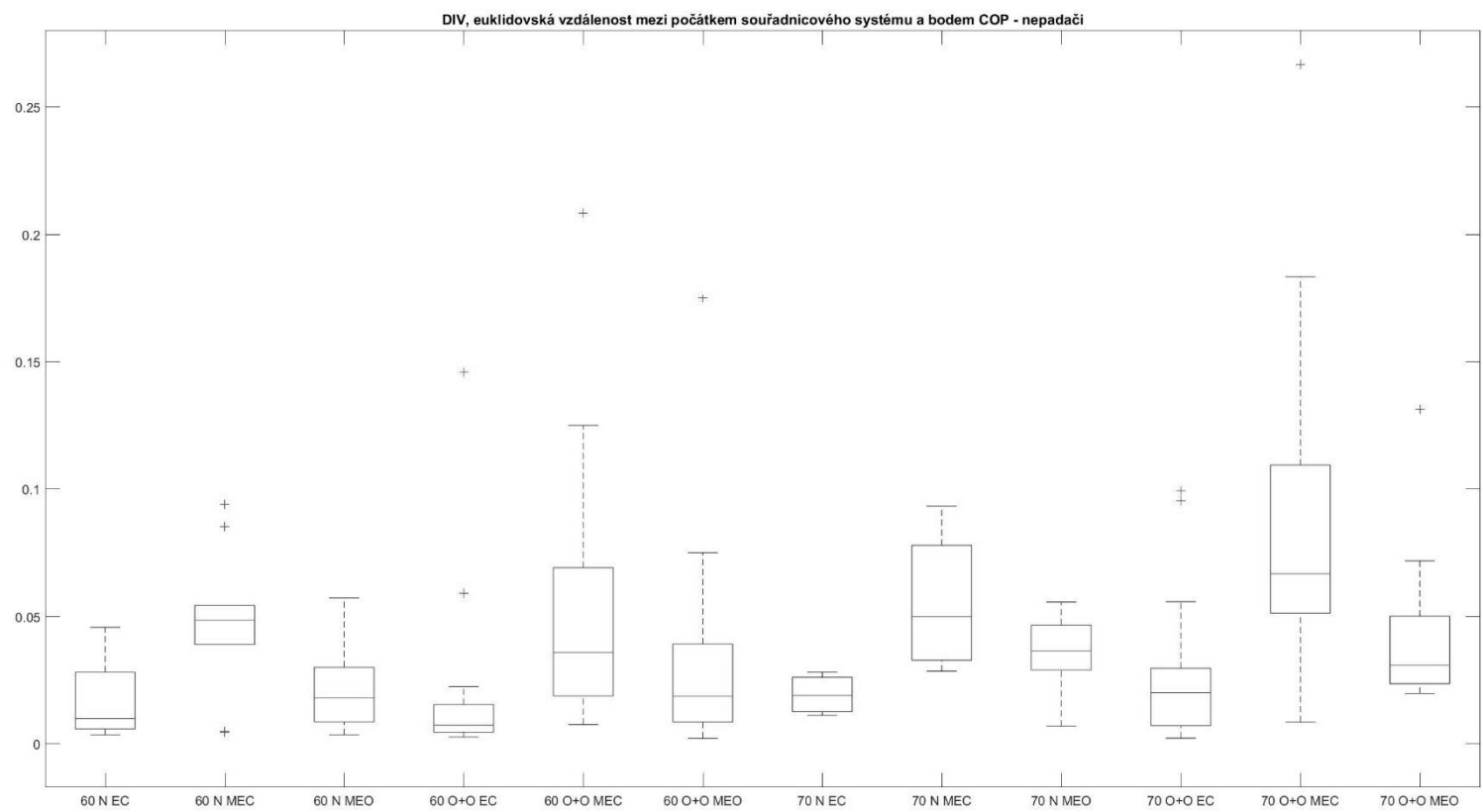
PŘÍLOHA 52



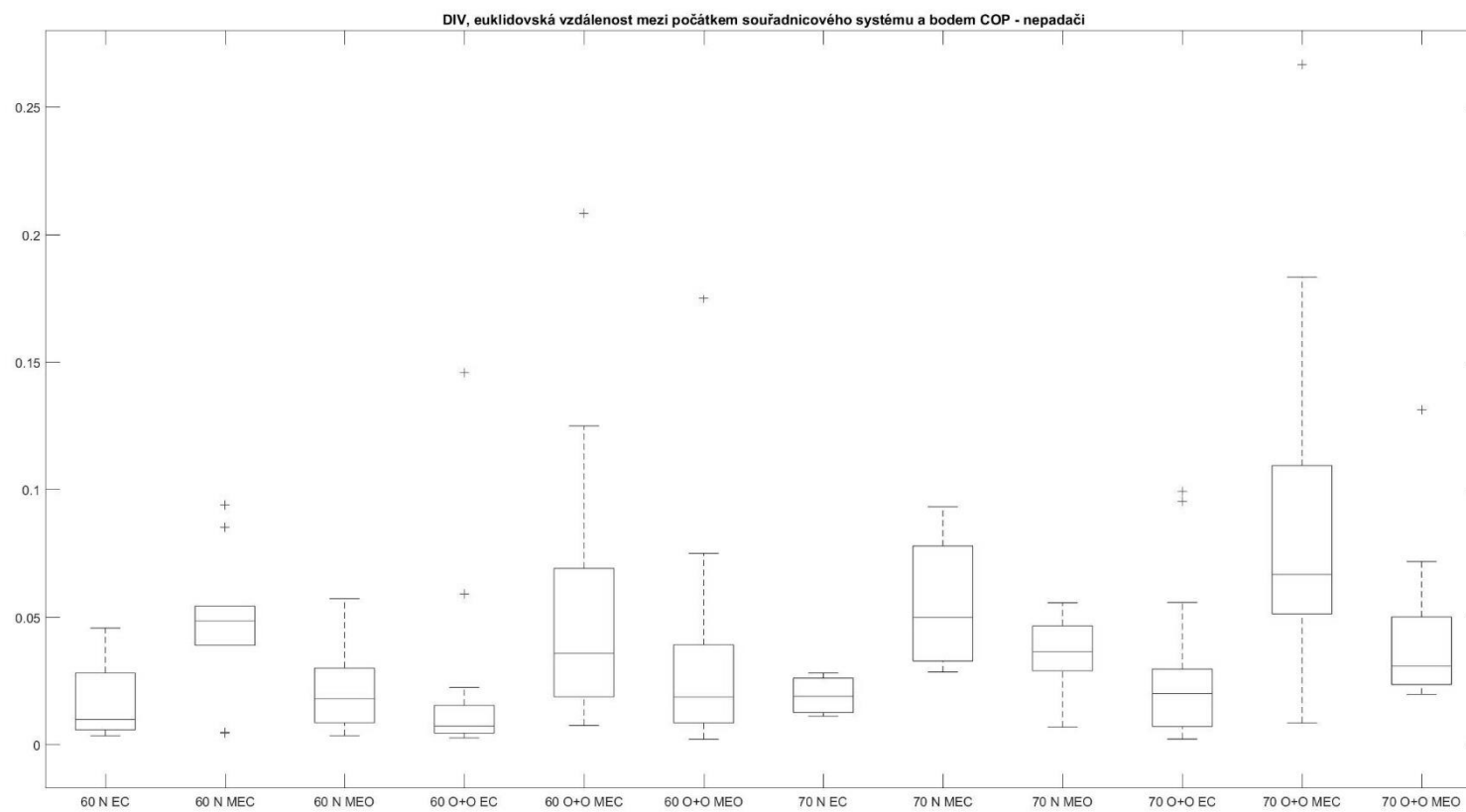
PŘÍLOHA 53



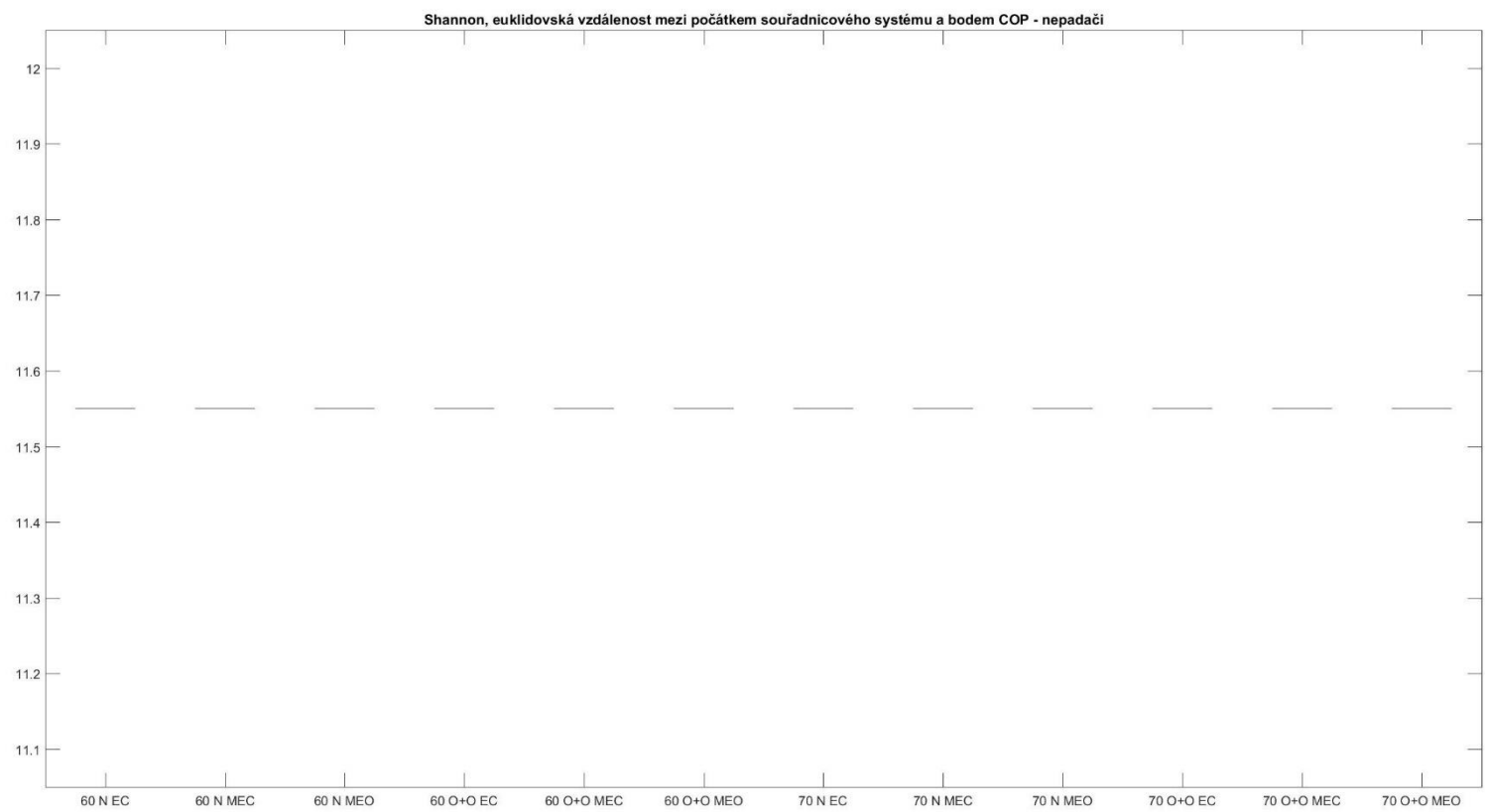
PŘÍLOHA 54



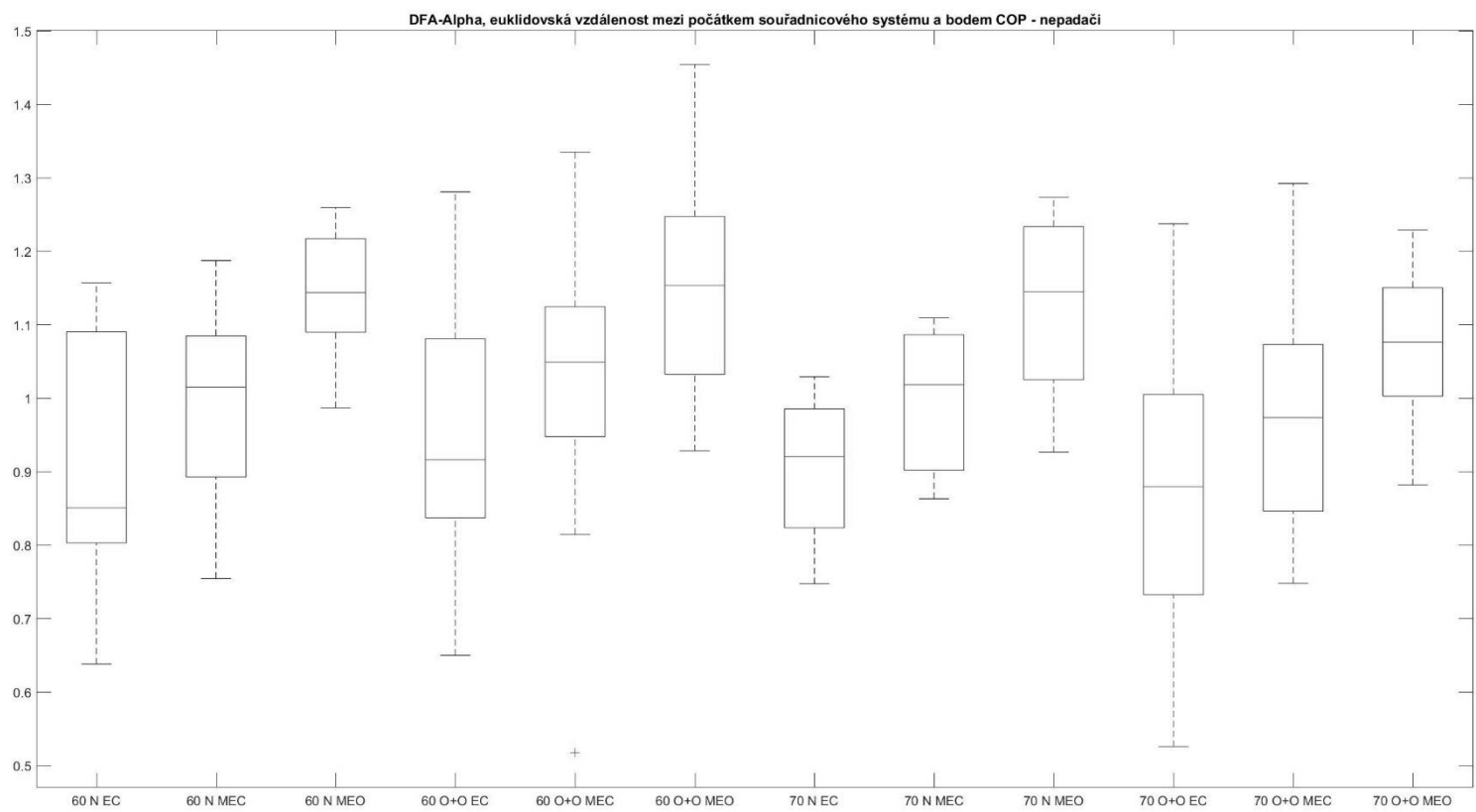
PŘÍLOHA 55



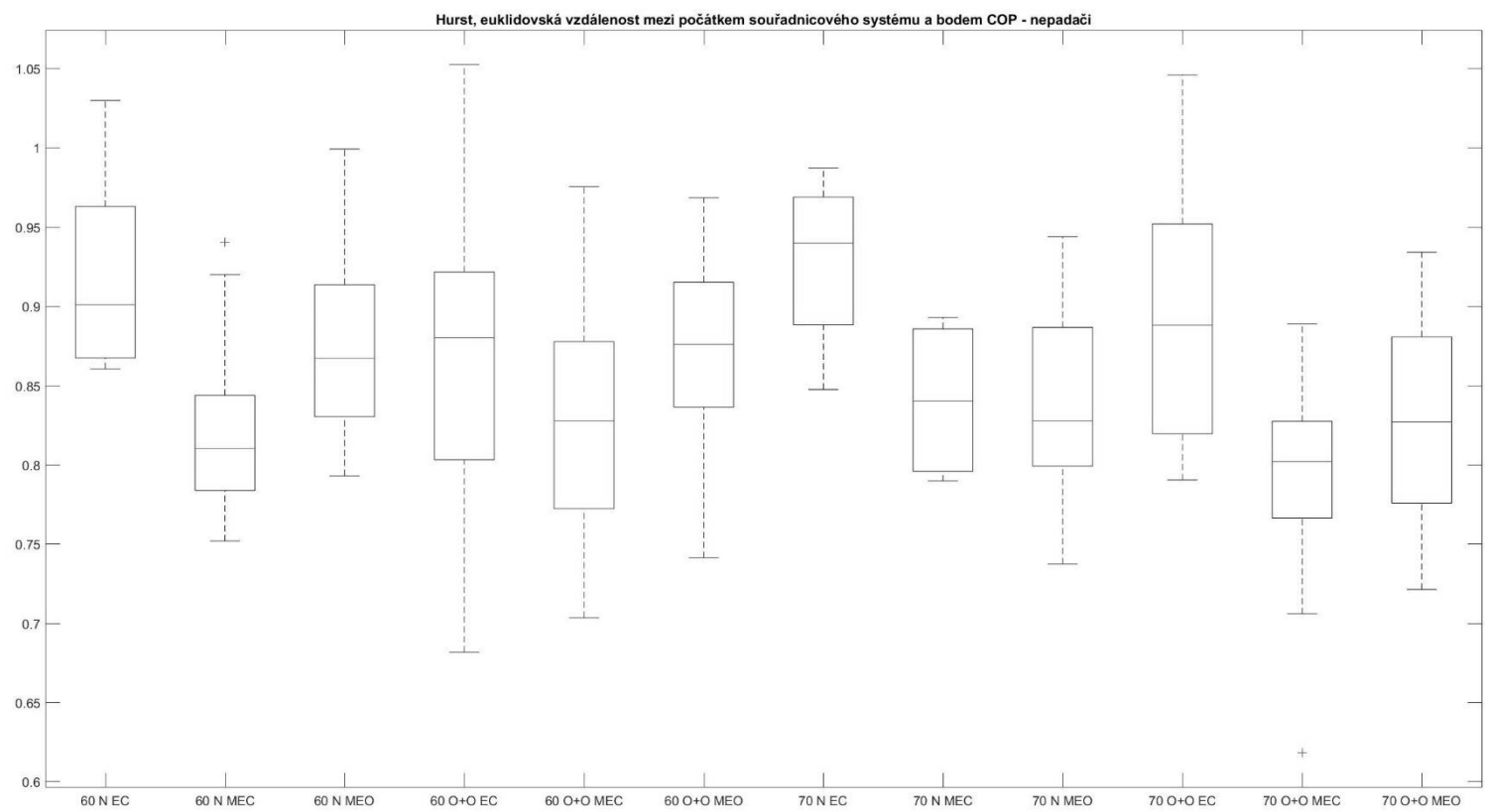
PŘÍLOHA 56



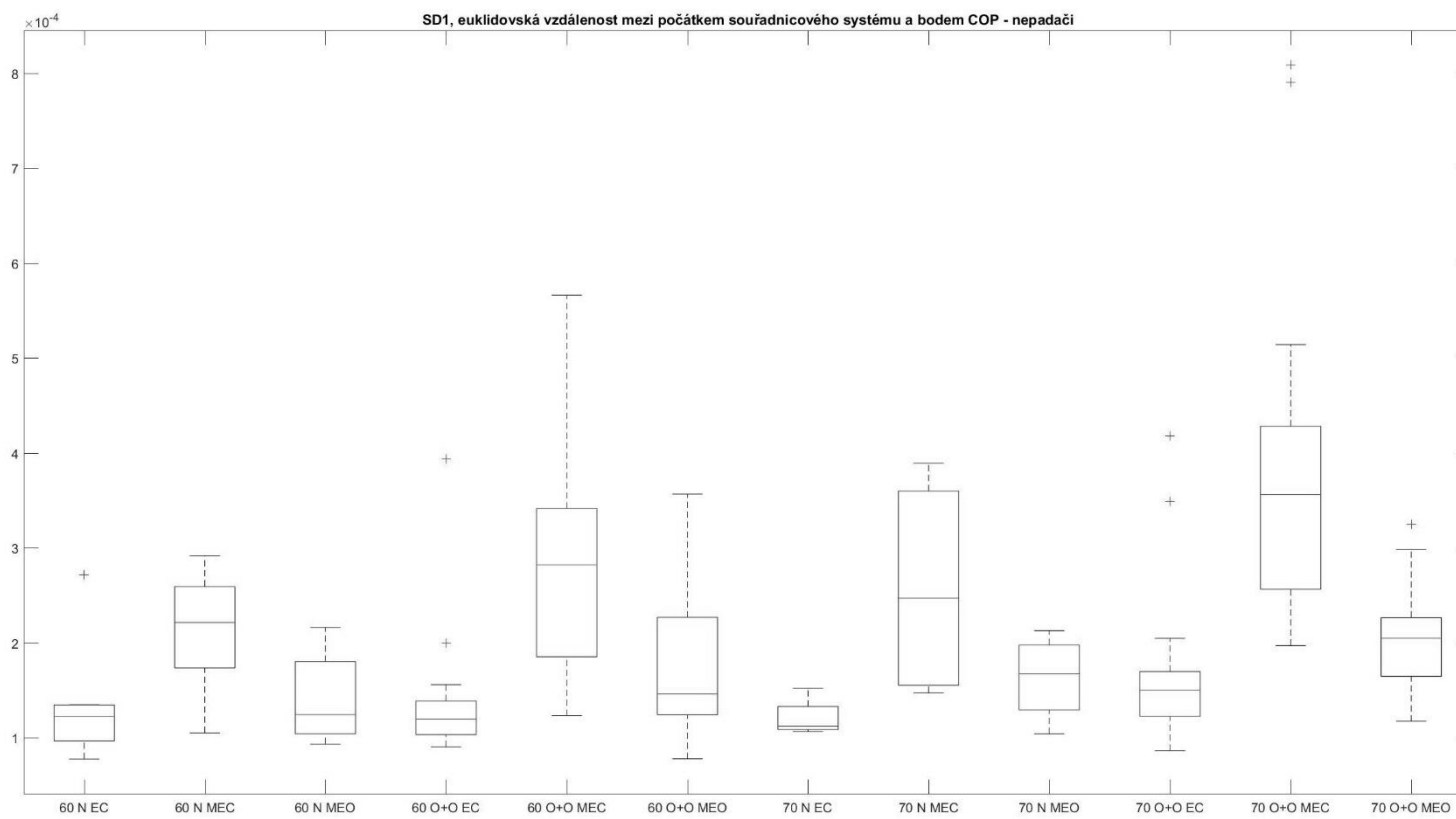
PŘÍLOHA 57



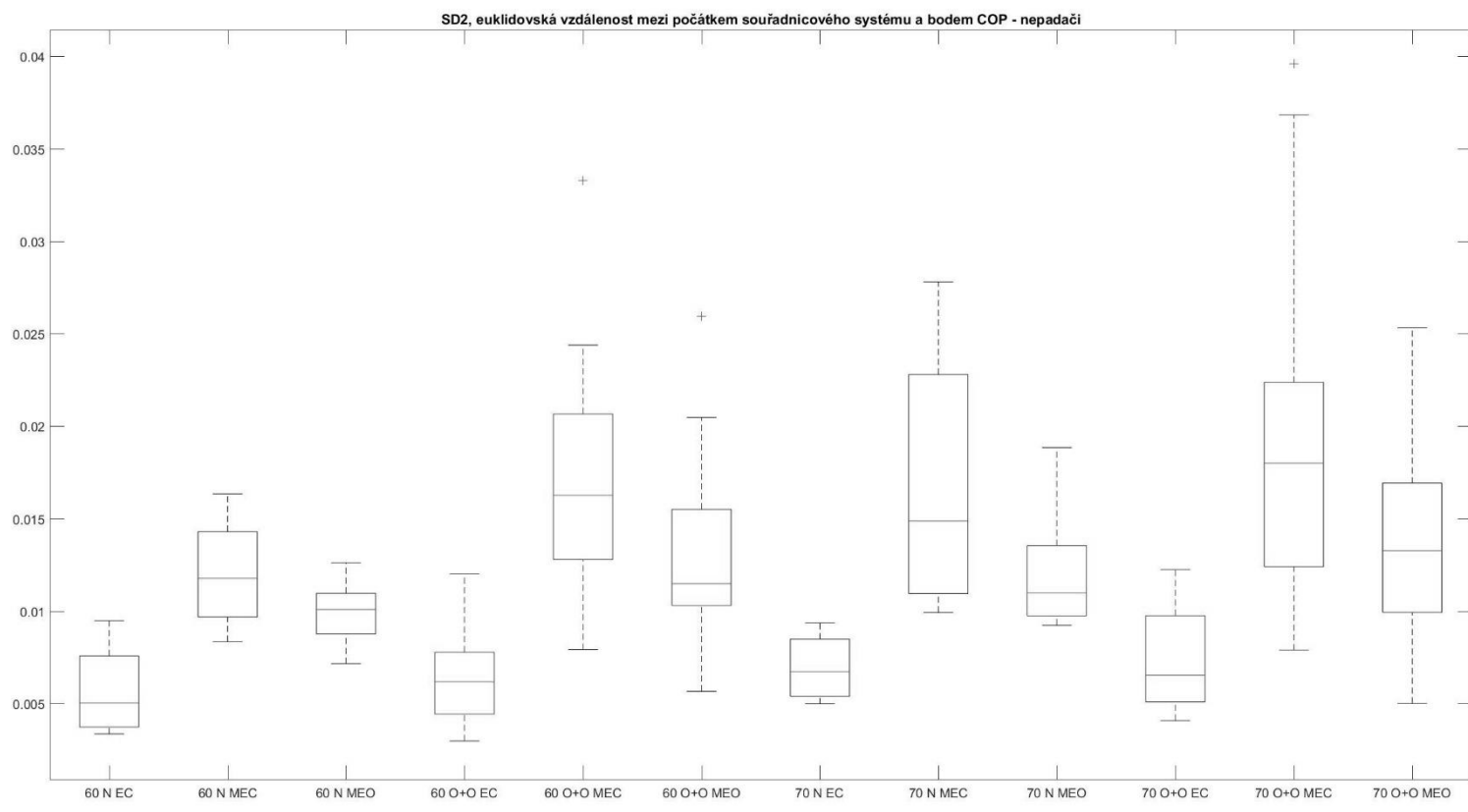
PŘÍLOHA 58



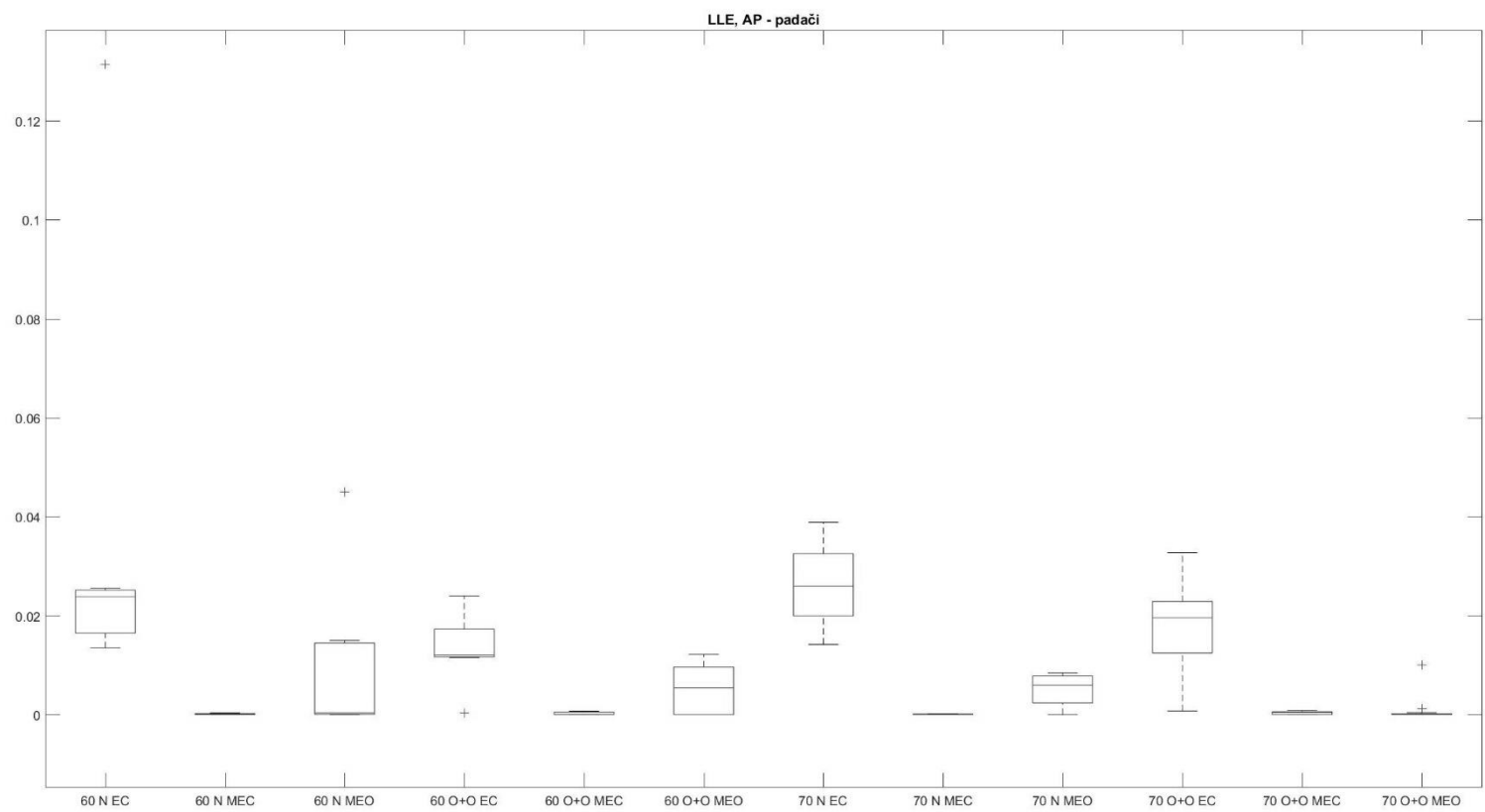
PŘÍLOHA 59



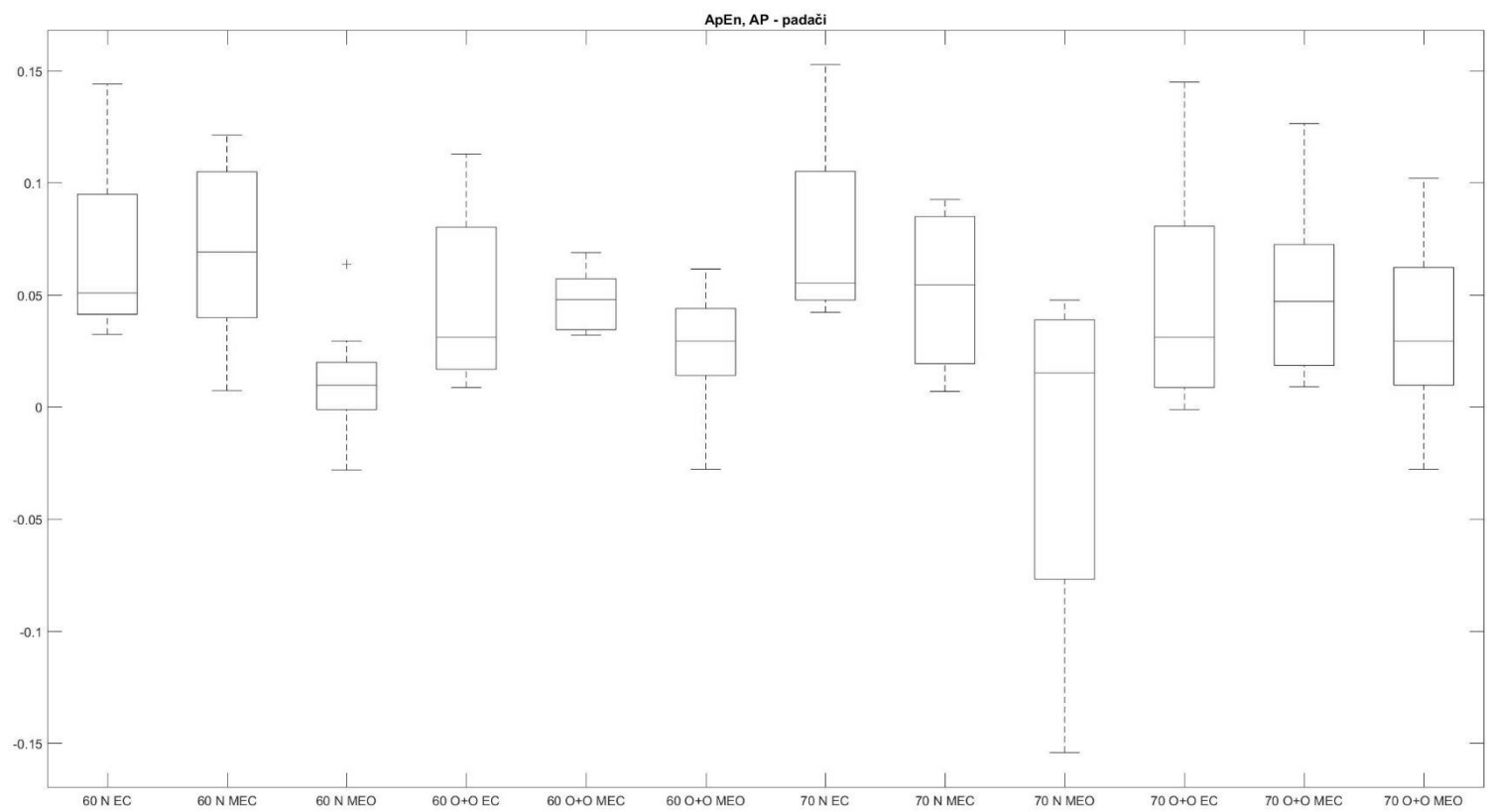
PŘÍLOHA 60



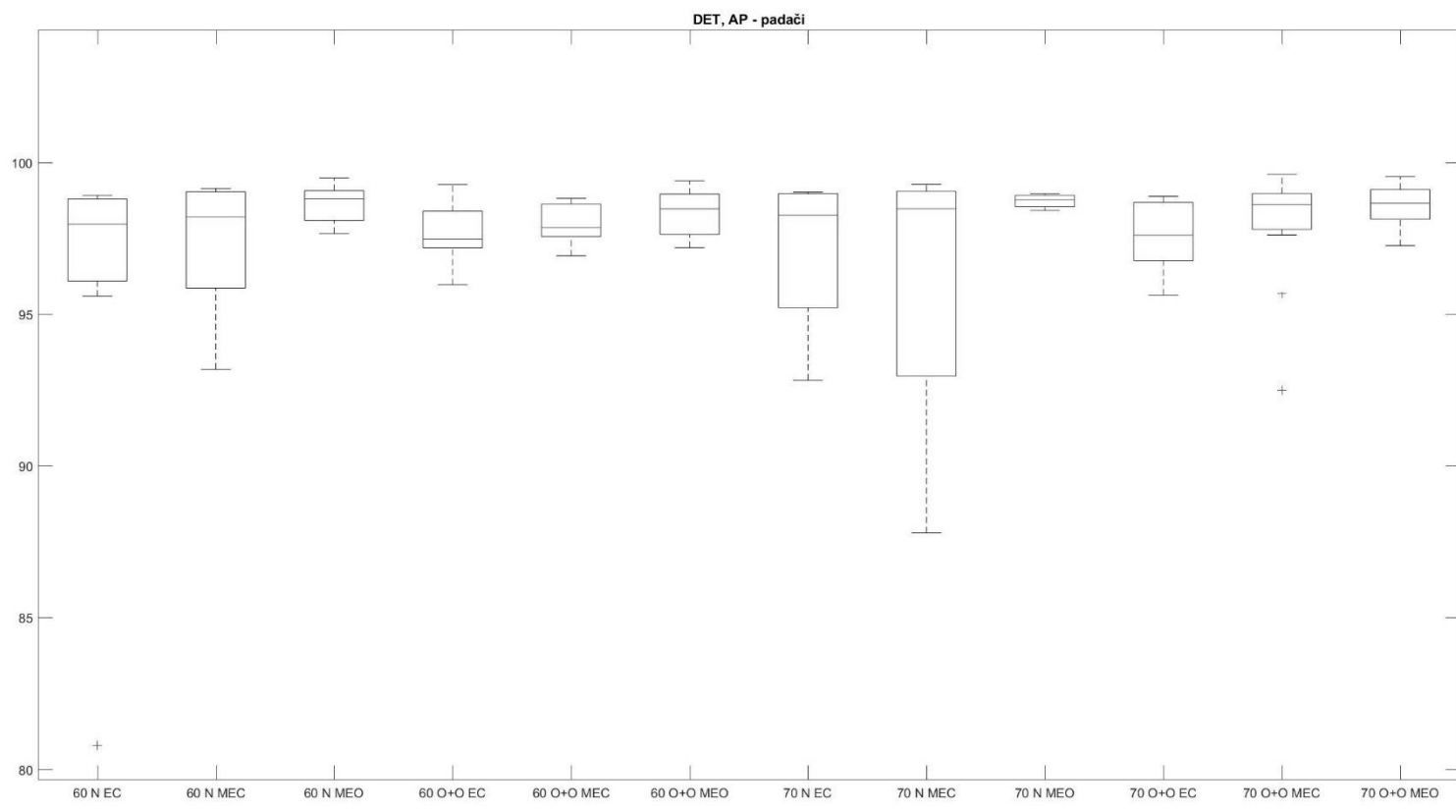
PŘÍLOHA 61



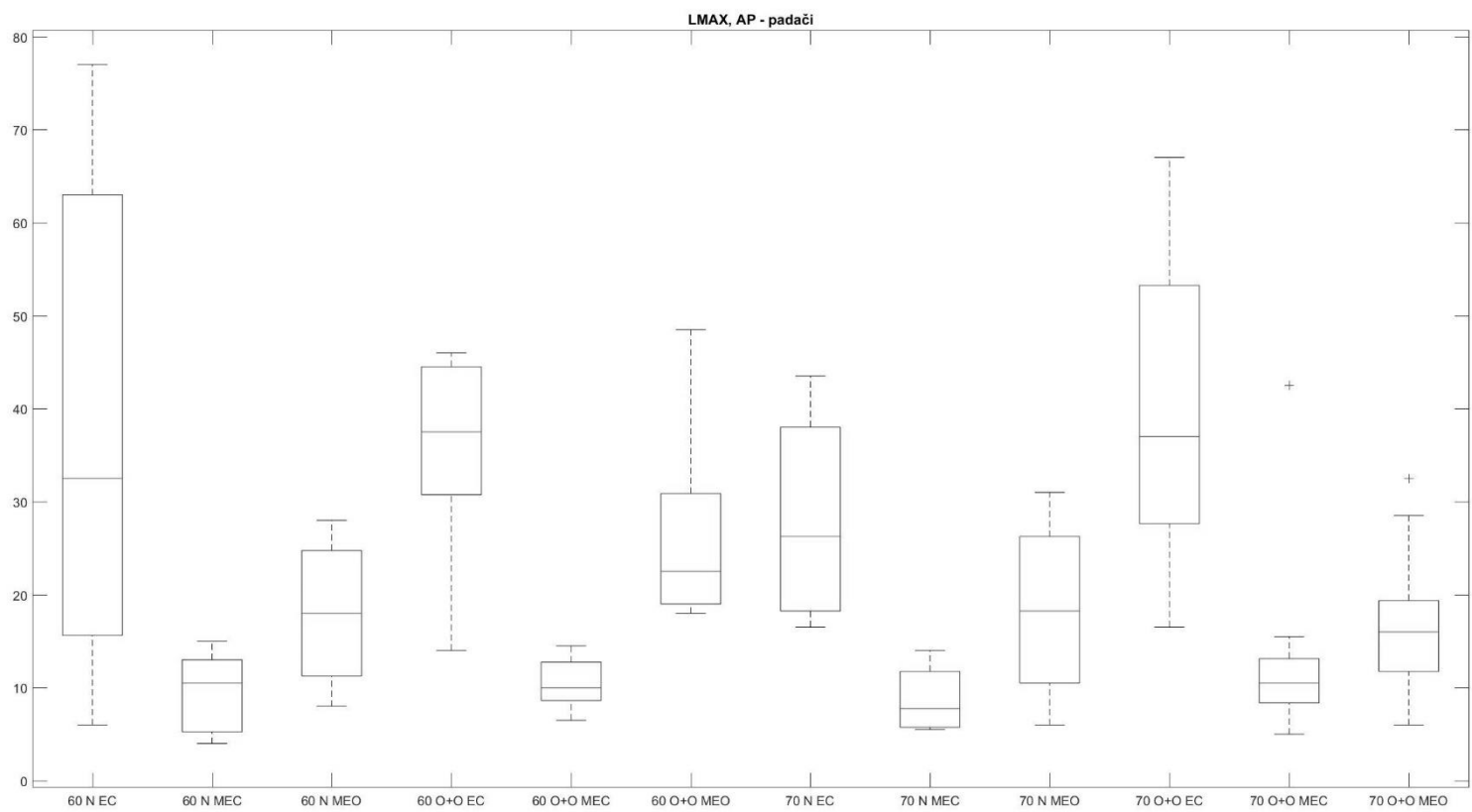
PŘÍLOHA 62



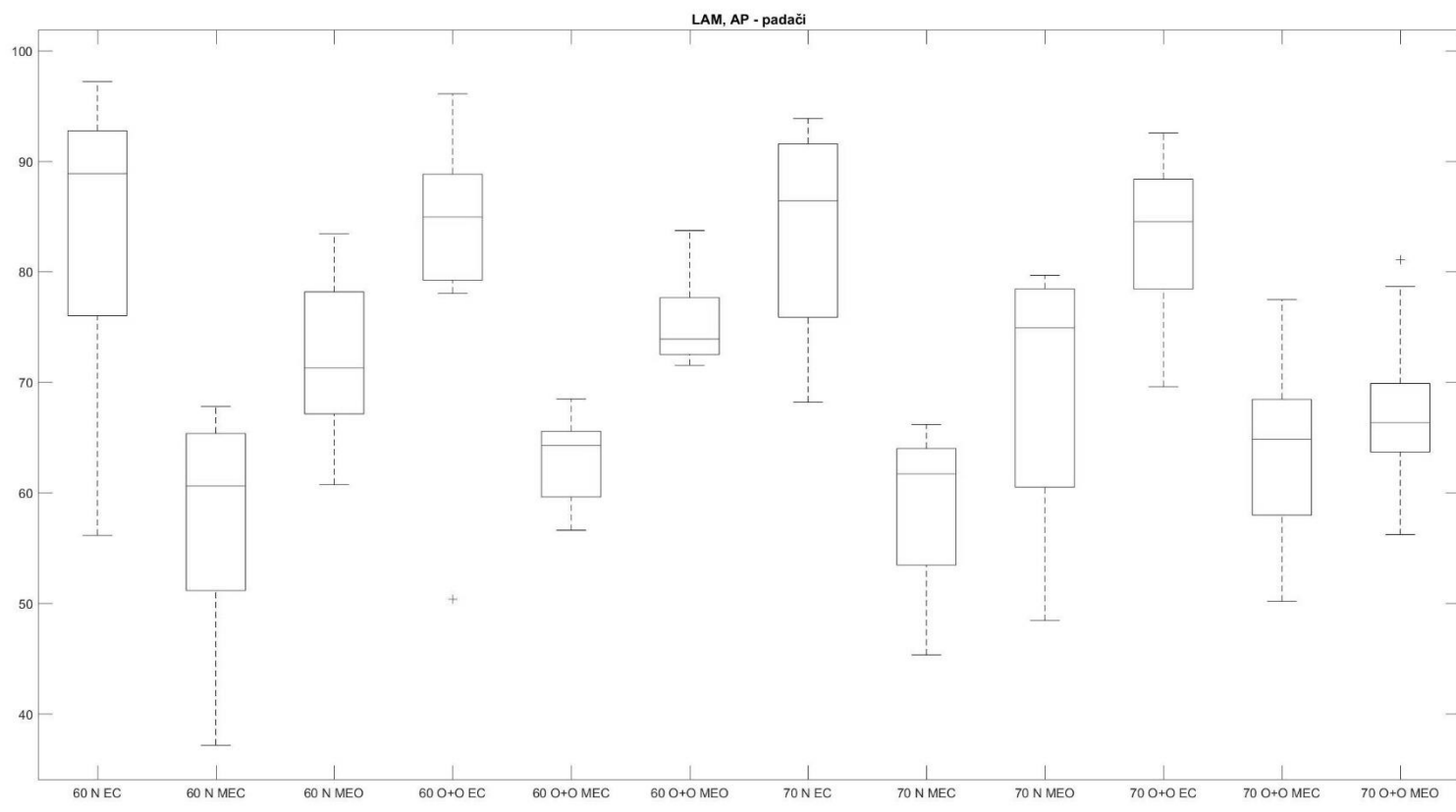
PŘÍLOHA 63



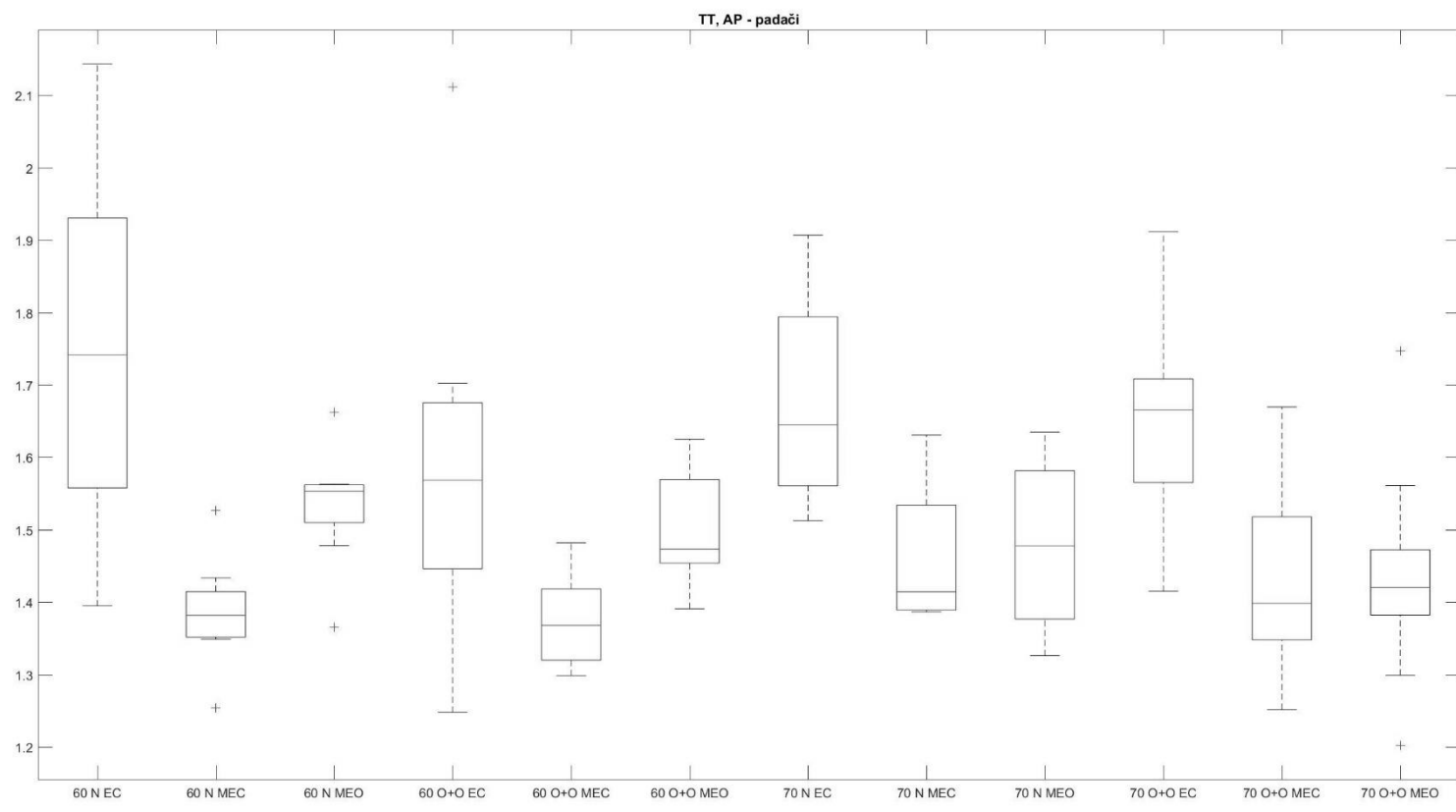
PŘÍLOHA 64



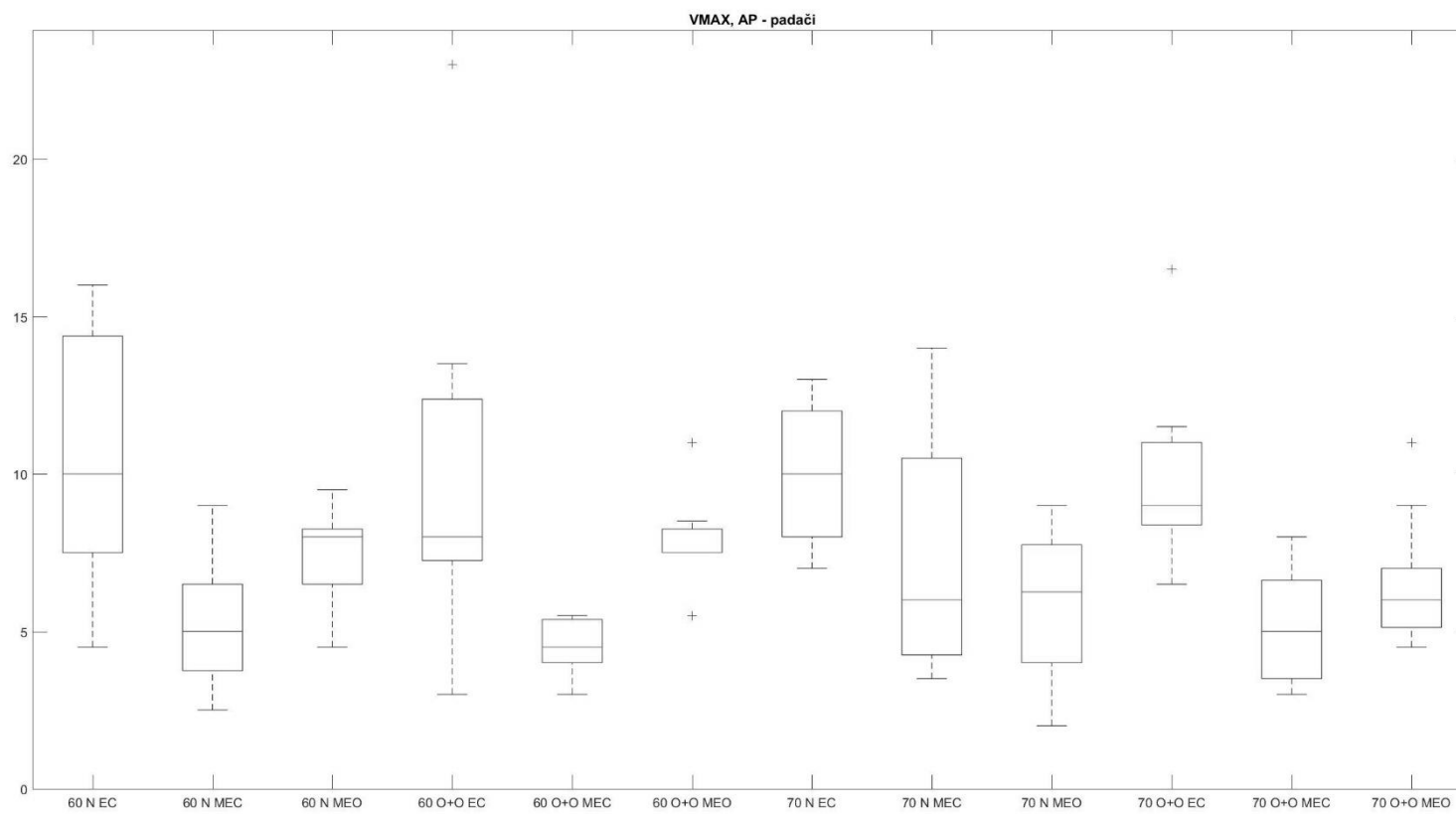
PŘÍLOHA 65



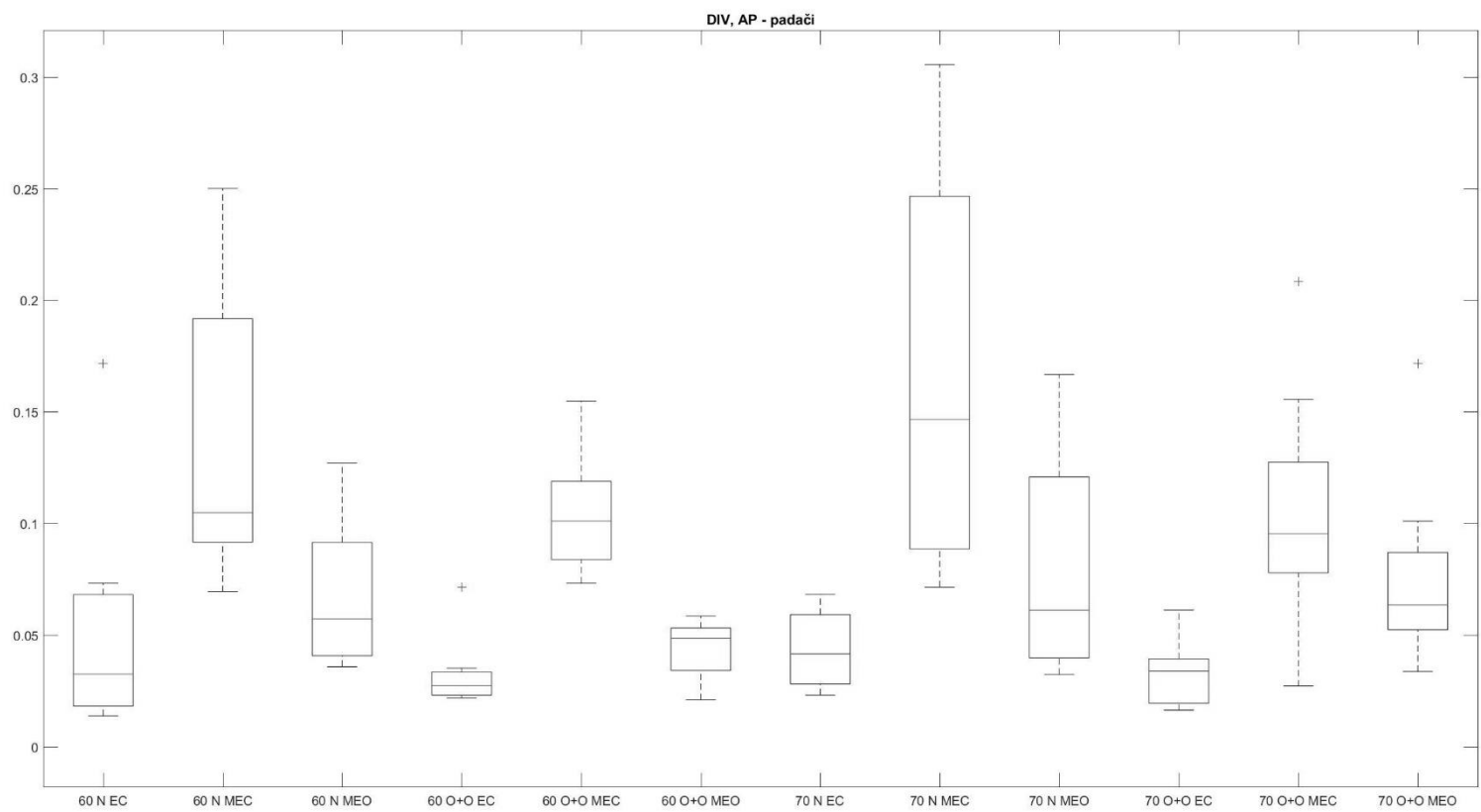
PŘÍLOHA 66



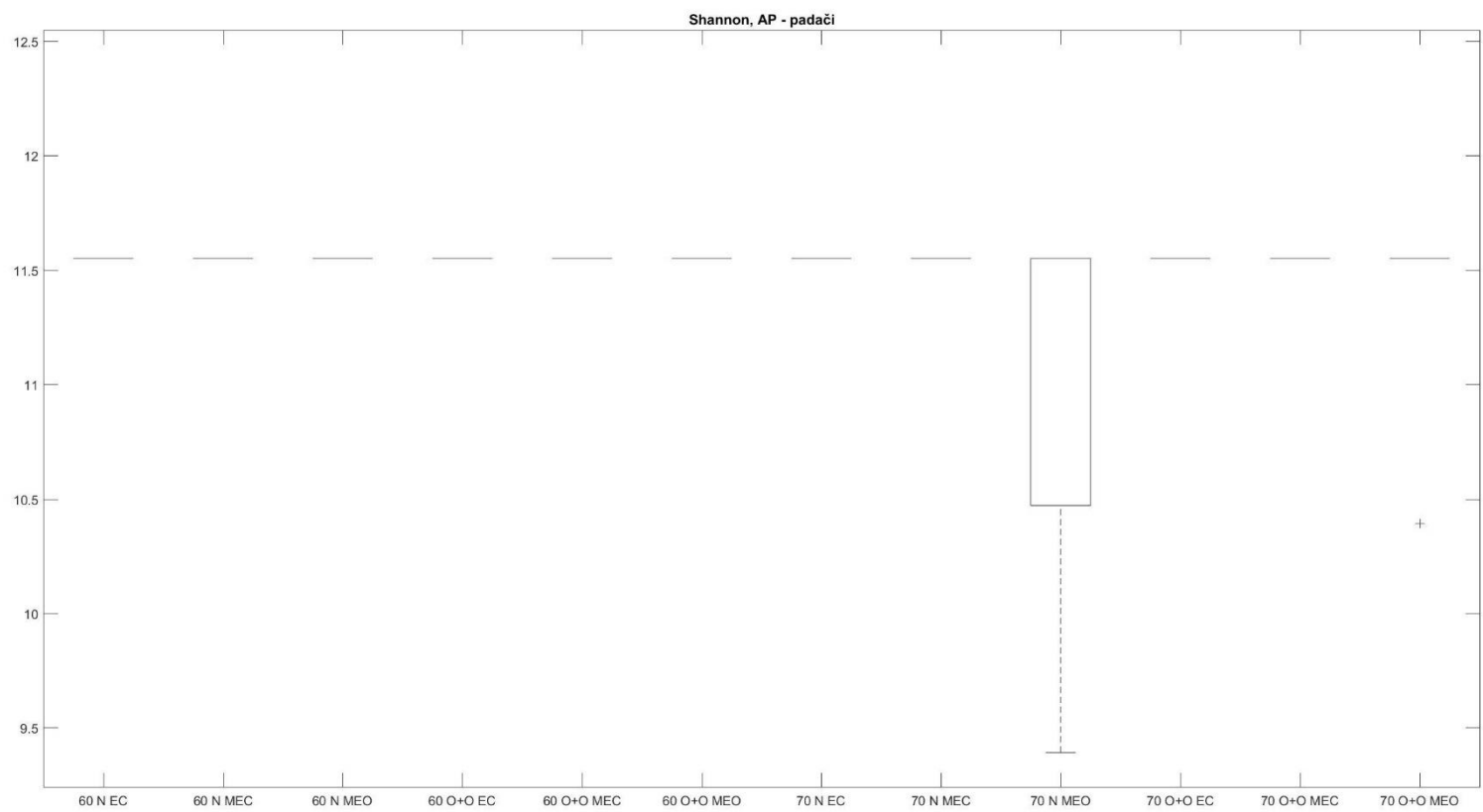
PŘÍLOHA 67



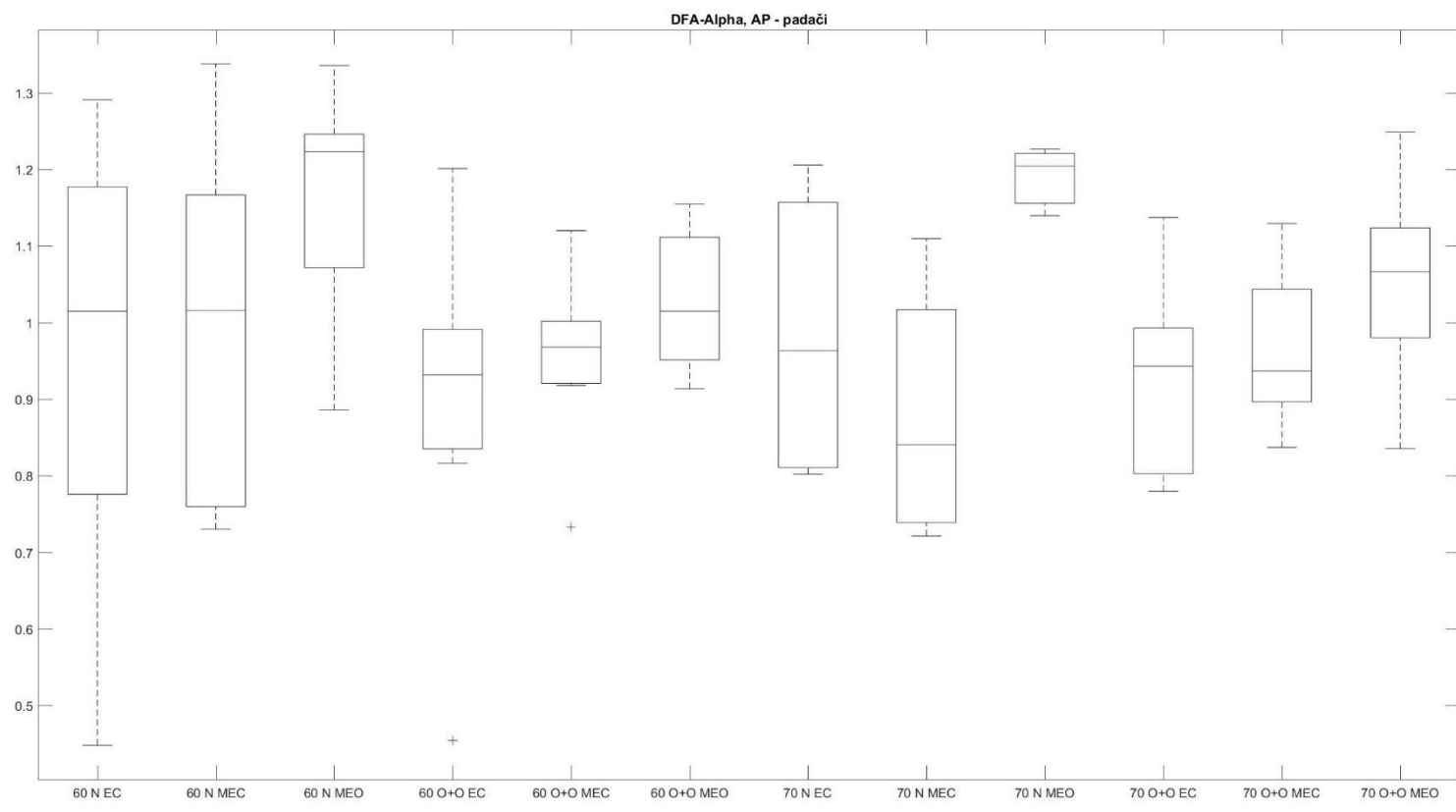
PŘÍLOHA 68



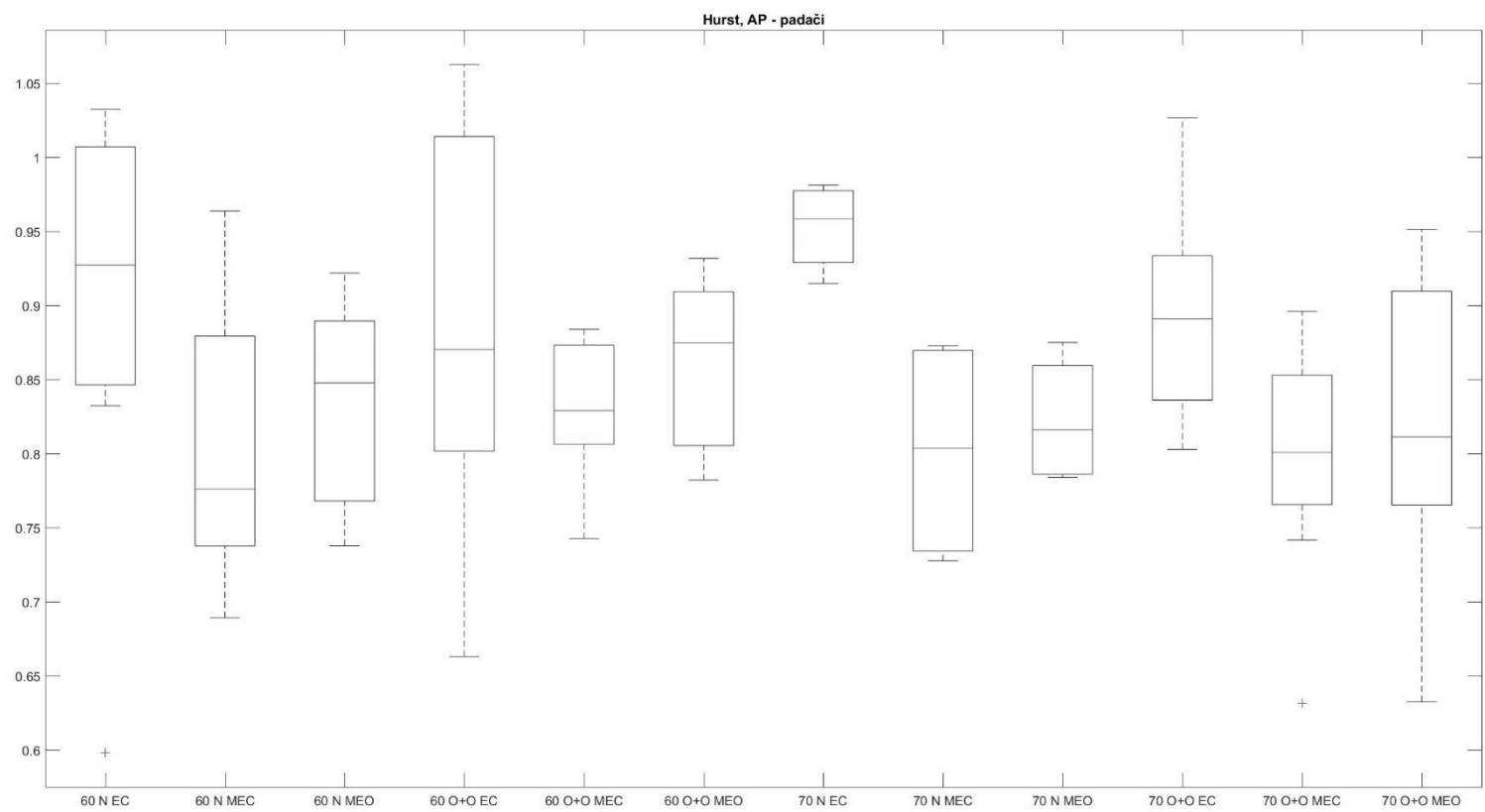
PŘÍLOHA 69



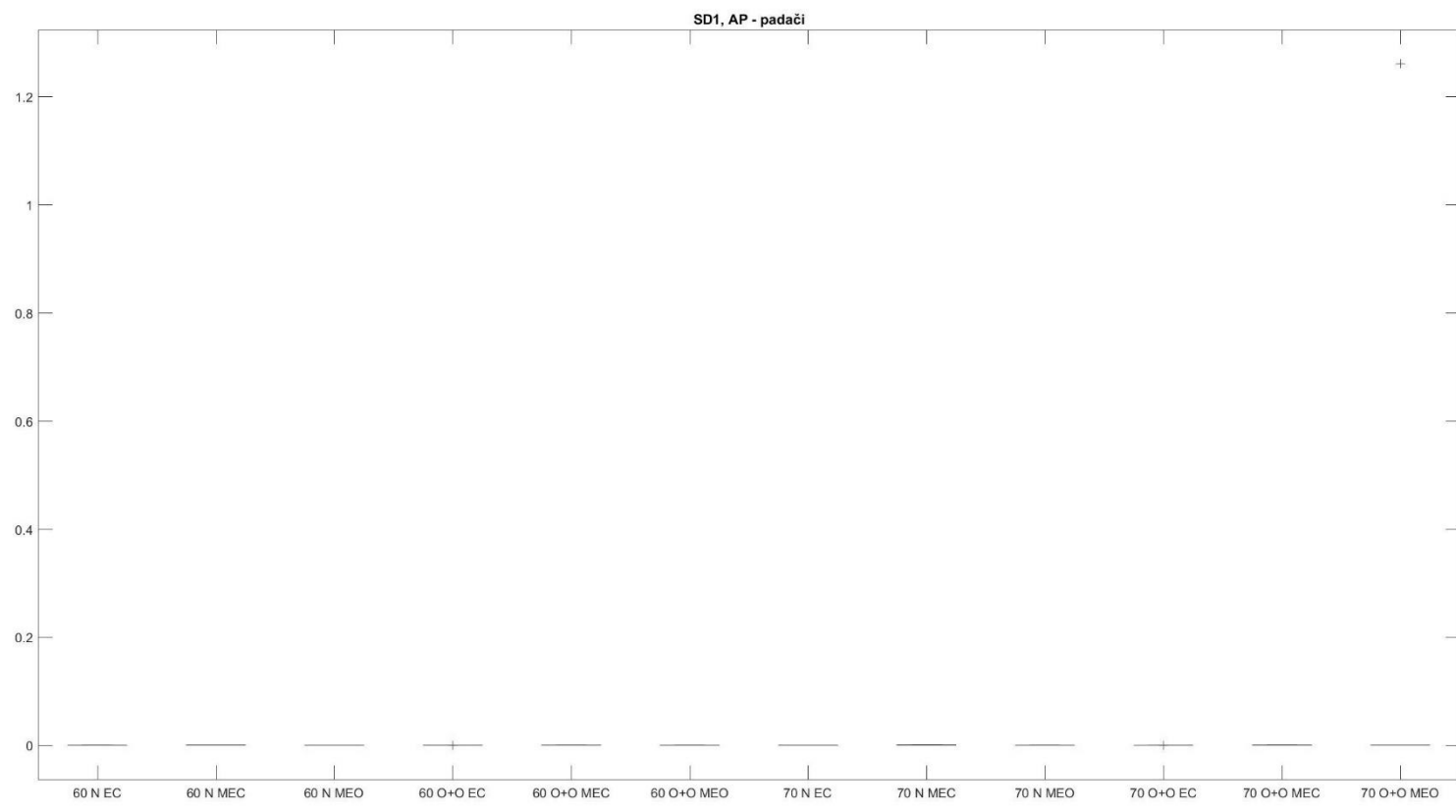
PŘÍLOHA 70



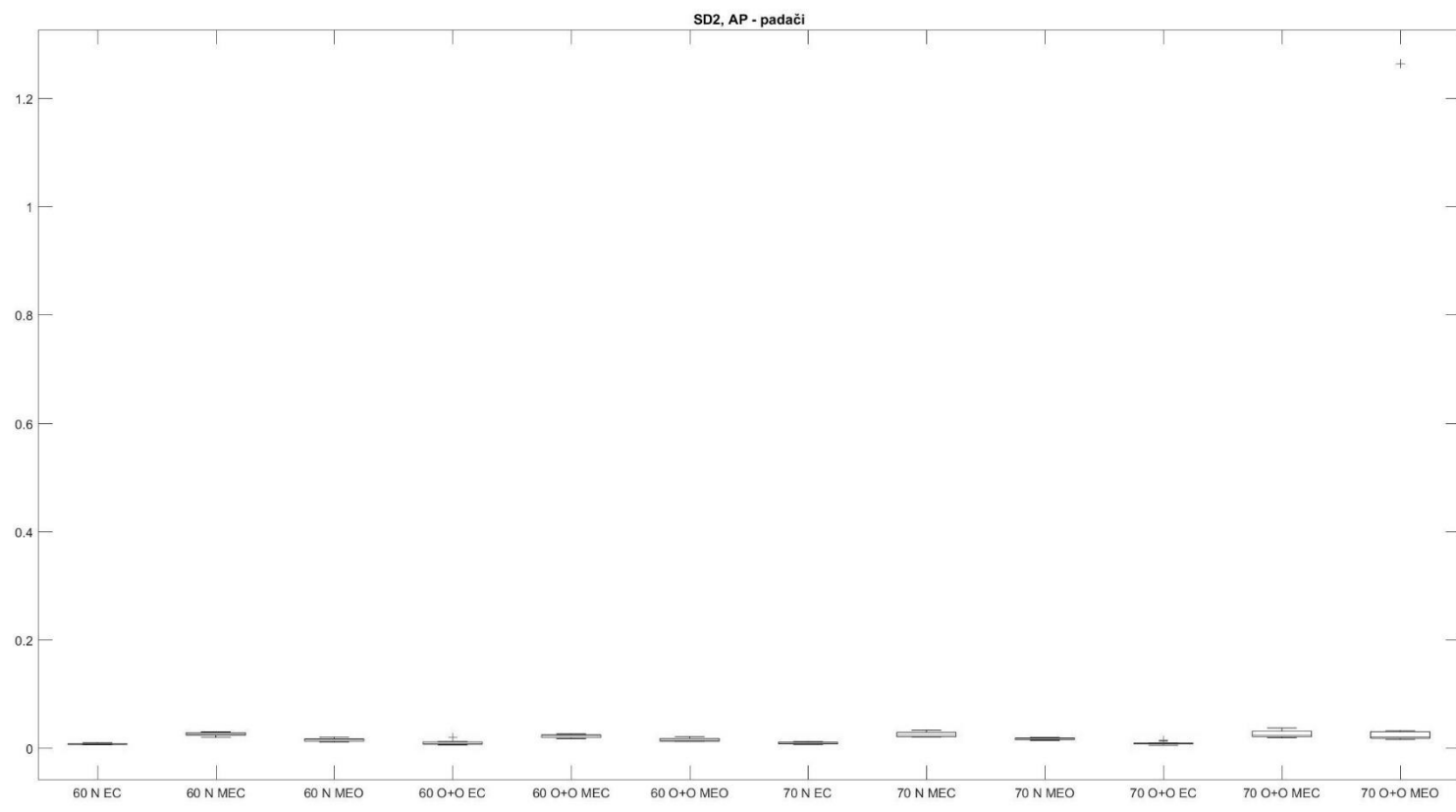
PŘÍLOHA 71



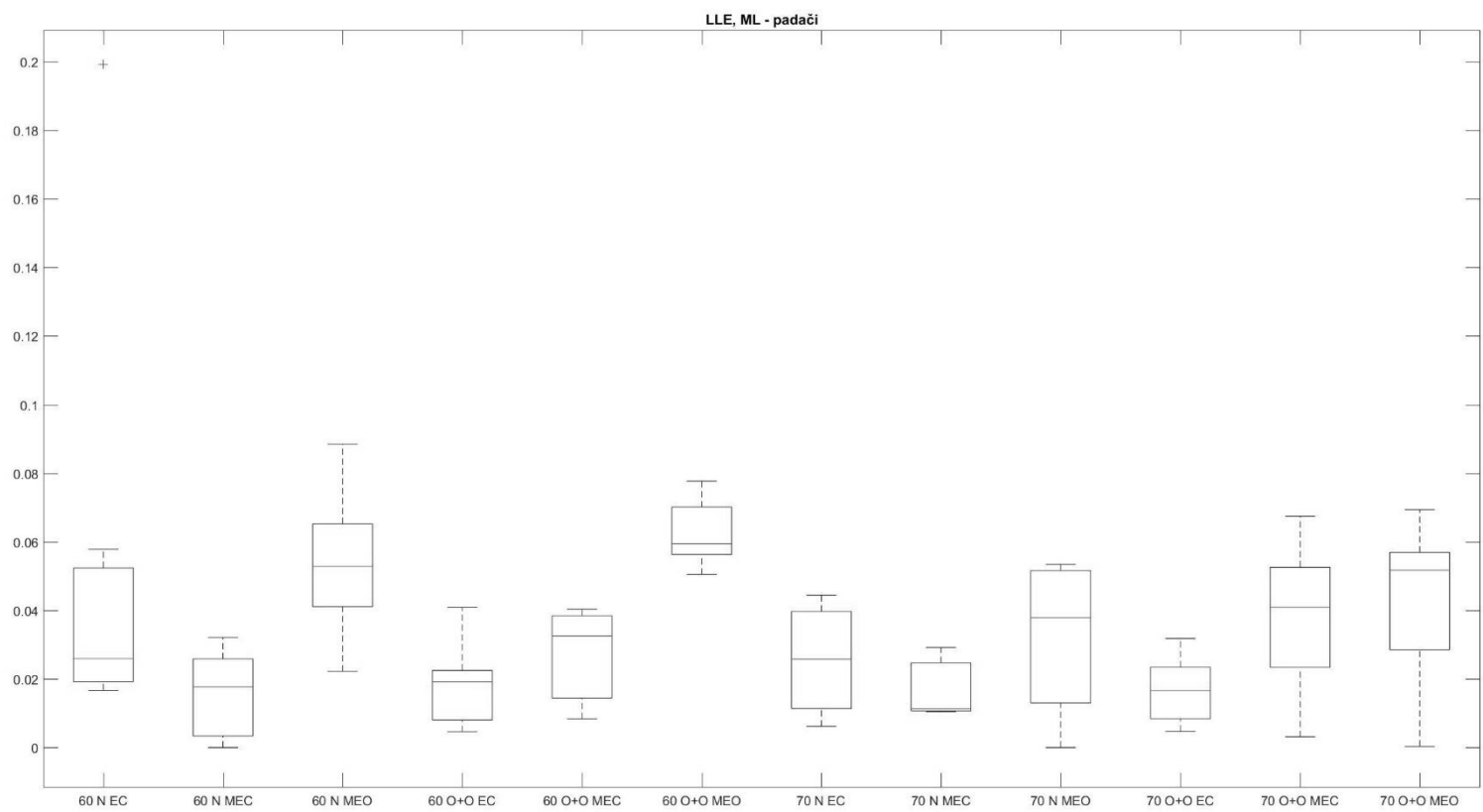
PŘÍLOHA 72



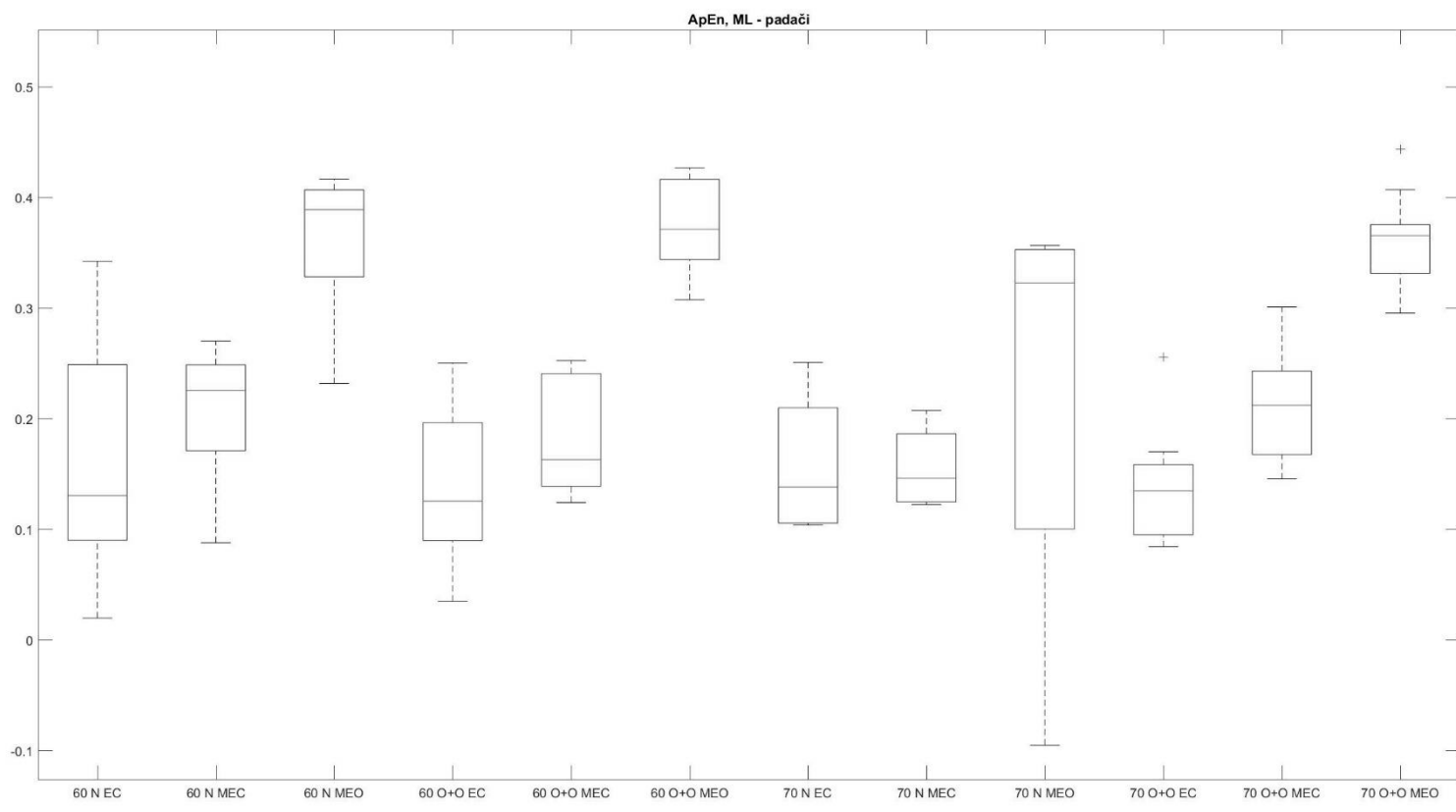
PŘÍLOHA 73



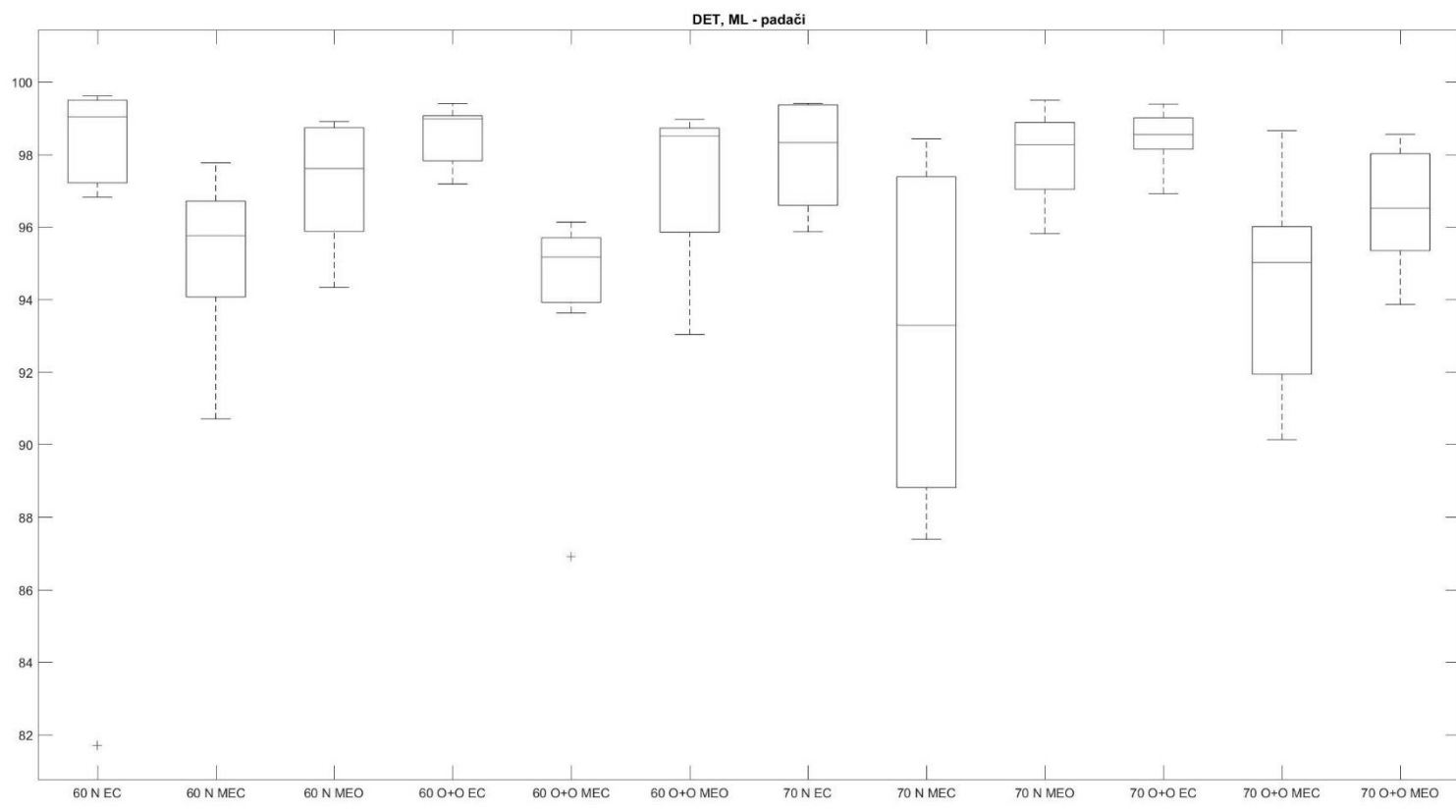
PŘÍLOHA 74



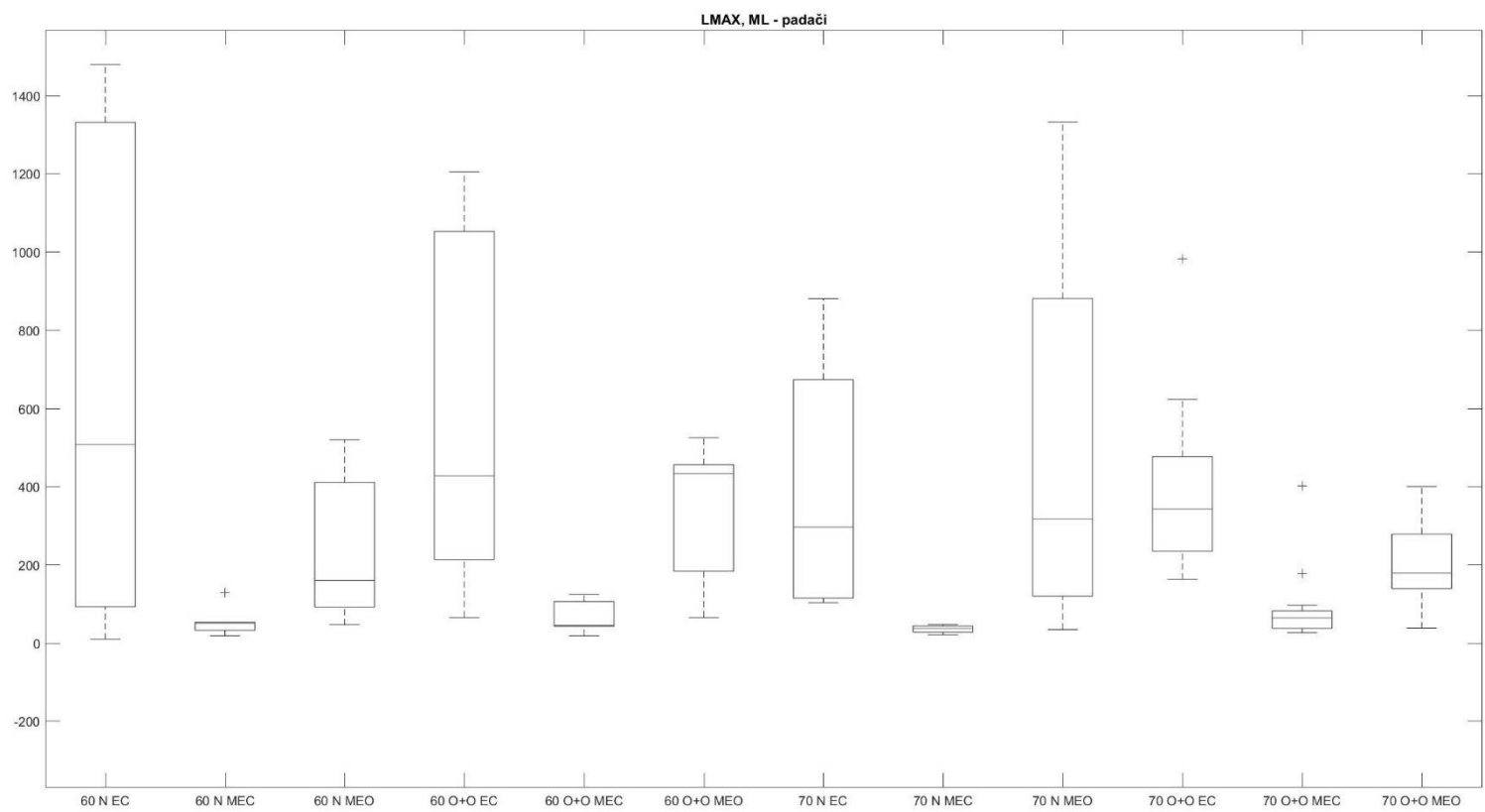
PŘÍLOHA 75



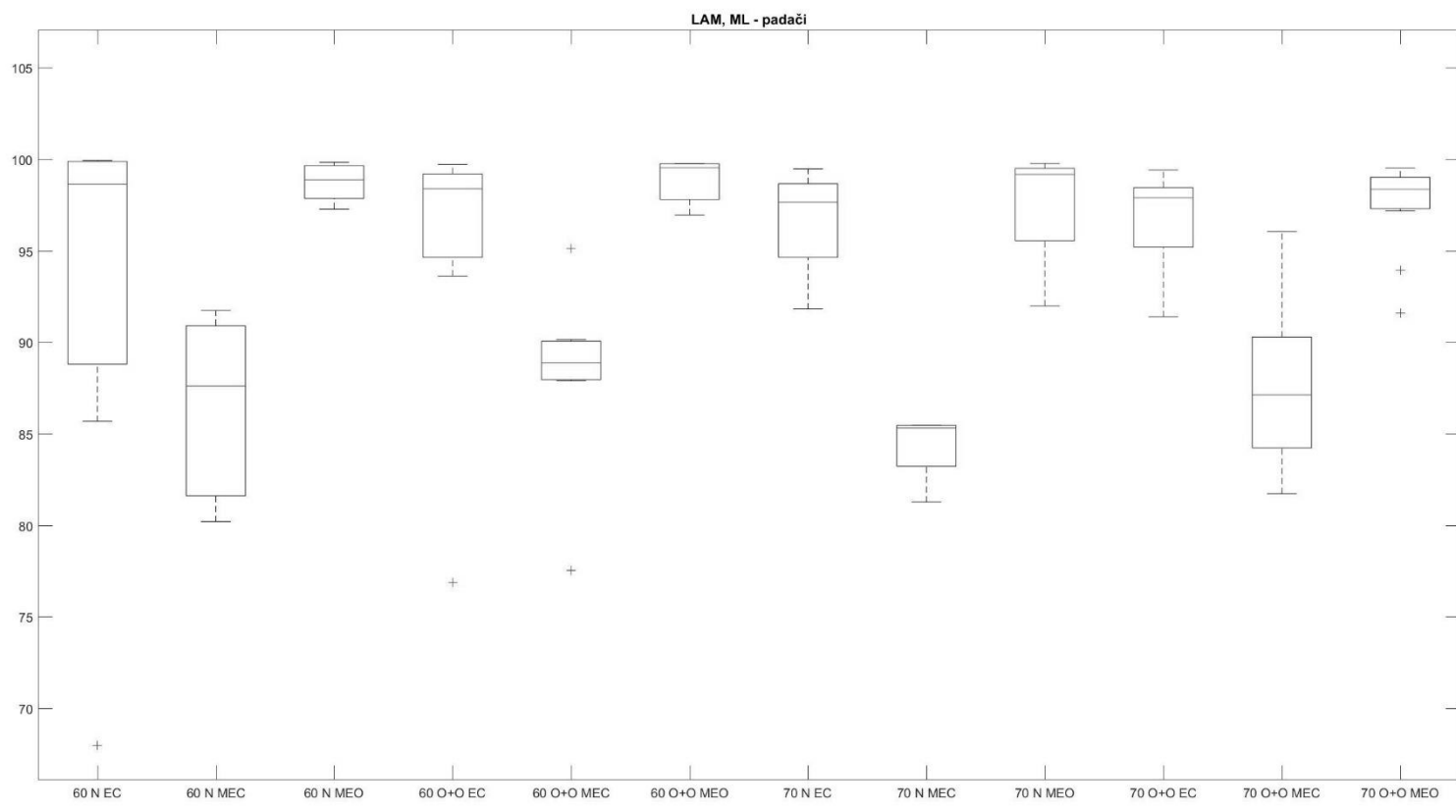
PŘÍLOHA 76



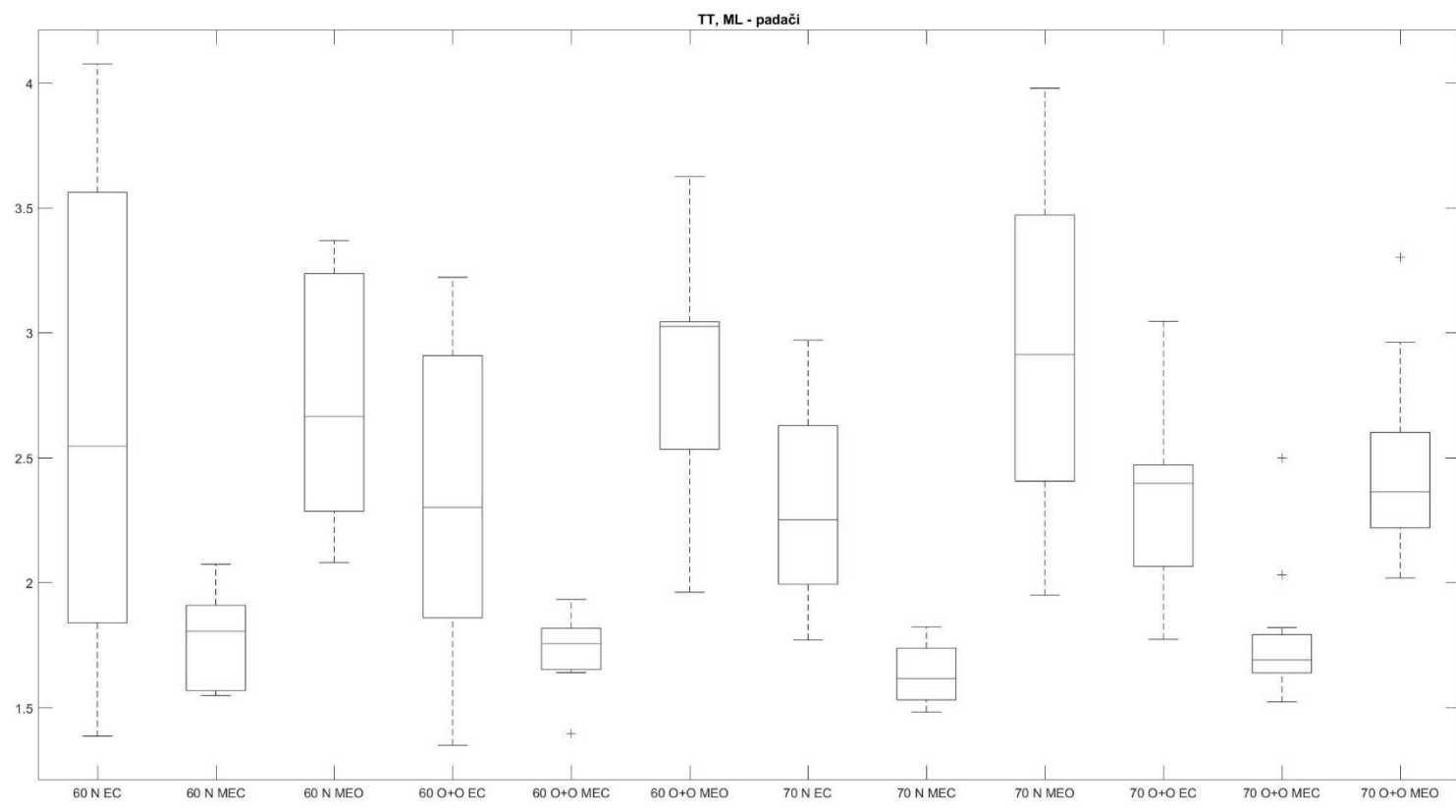
PŘÍLOHA 77



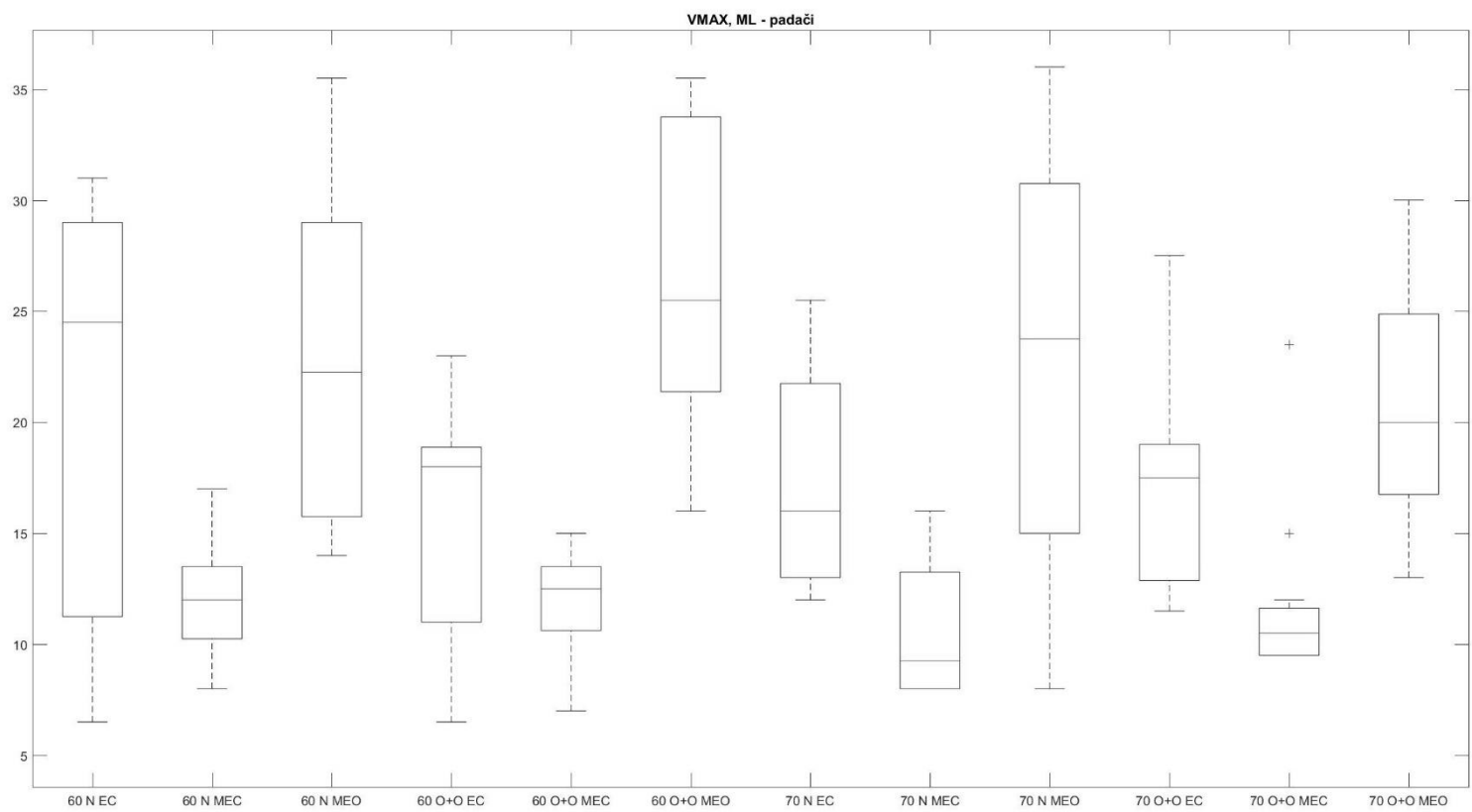
PŘÍLOHA 78



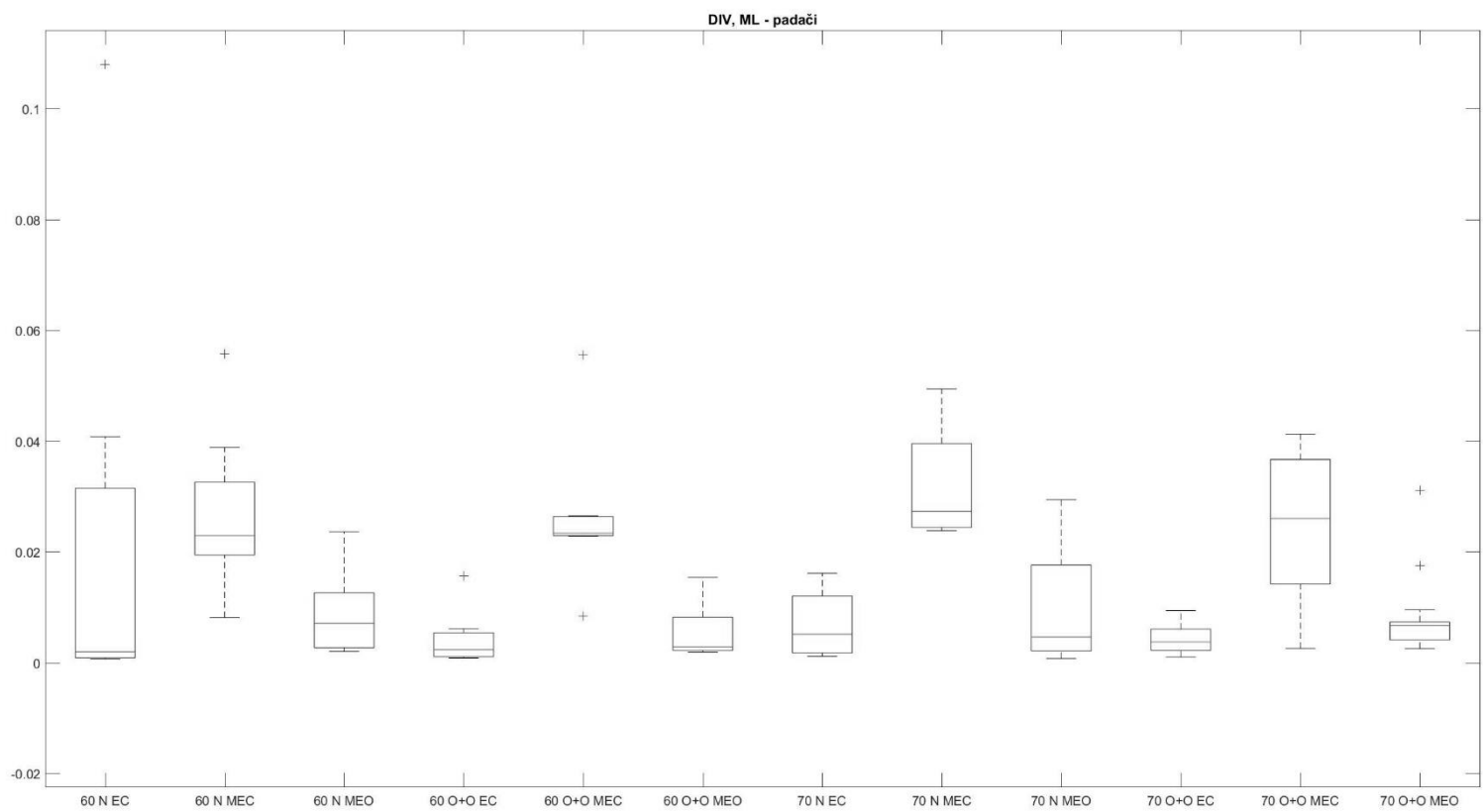
PŘÍLOHA 79



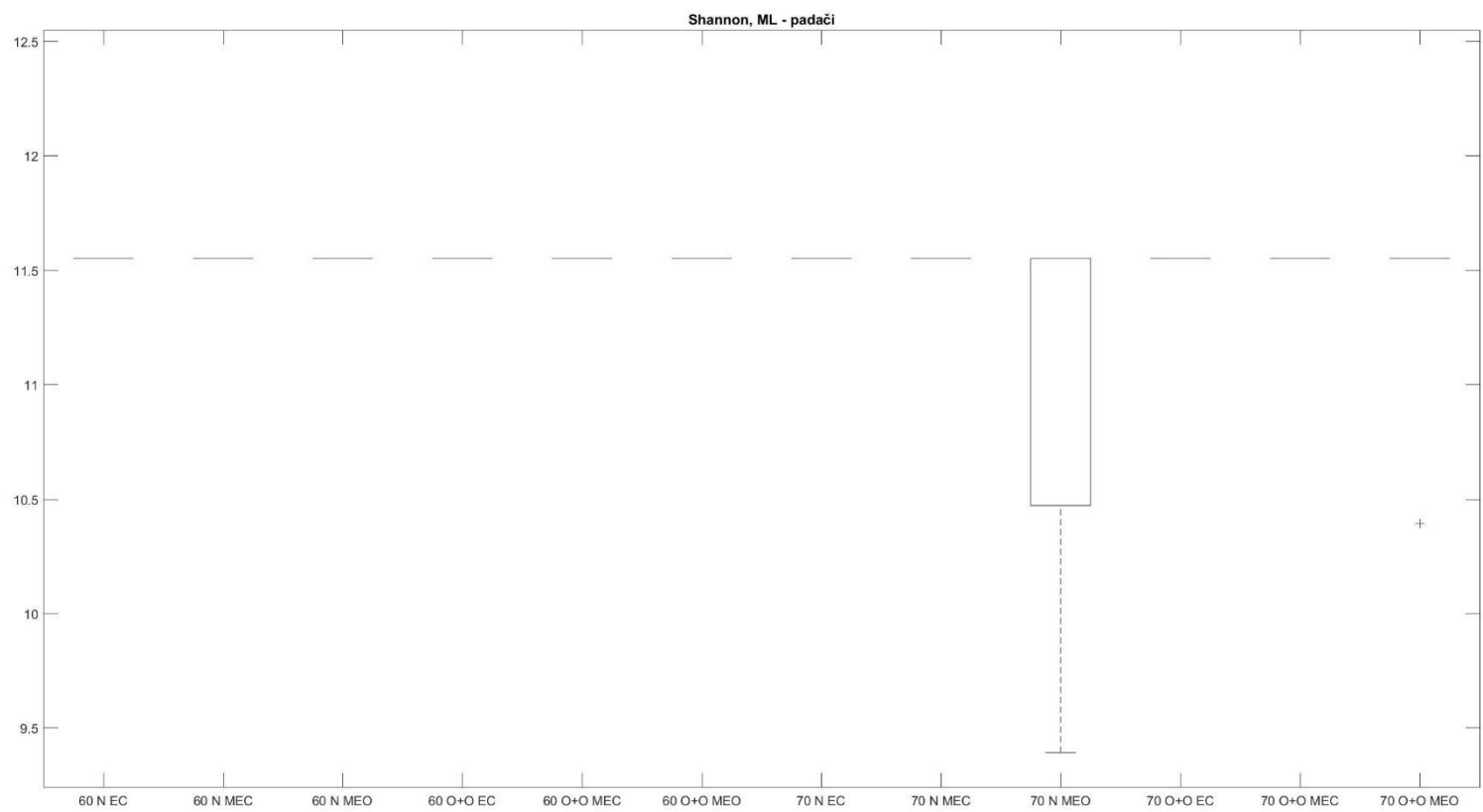
PŘÍLOHA 80



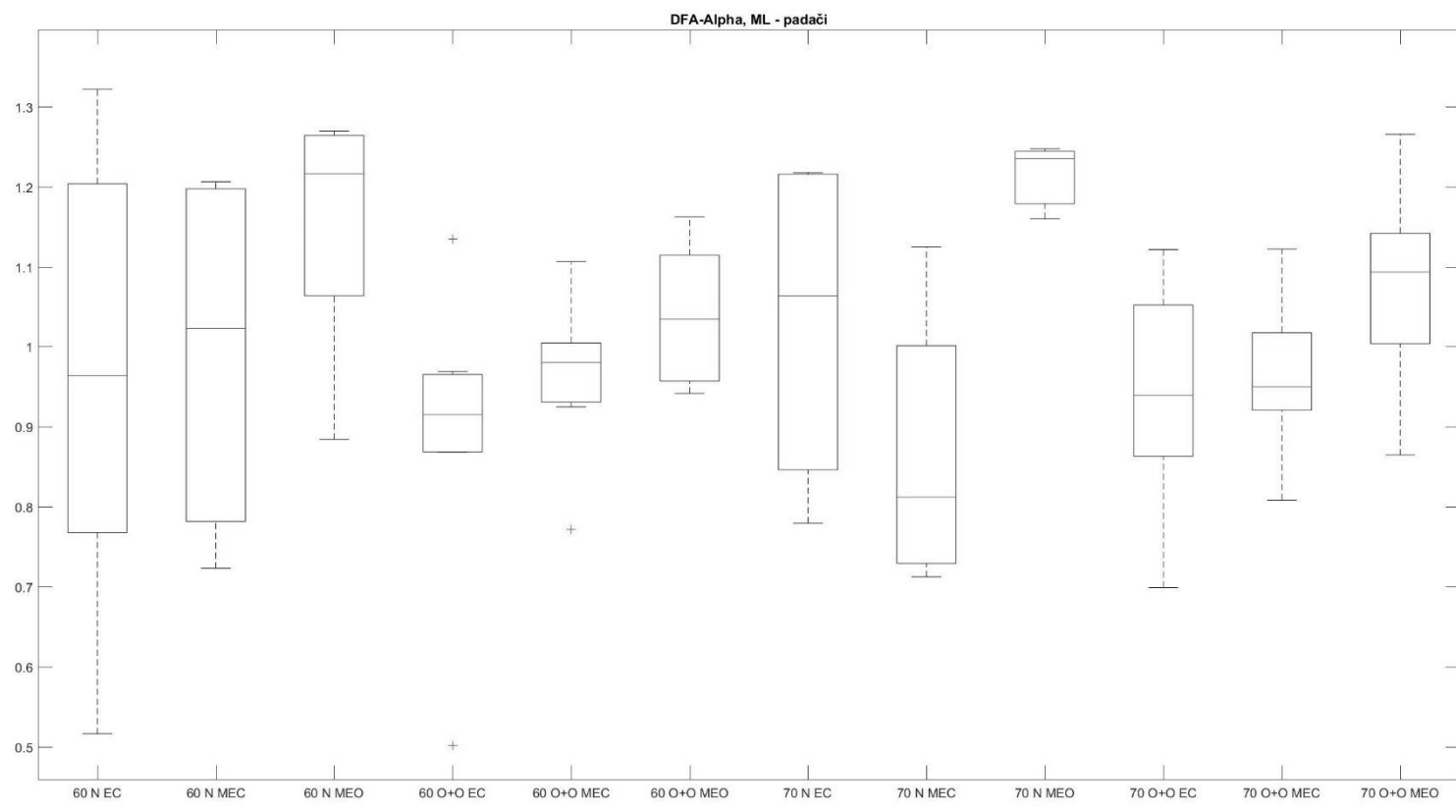
PŘÍLOHA 81



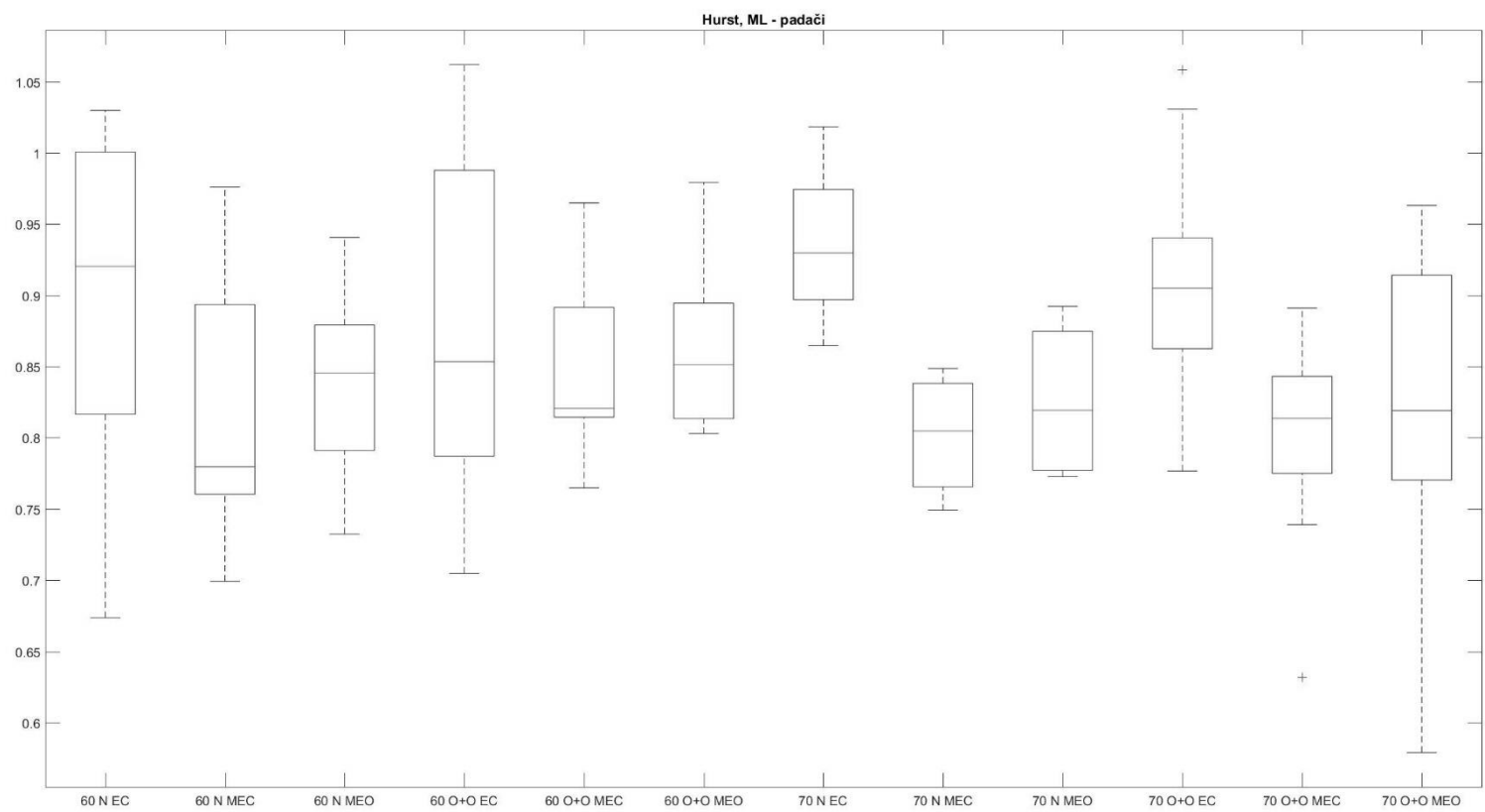
PŘÍLOHA 82



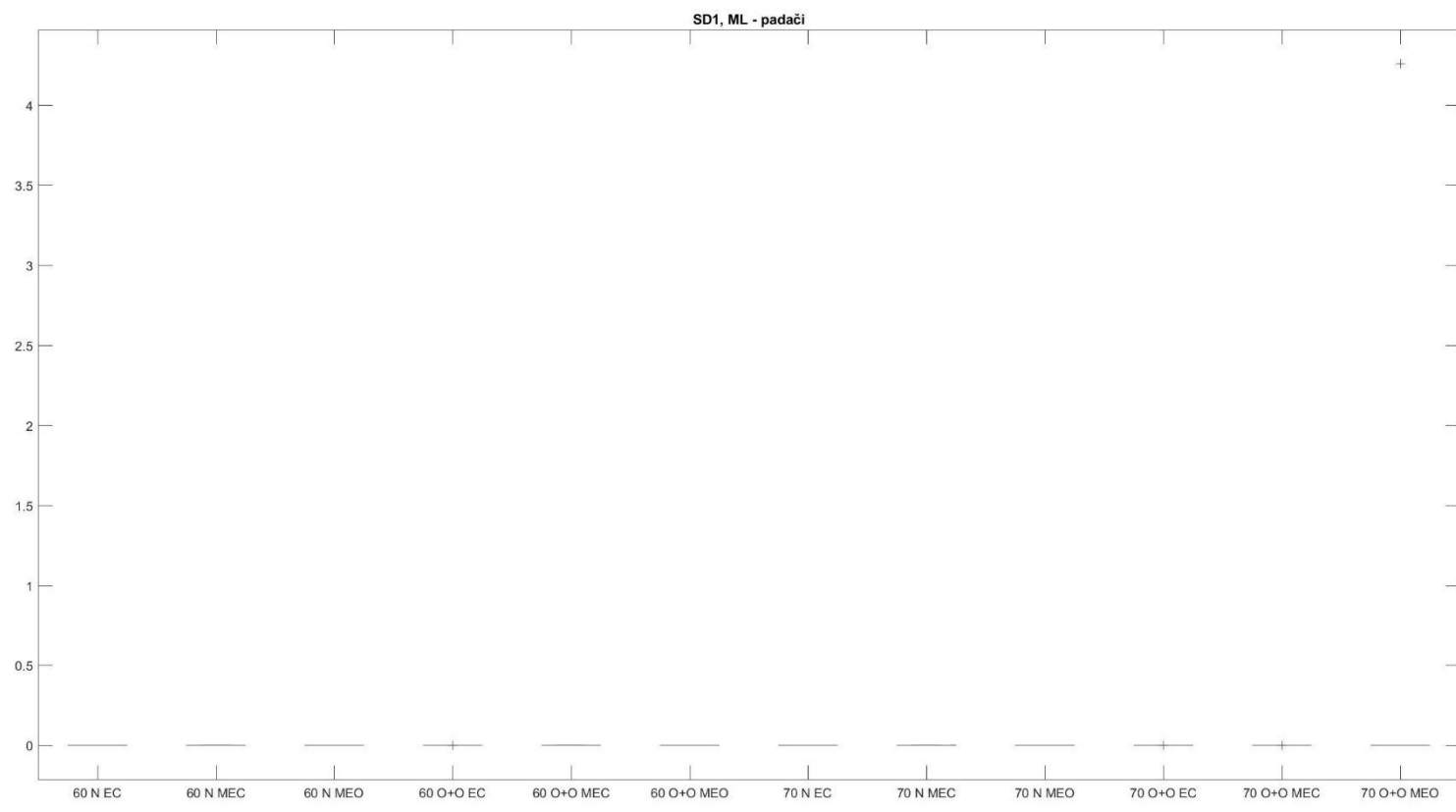
PŘÍLOHA 83



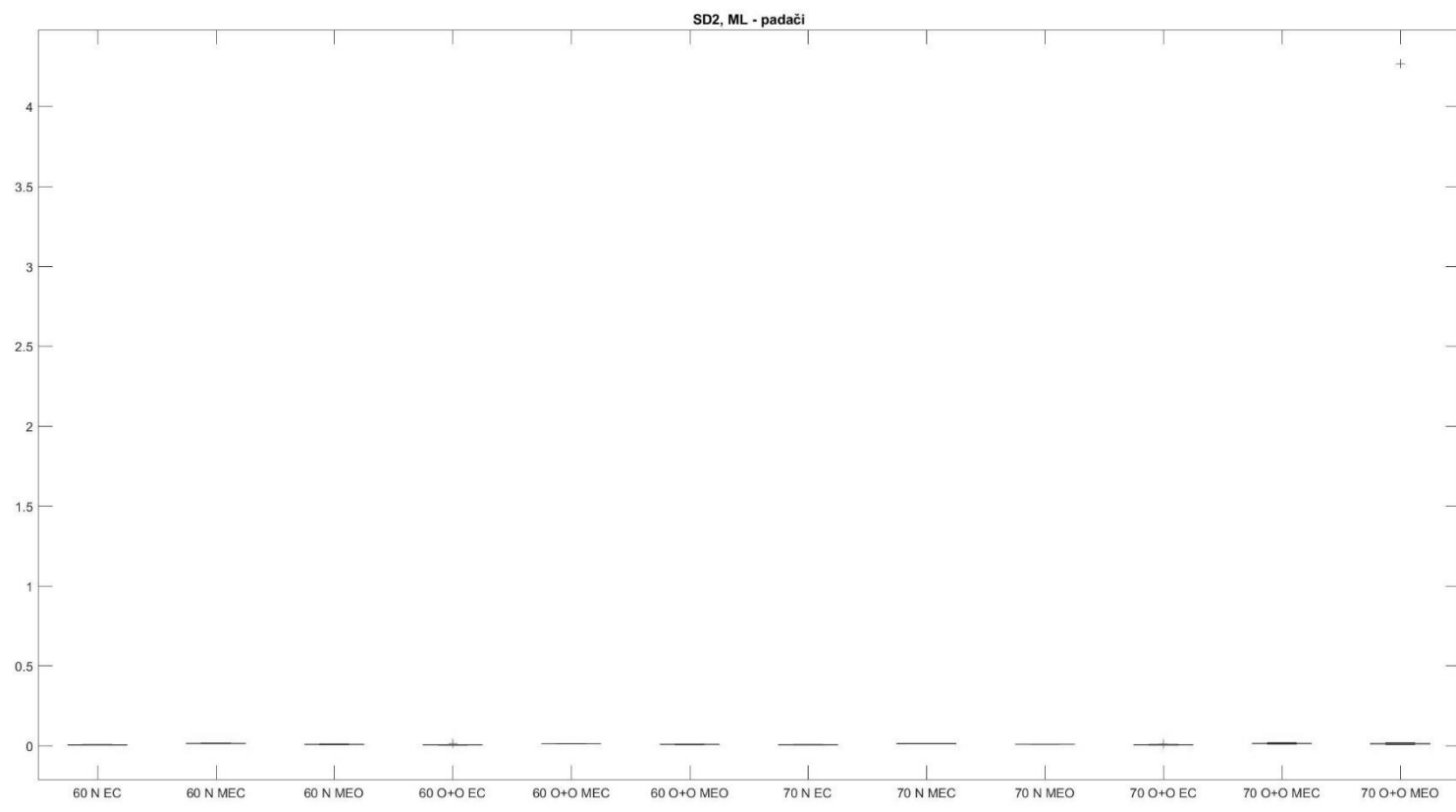
PŘÍLOHA 84



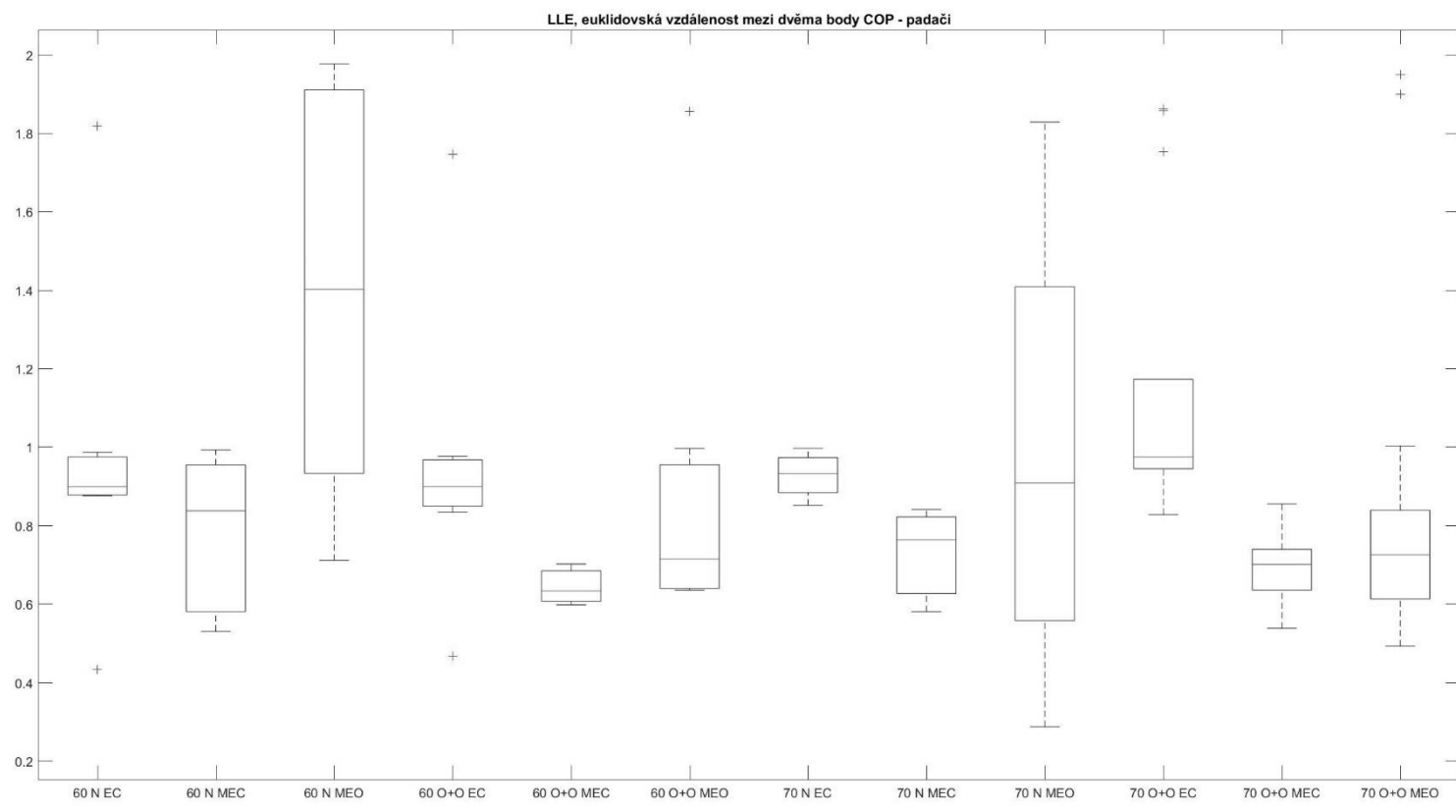
PŘÍLOHA 85



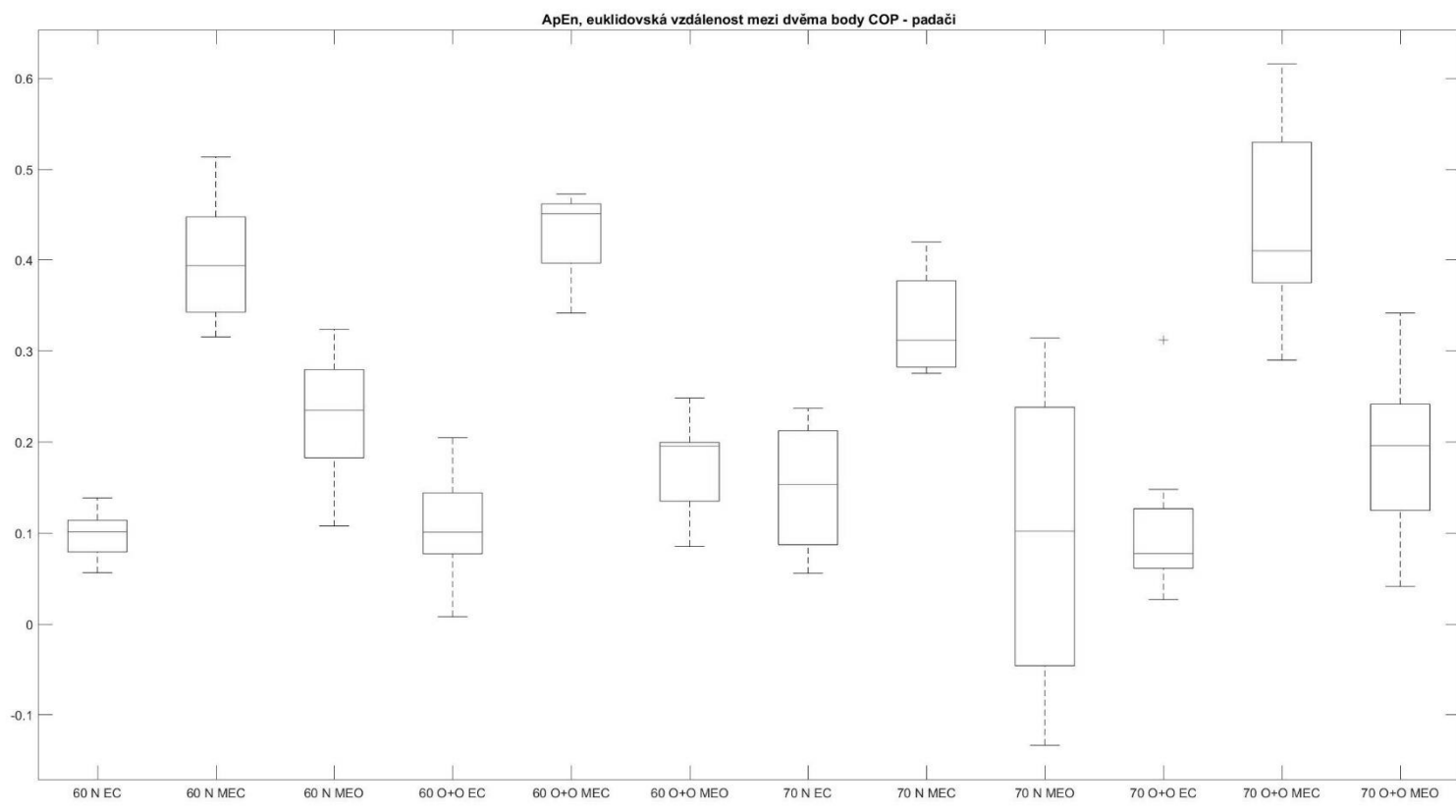
PŘÍLOHA 86



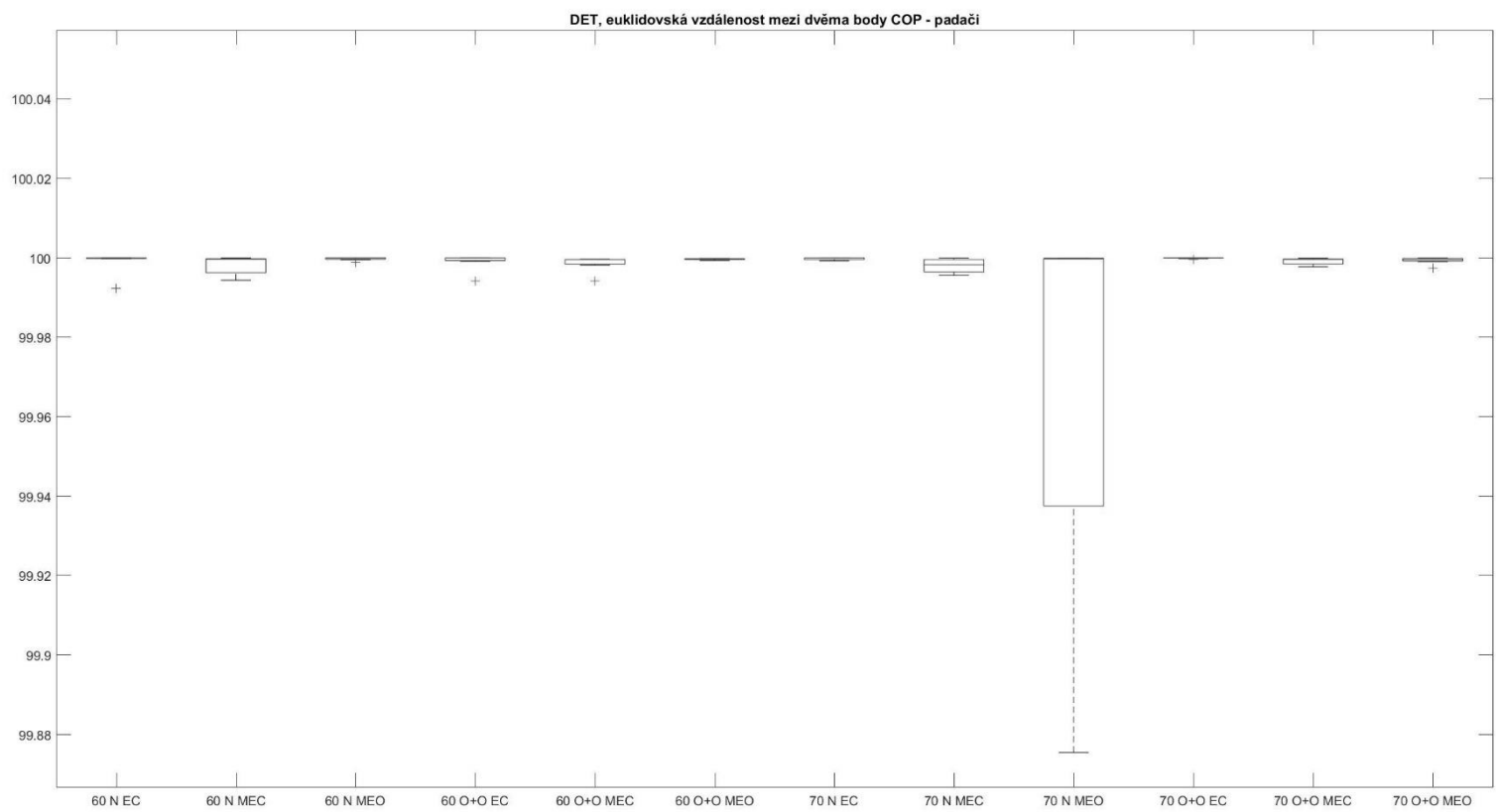
PŘÍLOHA 87



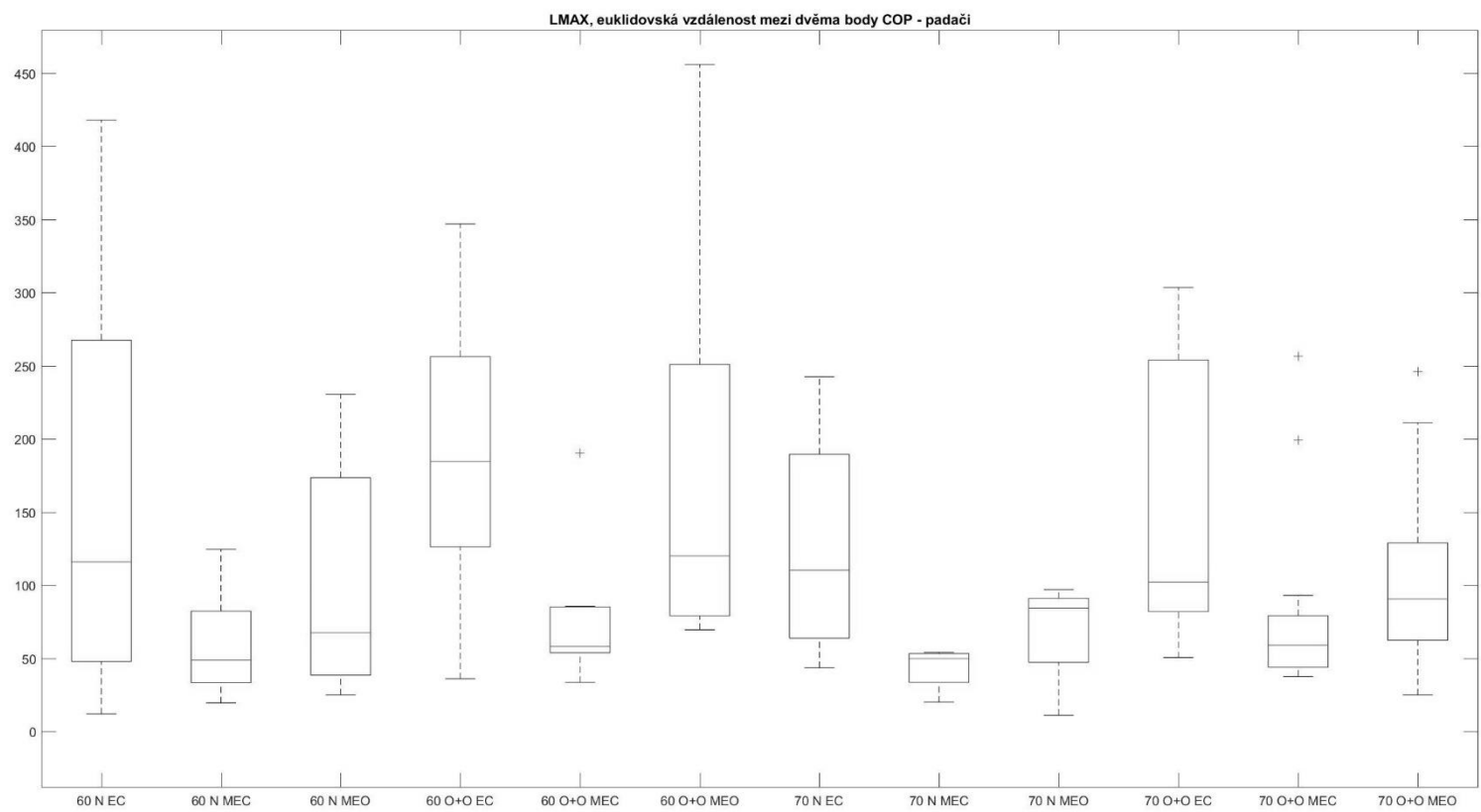
PŘÍLOHA 88



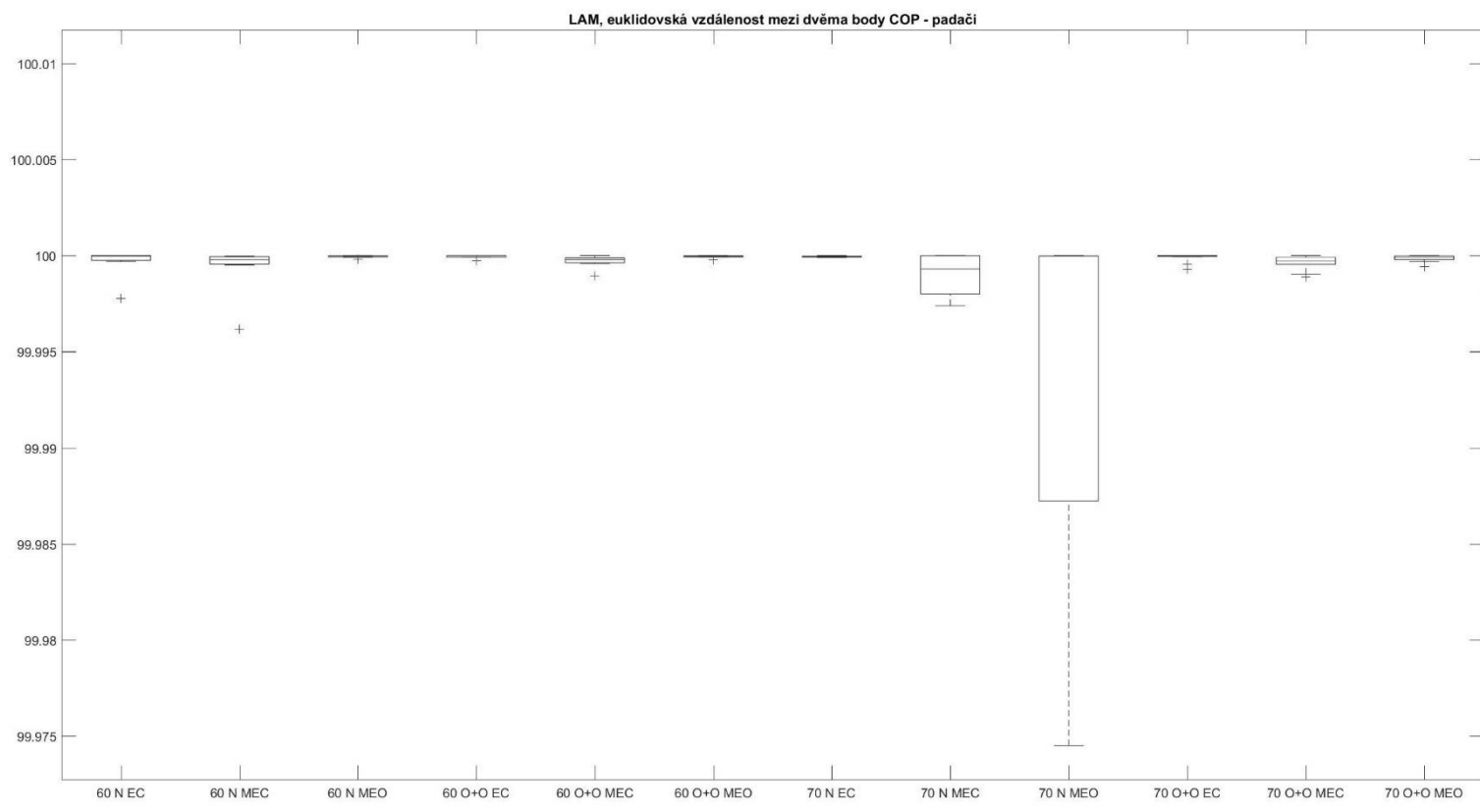
PŘÍLOHA 89



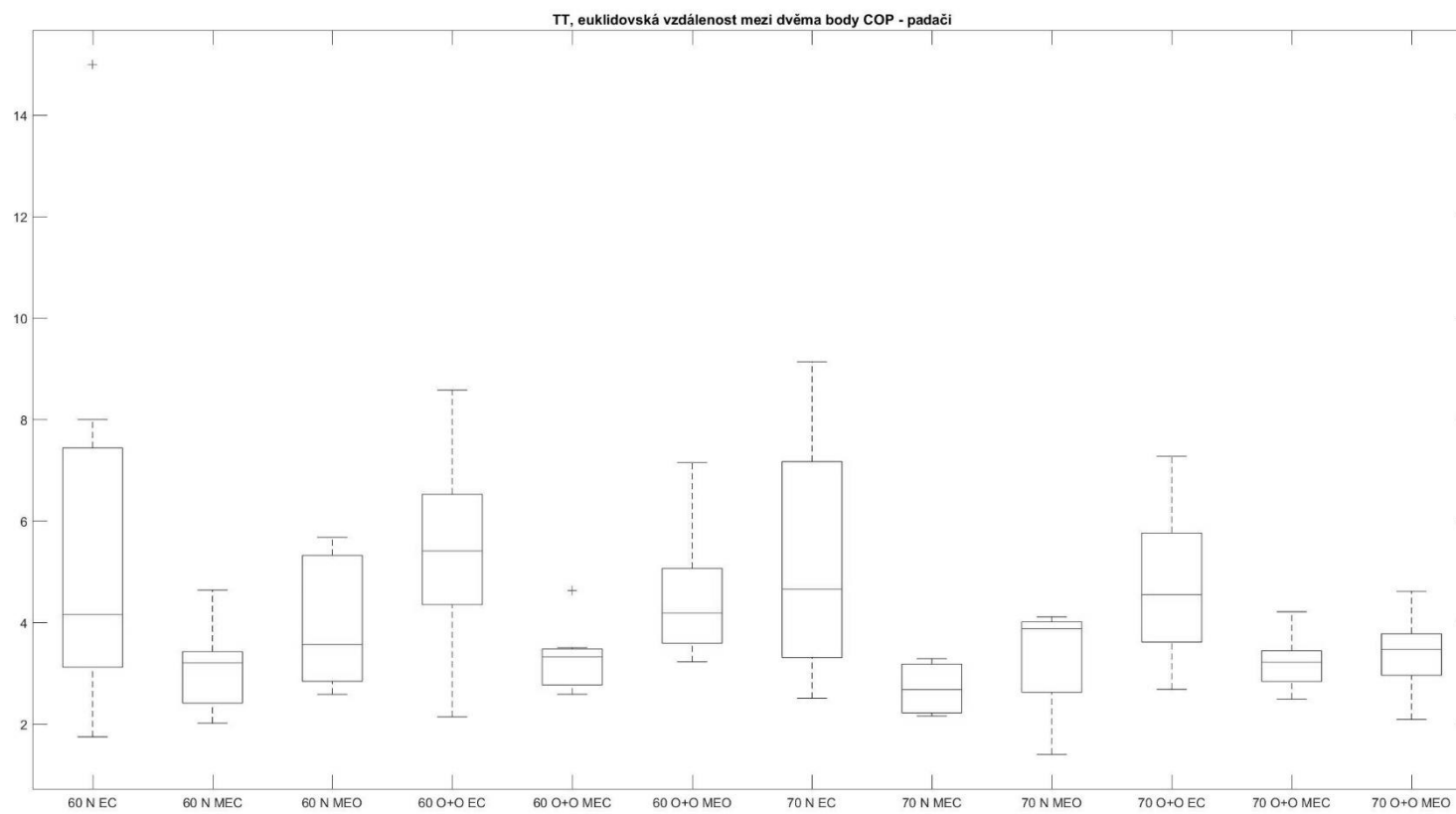
PŘÍLOHA 90



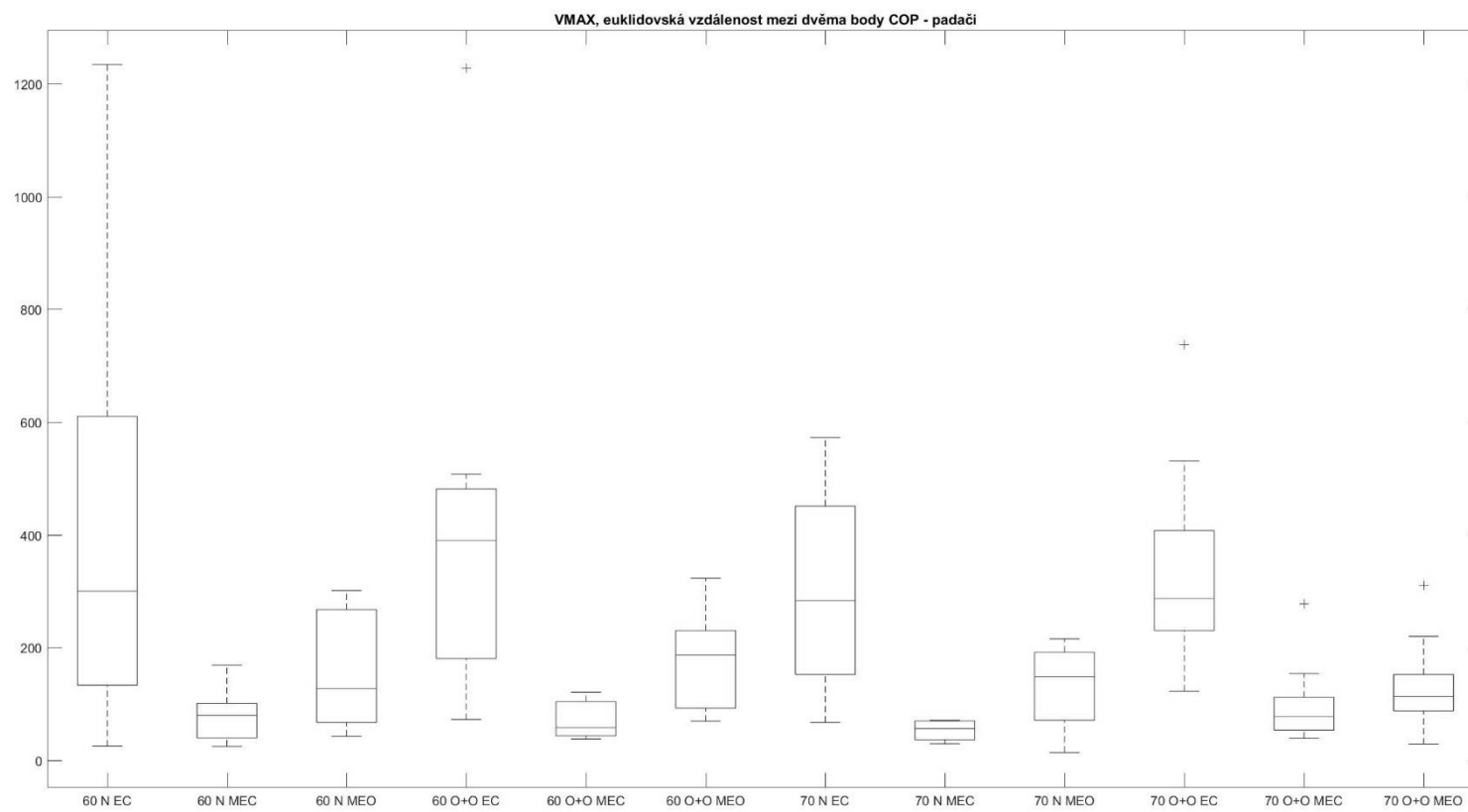
PŘÍLOHA 91



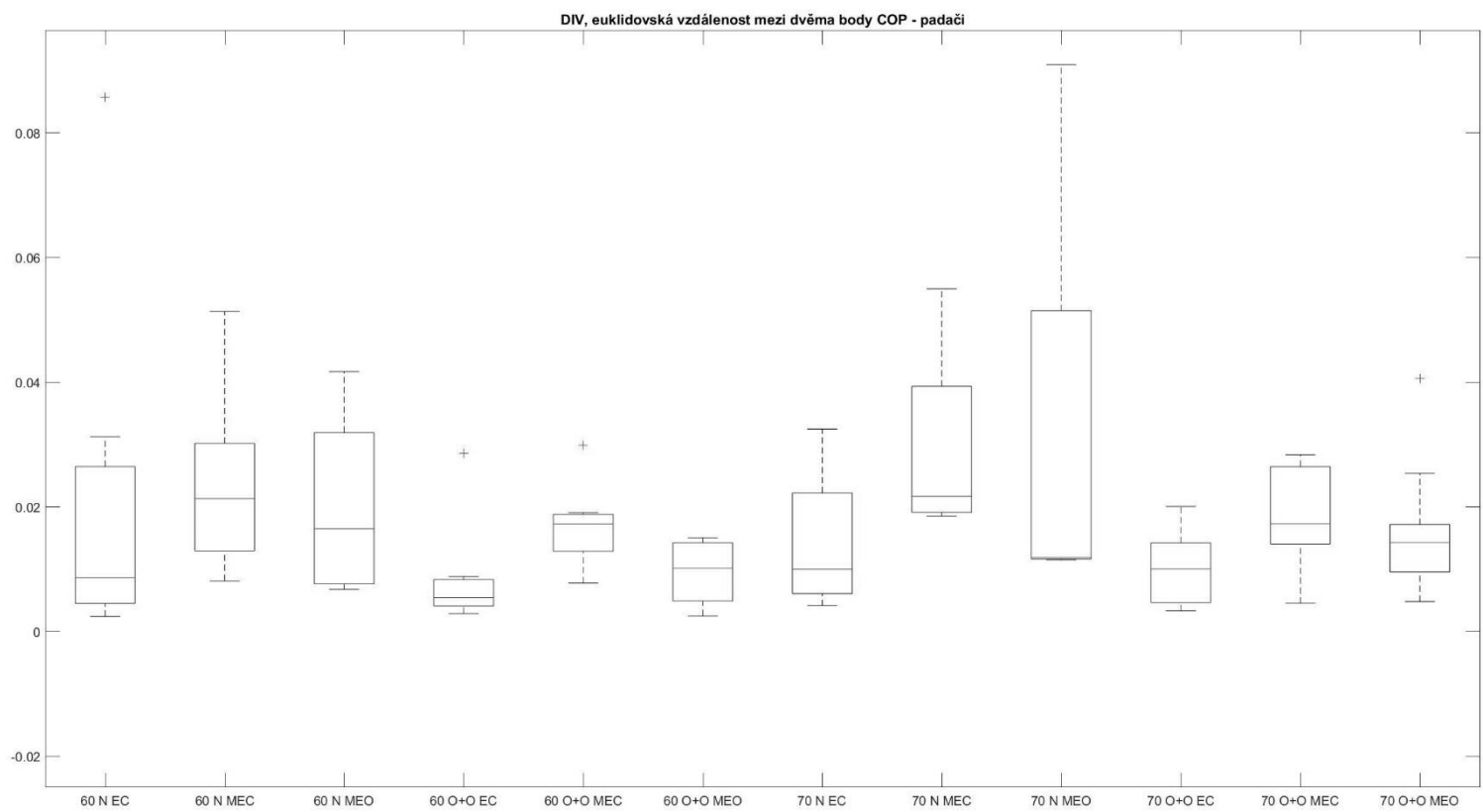
PŘÍLOHA 92

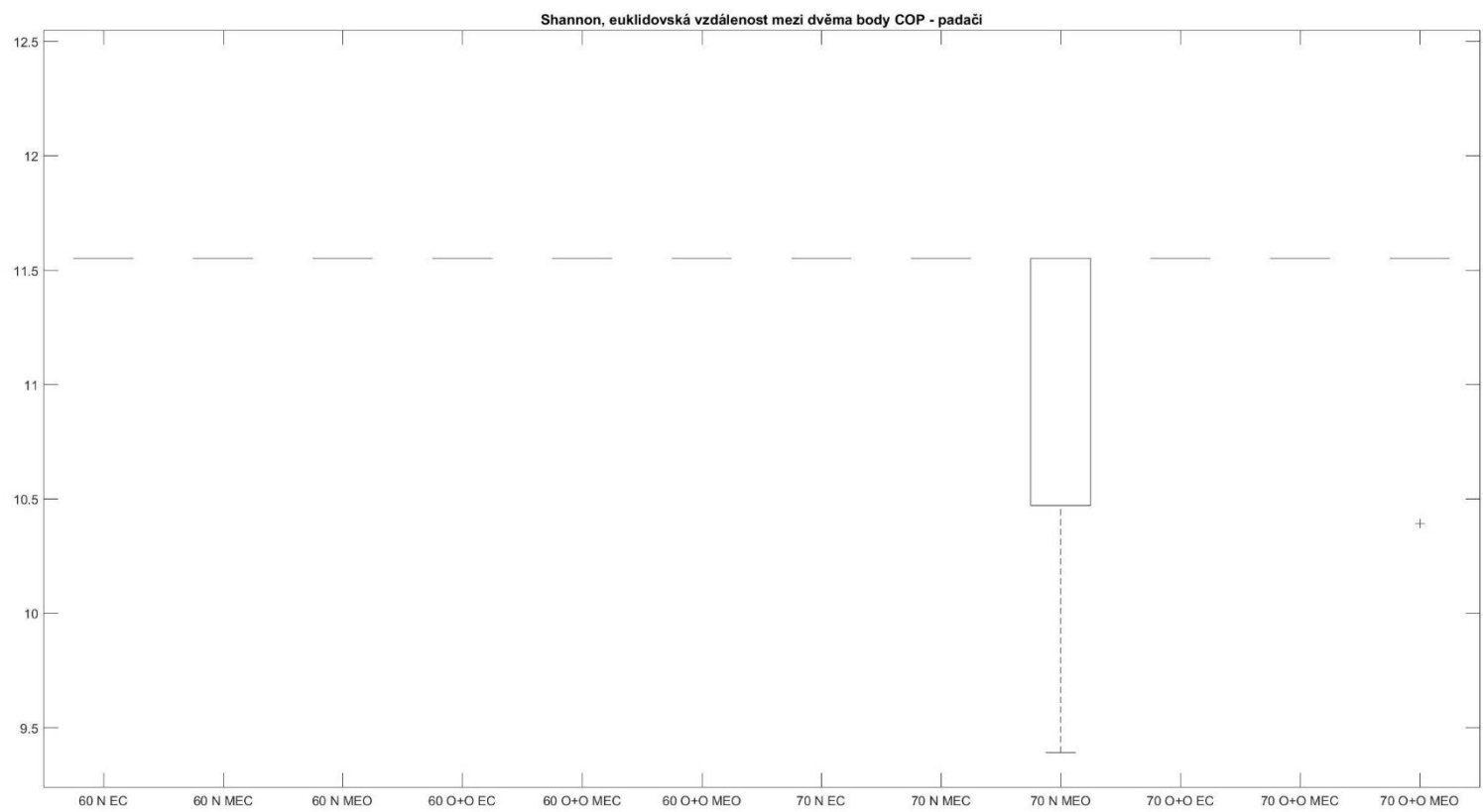


PŘÍLOHA 93

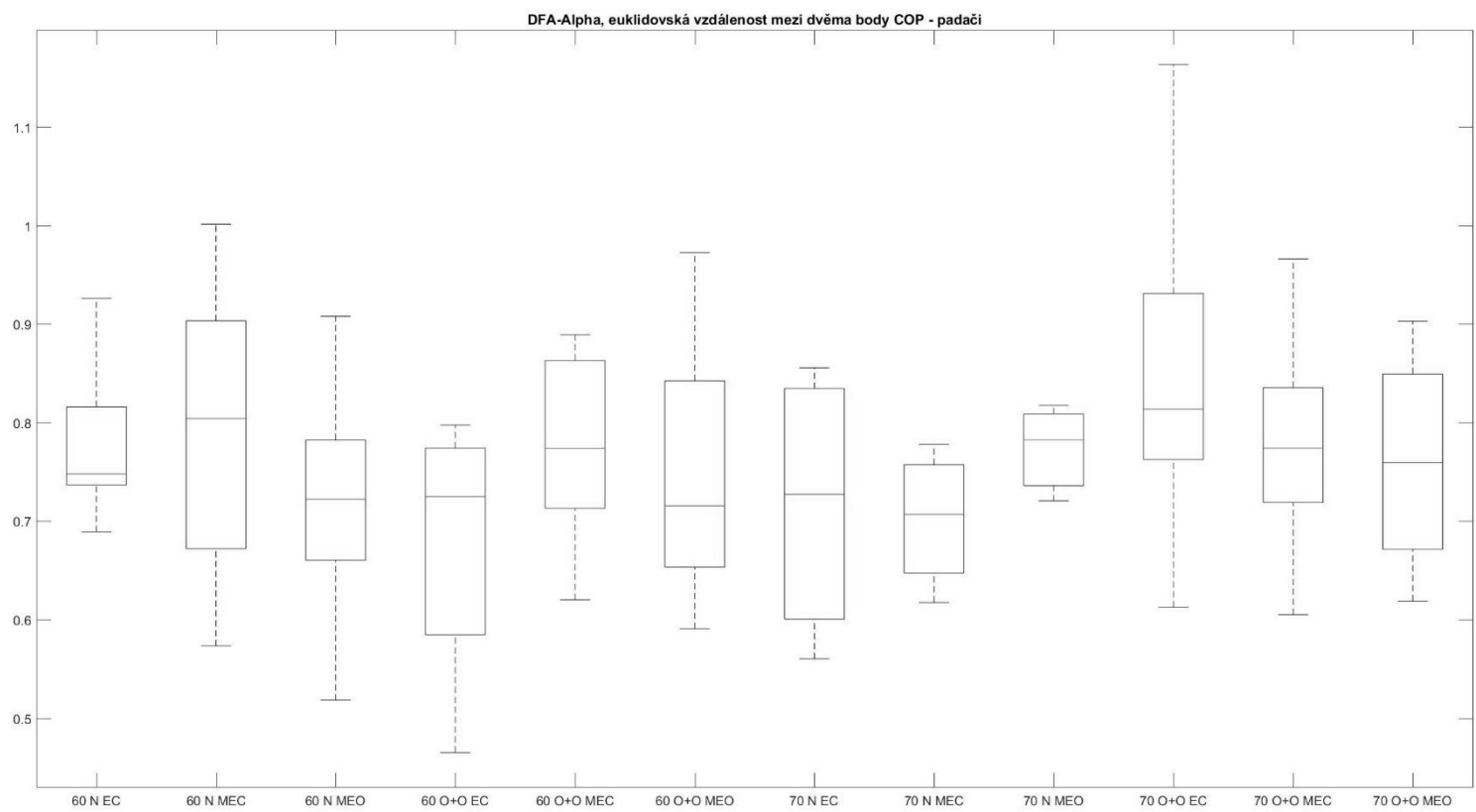


PŘÍLOHA 94

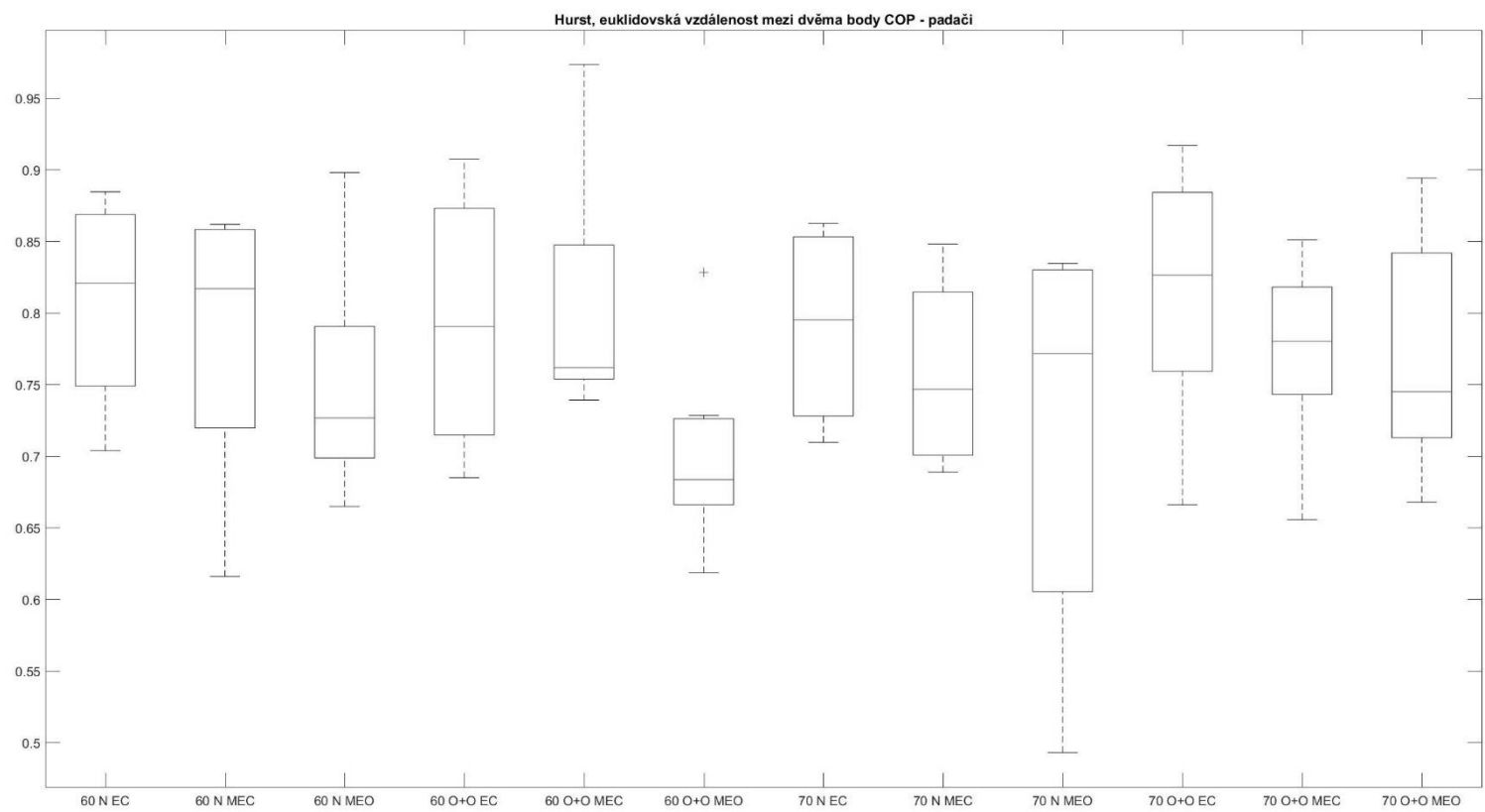




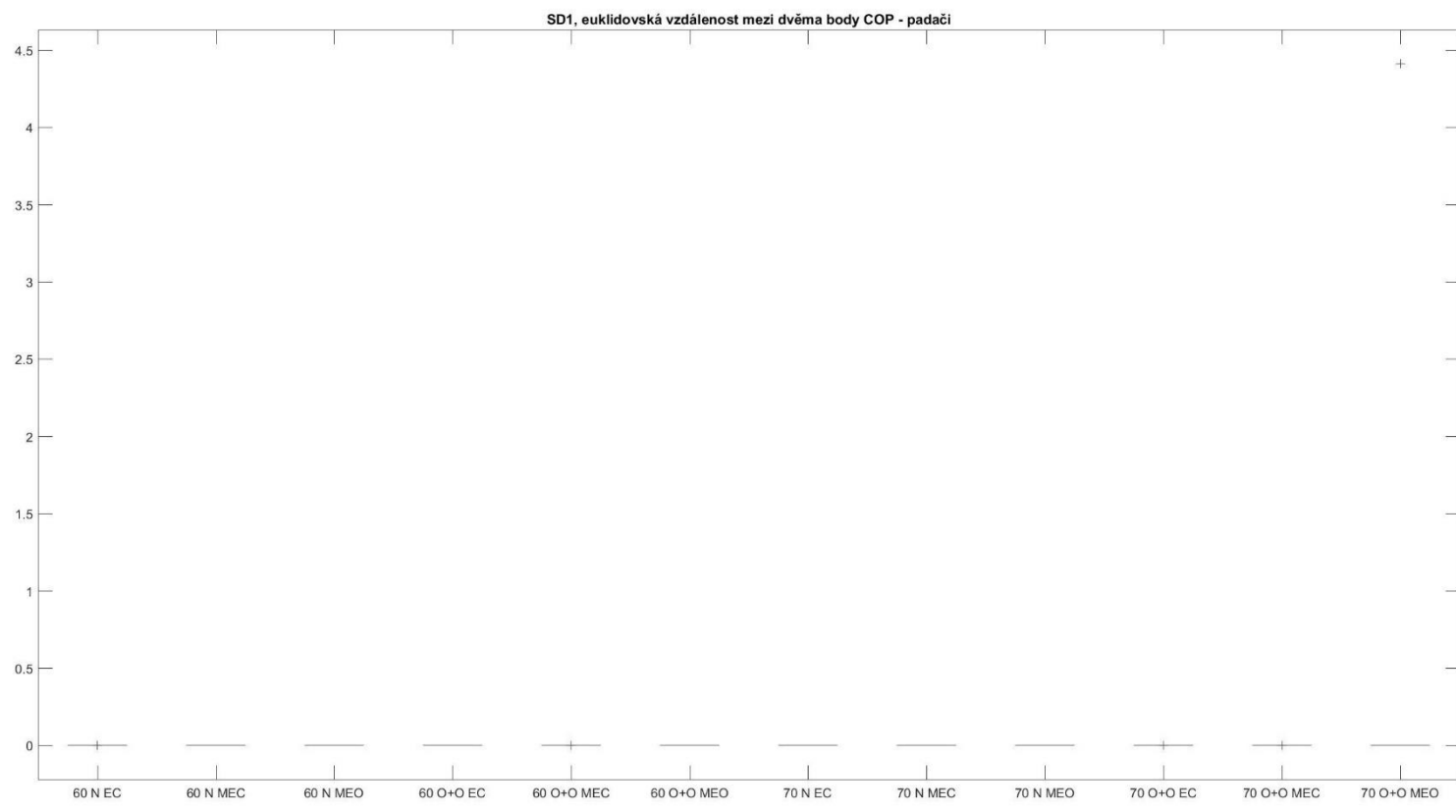
PŘÍLOHA 95



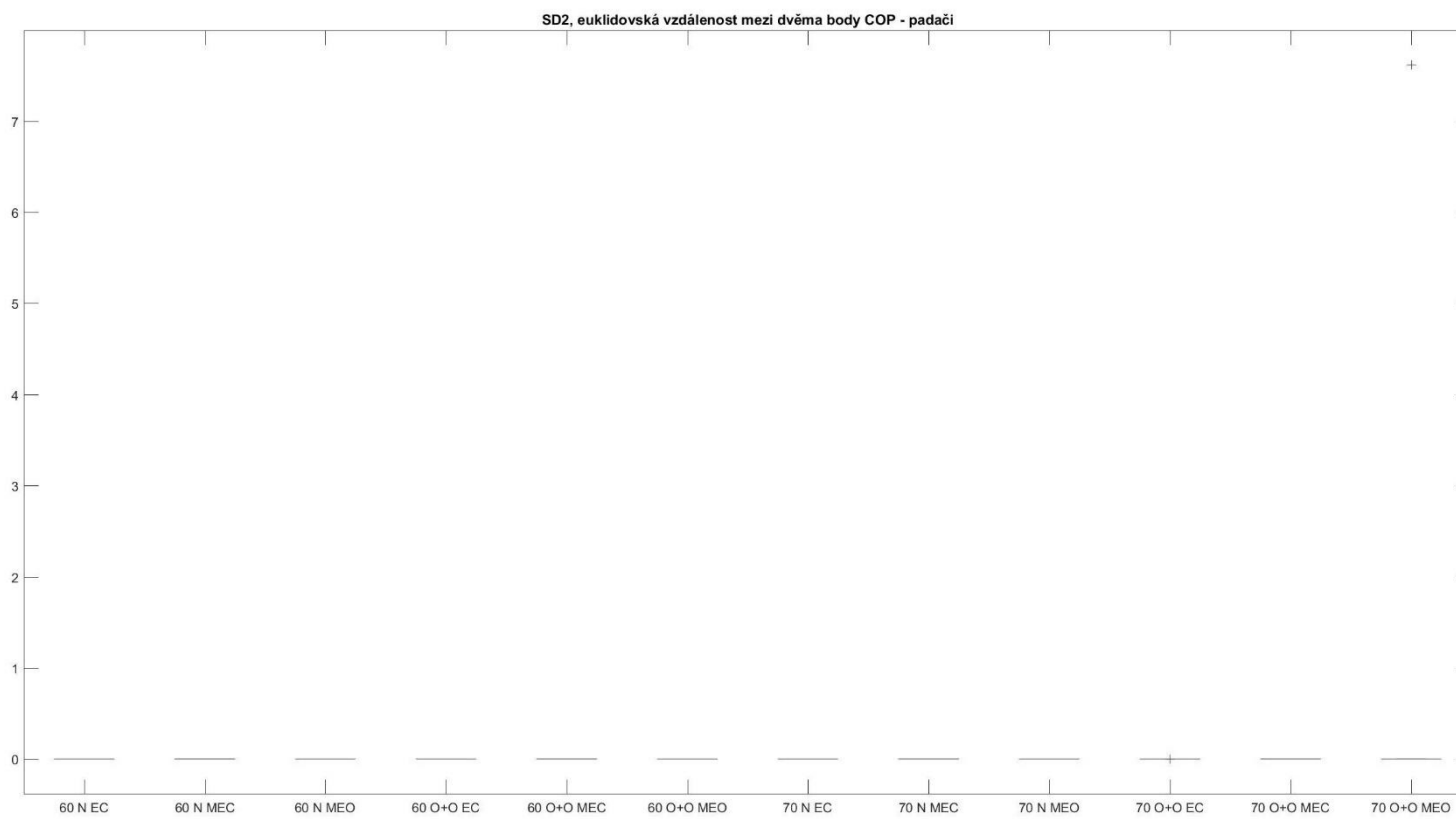
PŘÍLOHA 96



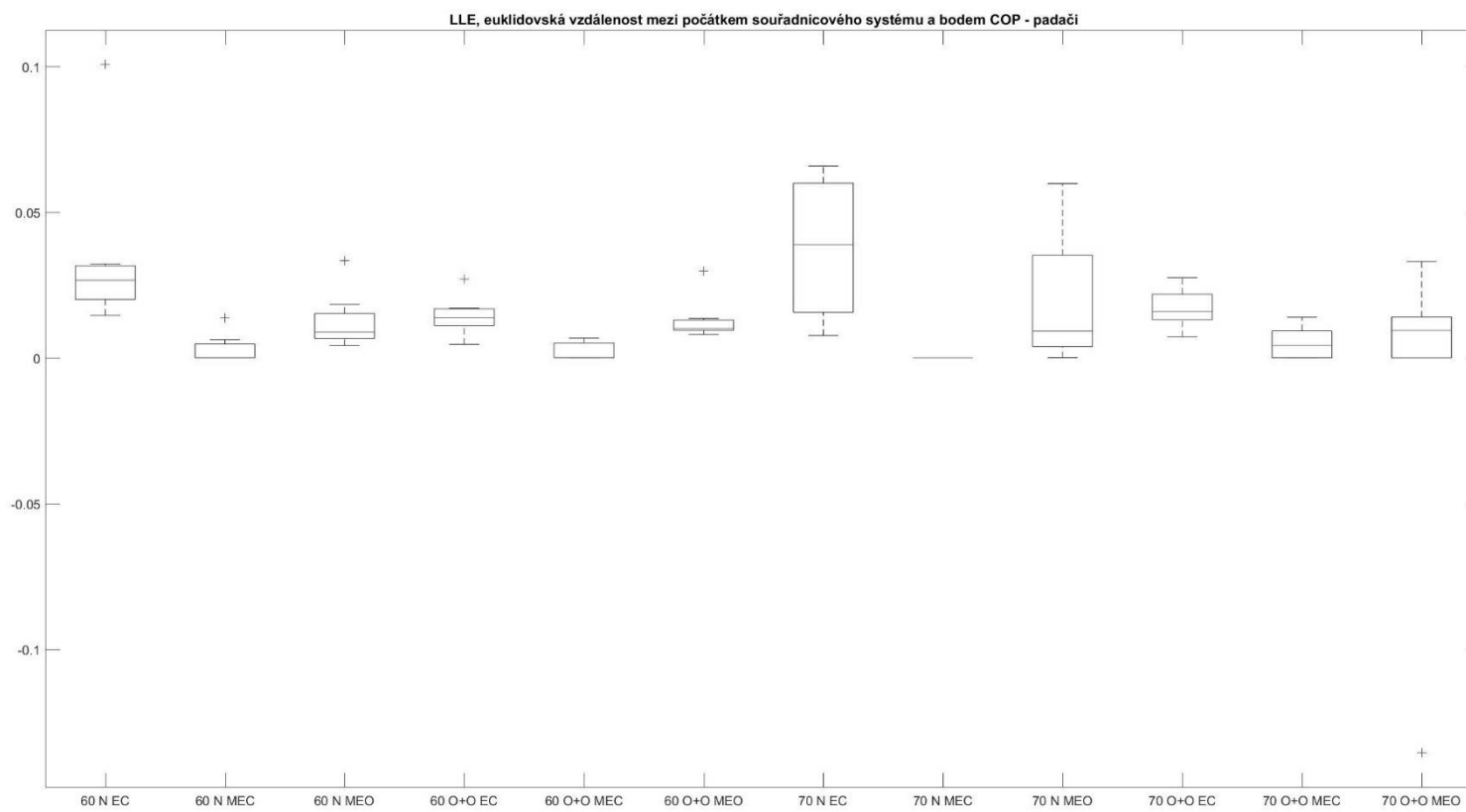
PŘÍLOHA 97



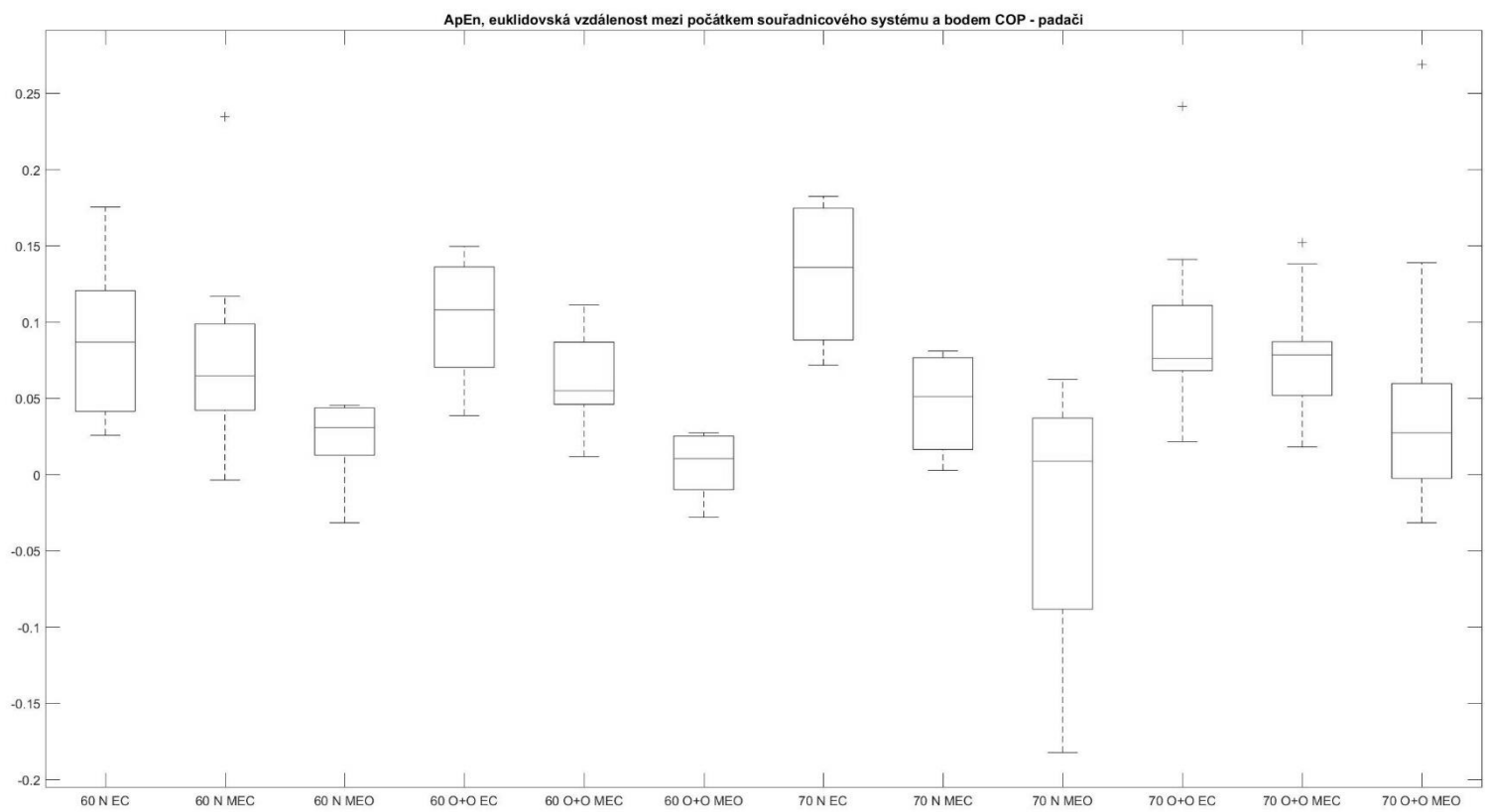
PŘÍLOHA 98



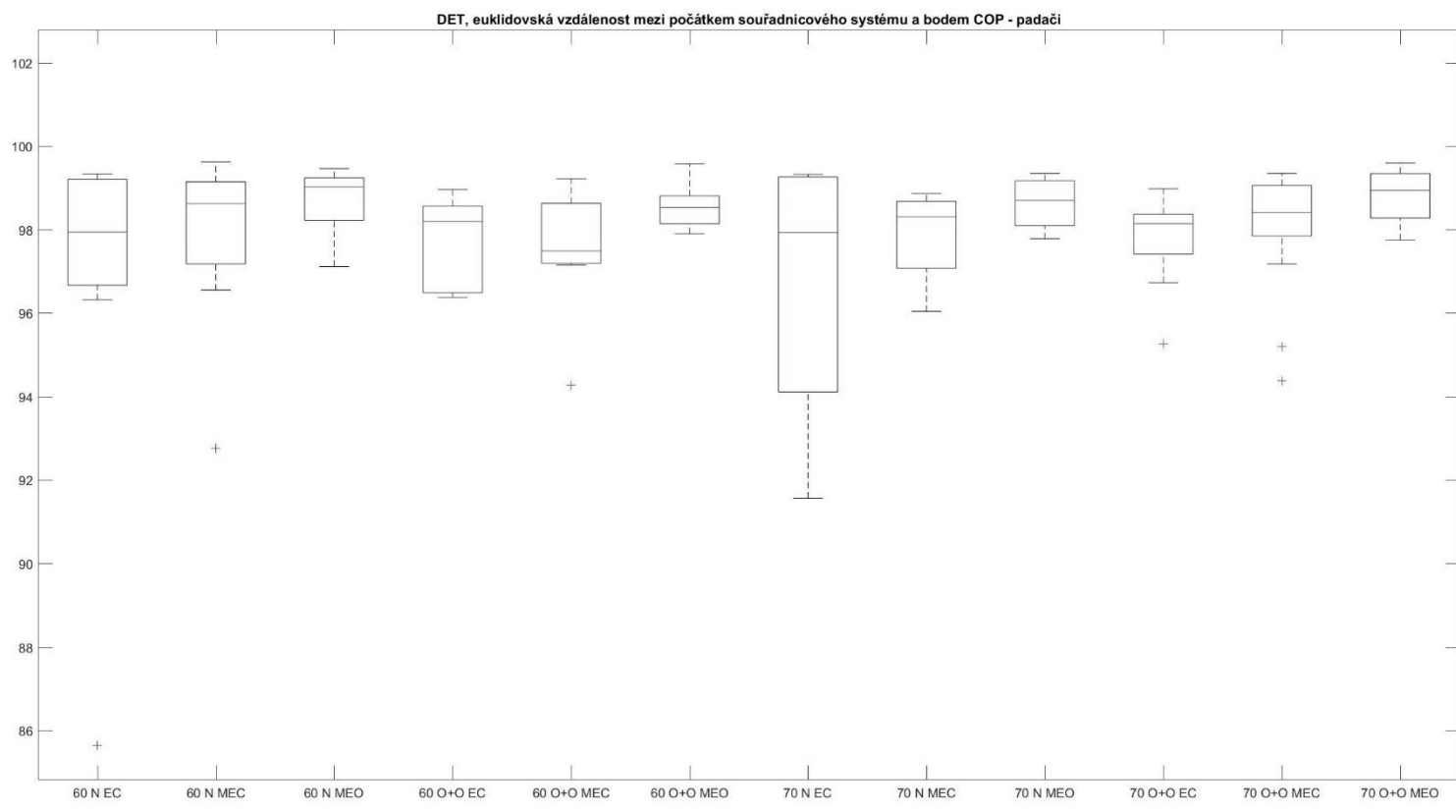
PŘÍLOHA 99



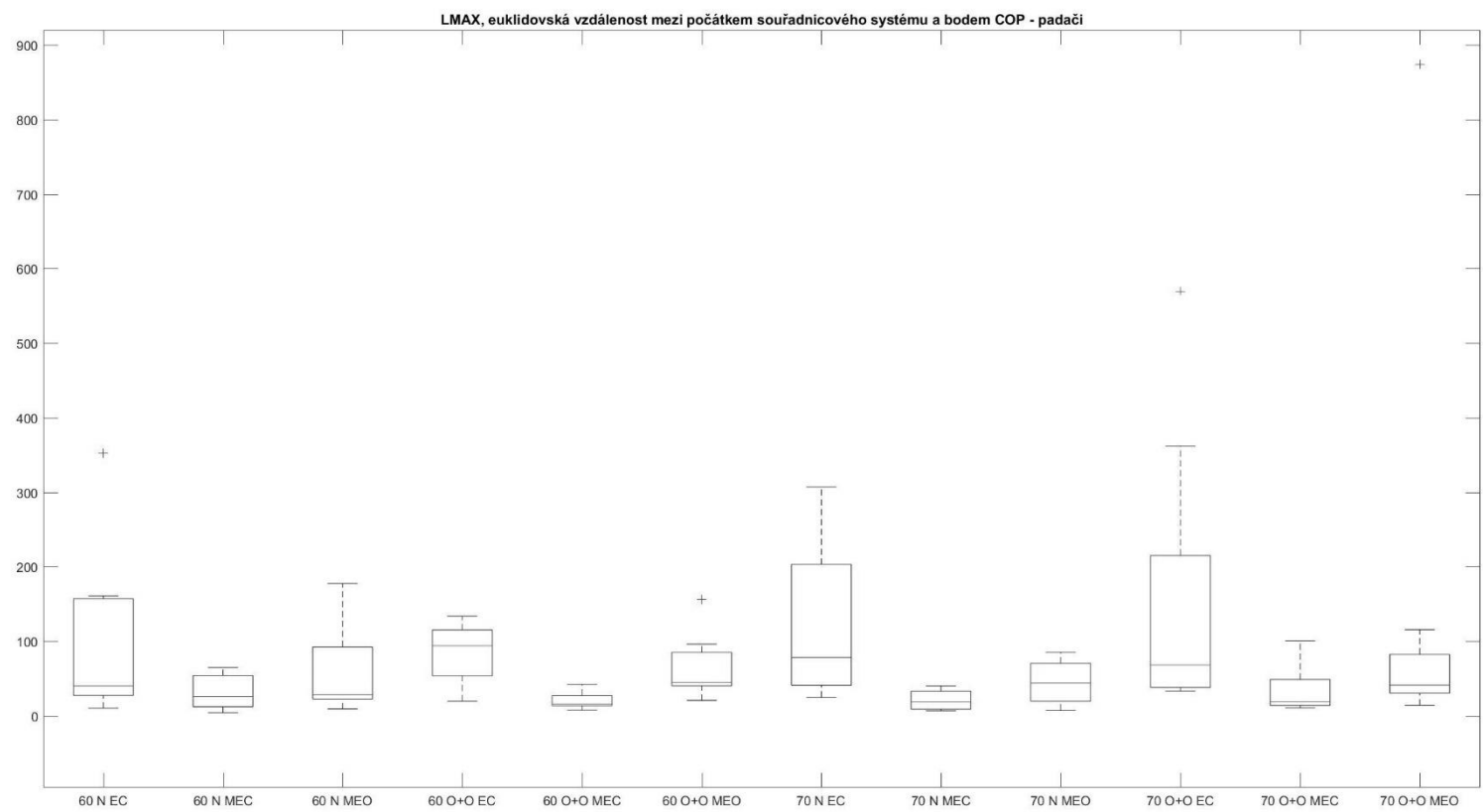
PŘÍLOHA 100



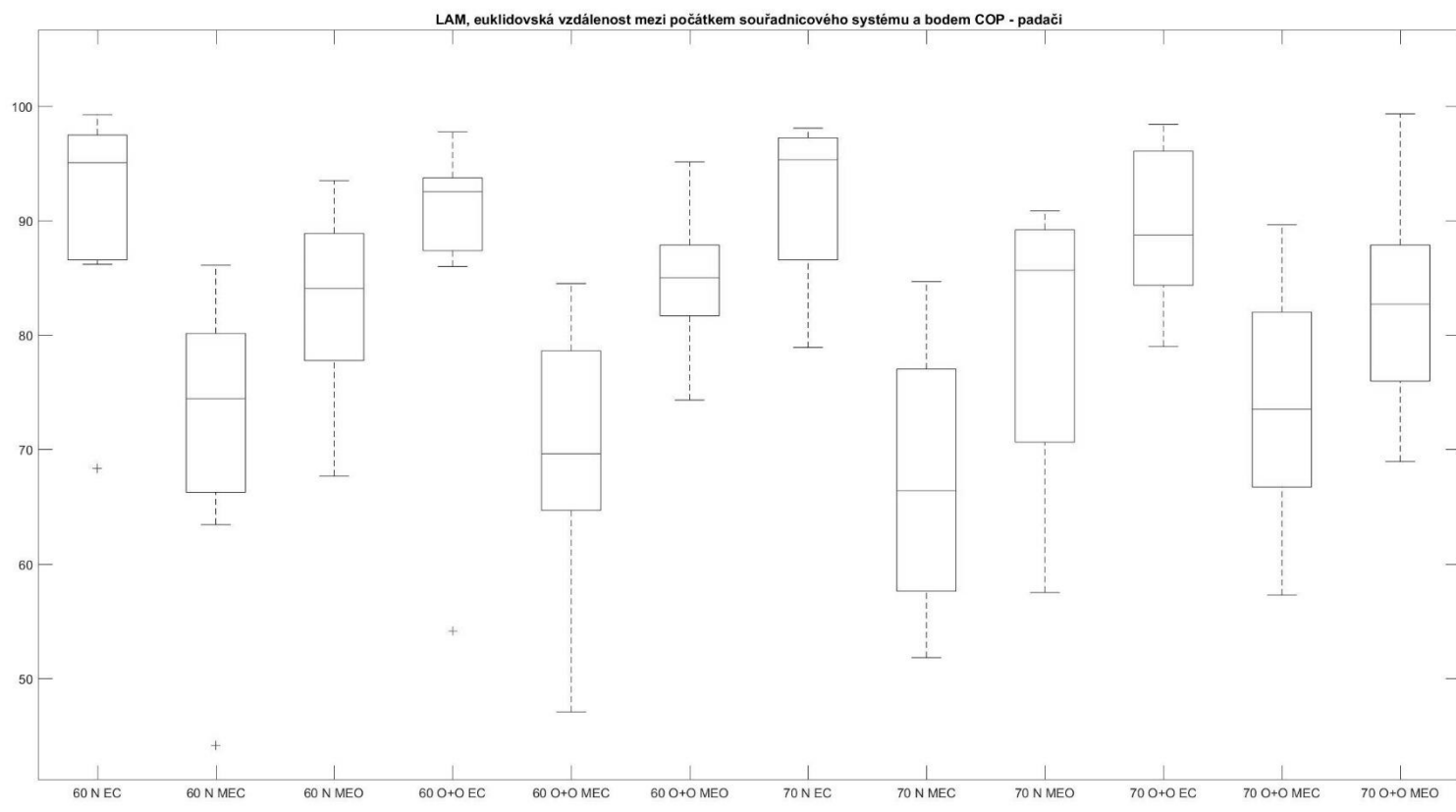
PŘÍLOHA 101



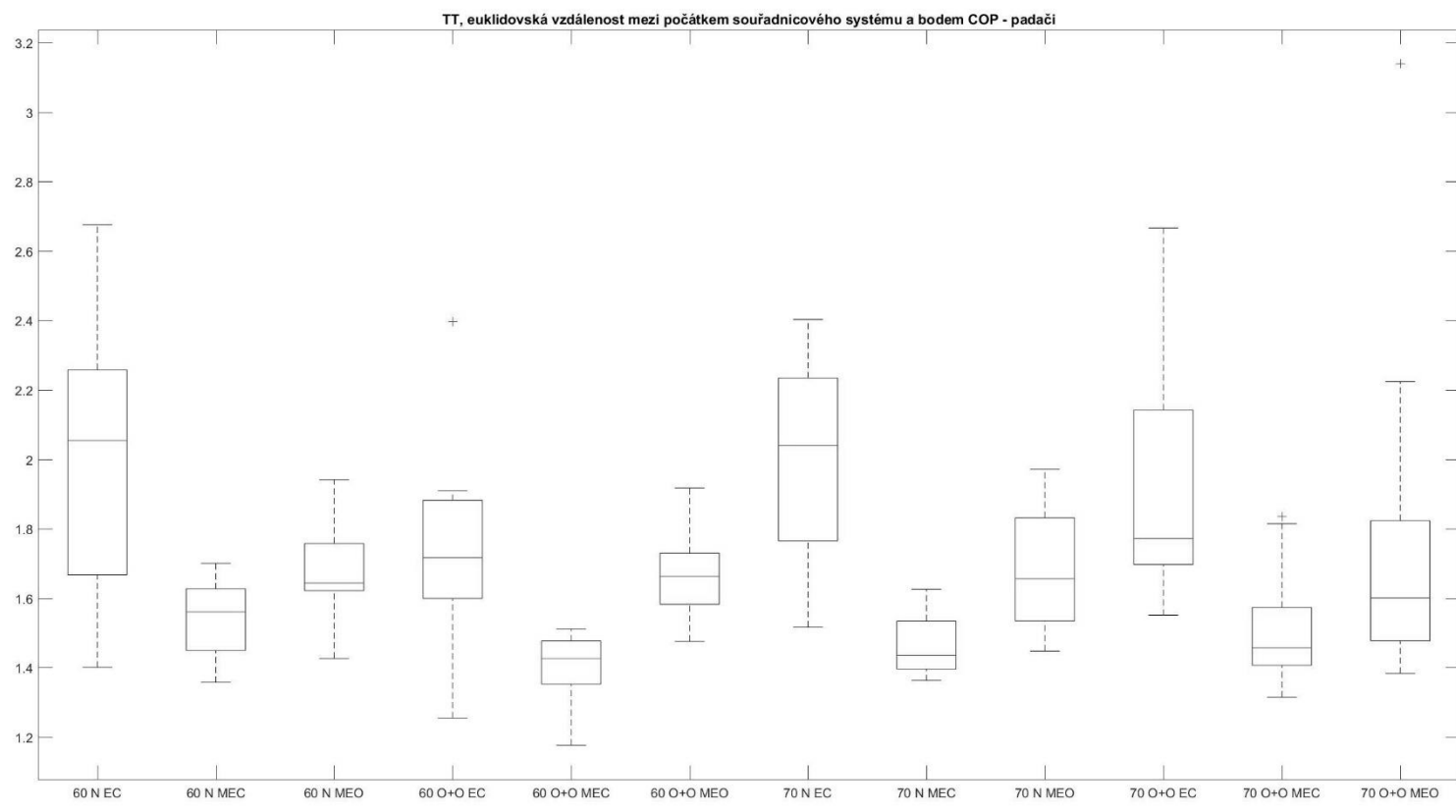
PŘÍLOHA 102



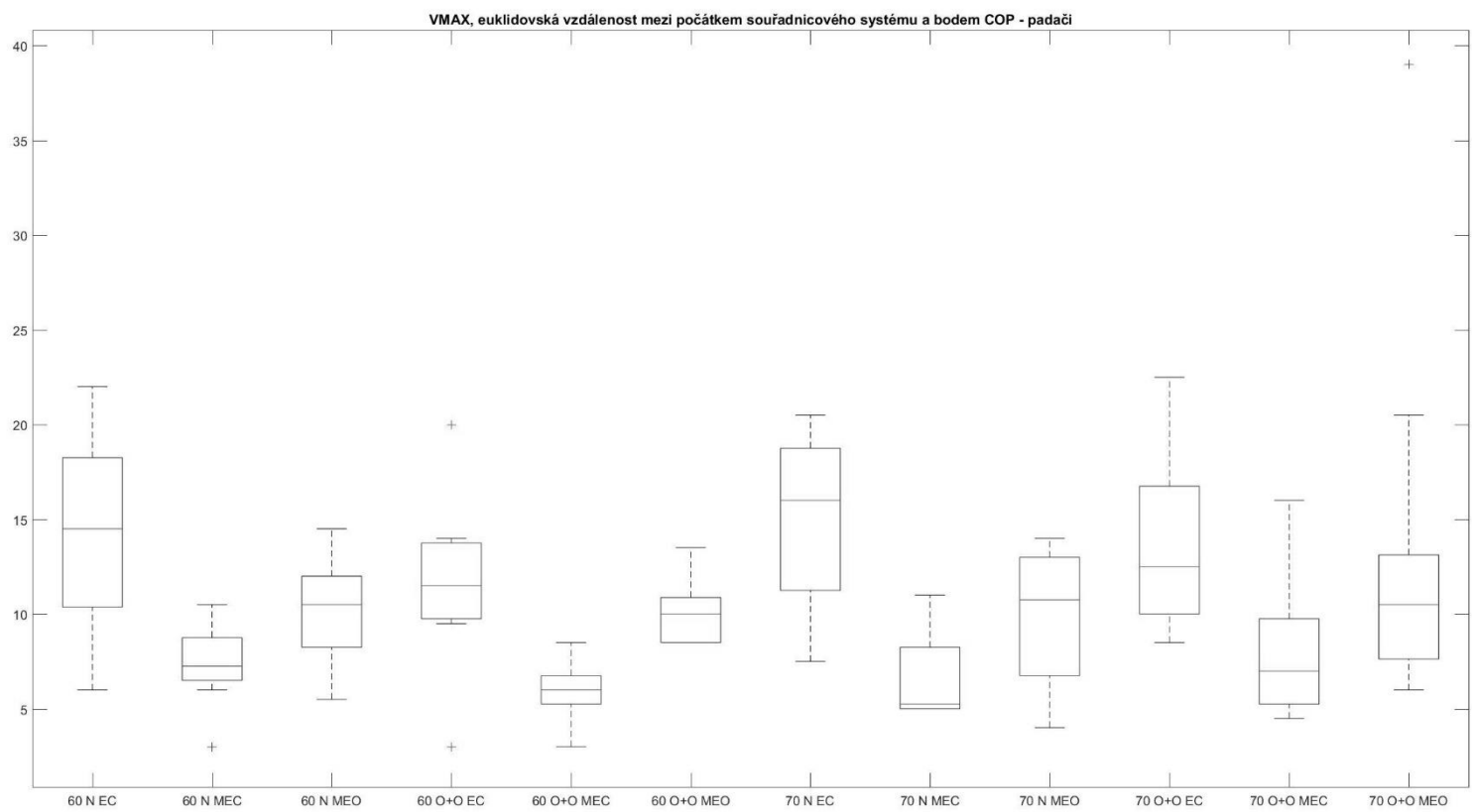
PŘÍLOHA 103



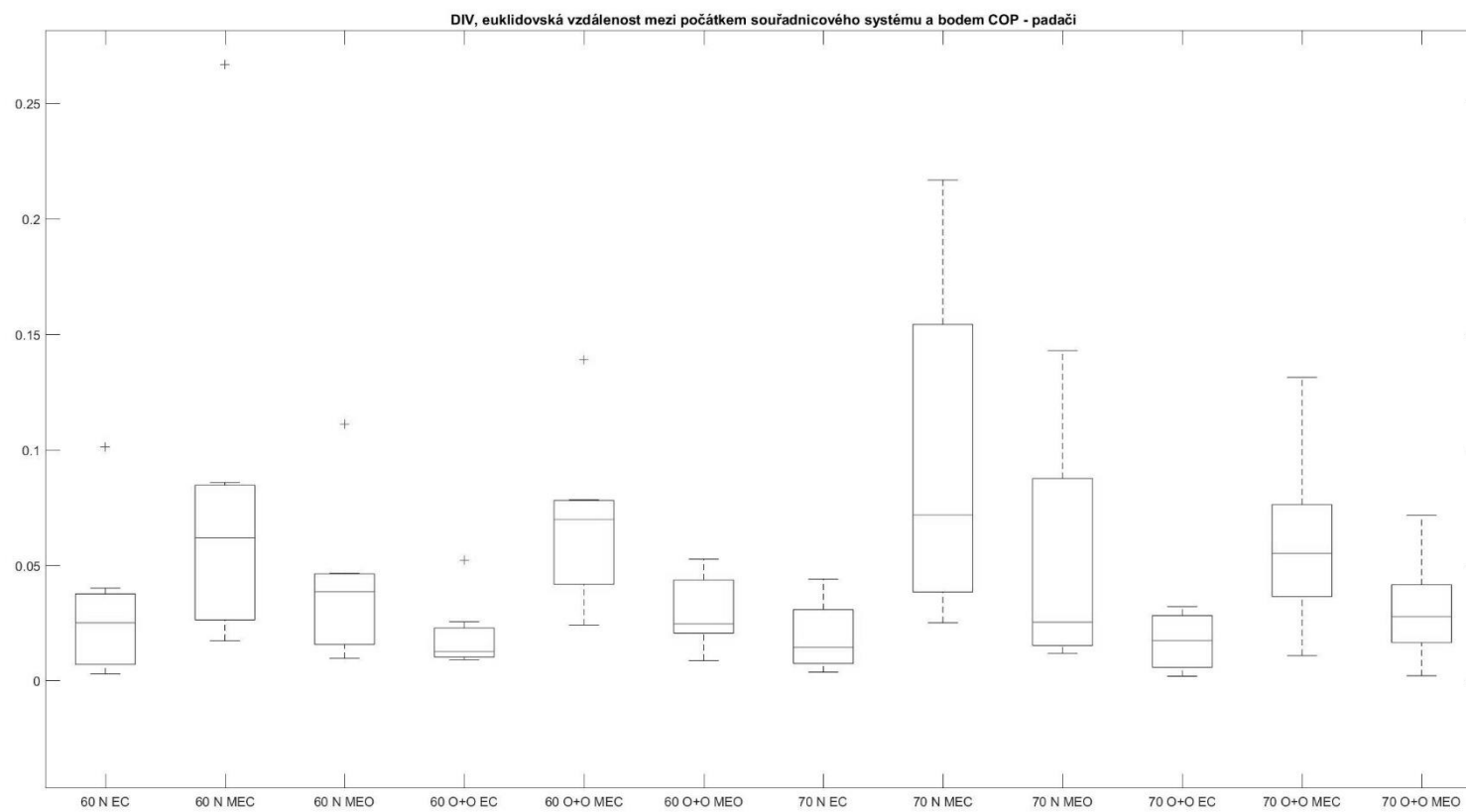
PŘÍLOHA 104



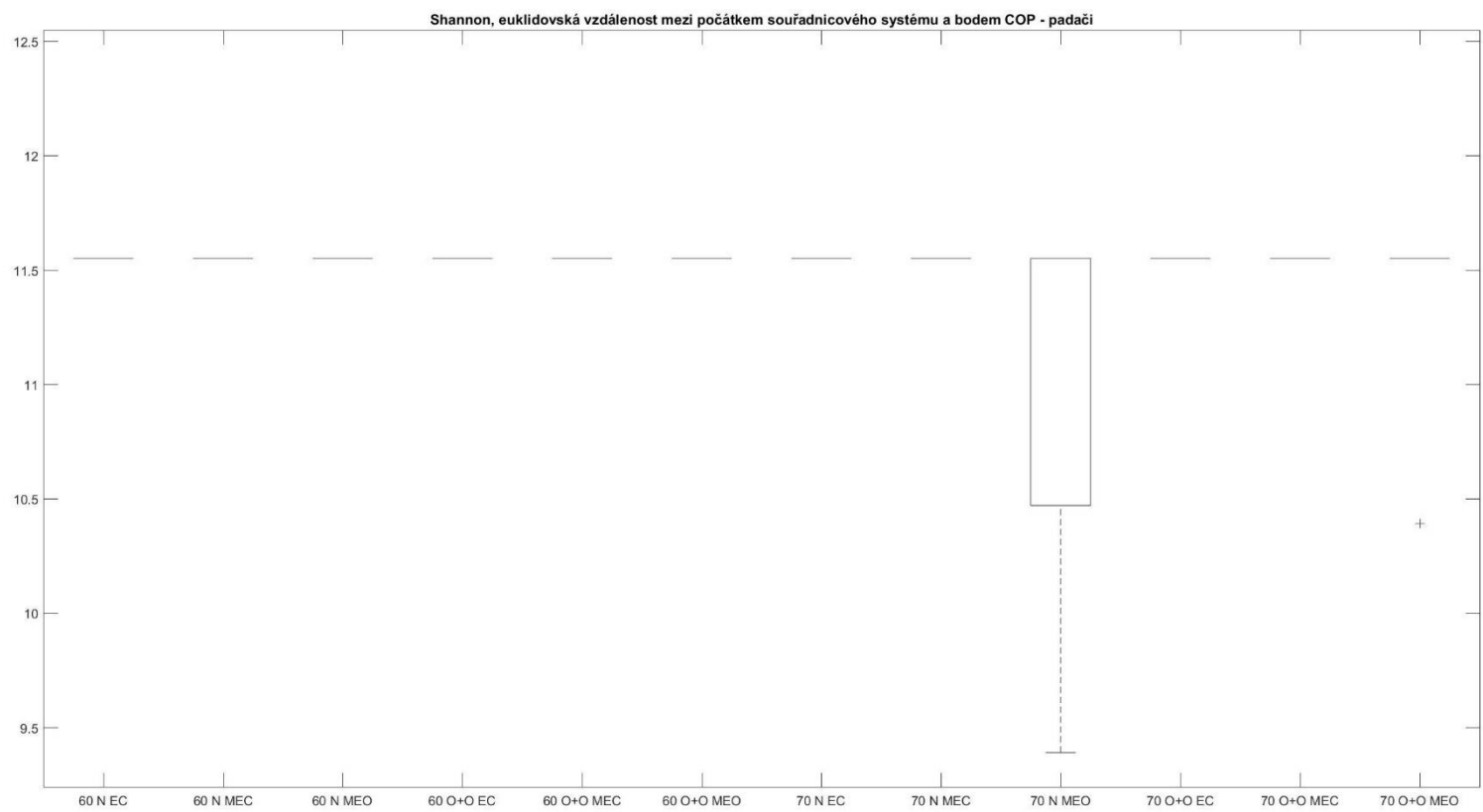
PŘÍLOHA 105



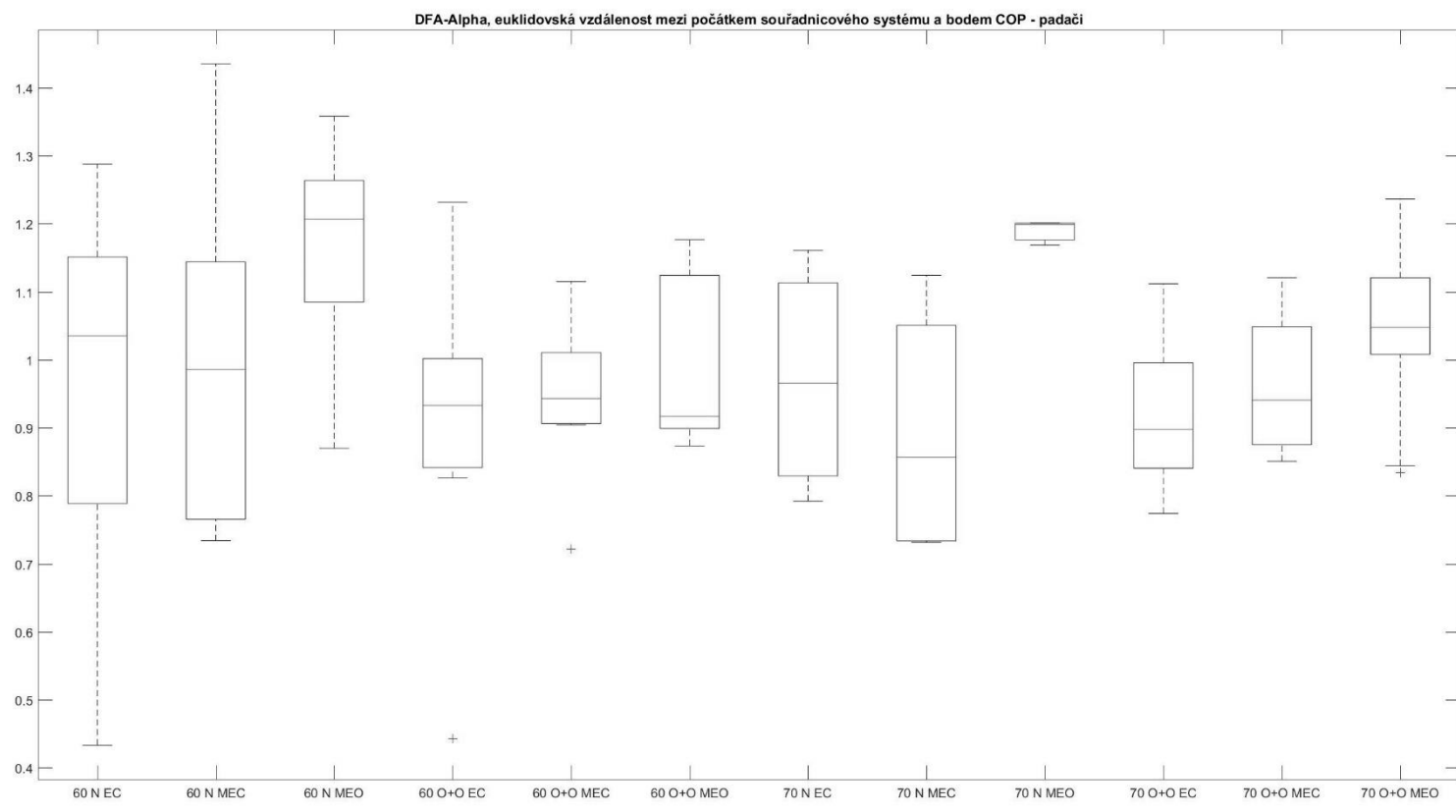
PŘÍLOHA 106



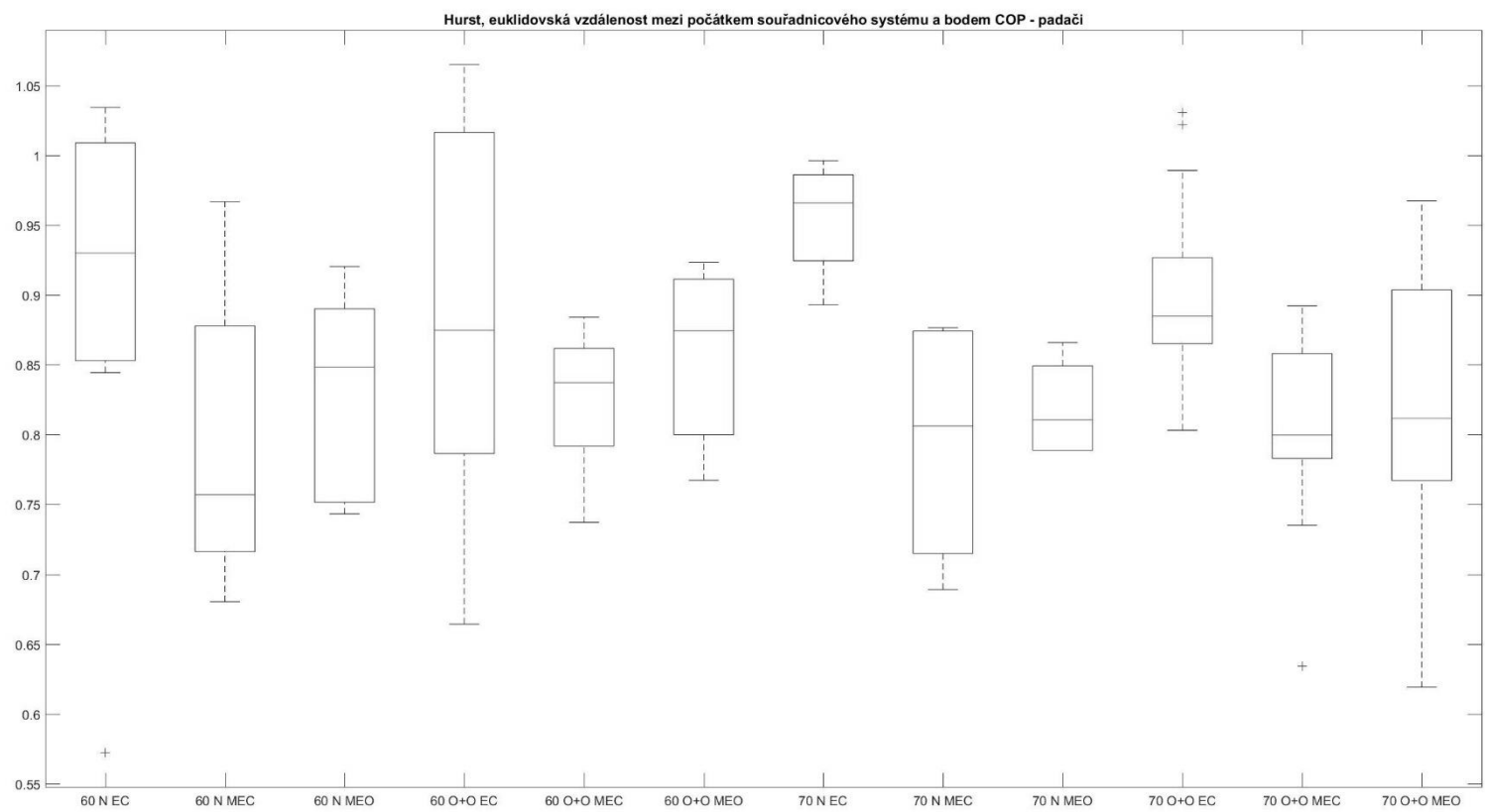
PŘÍLOHA 107



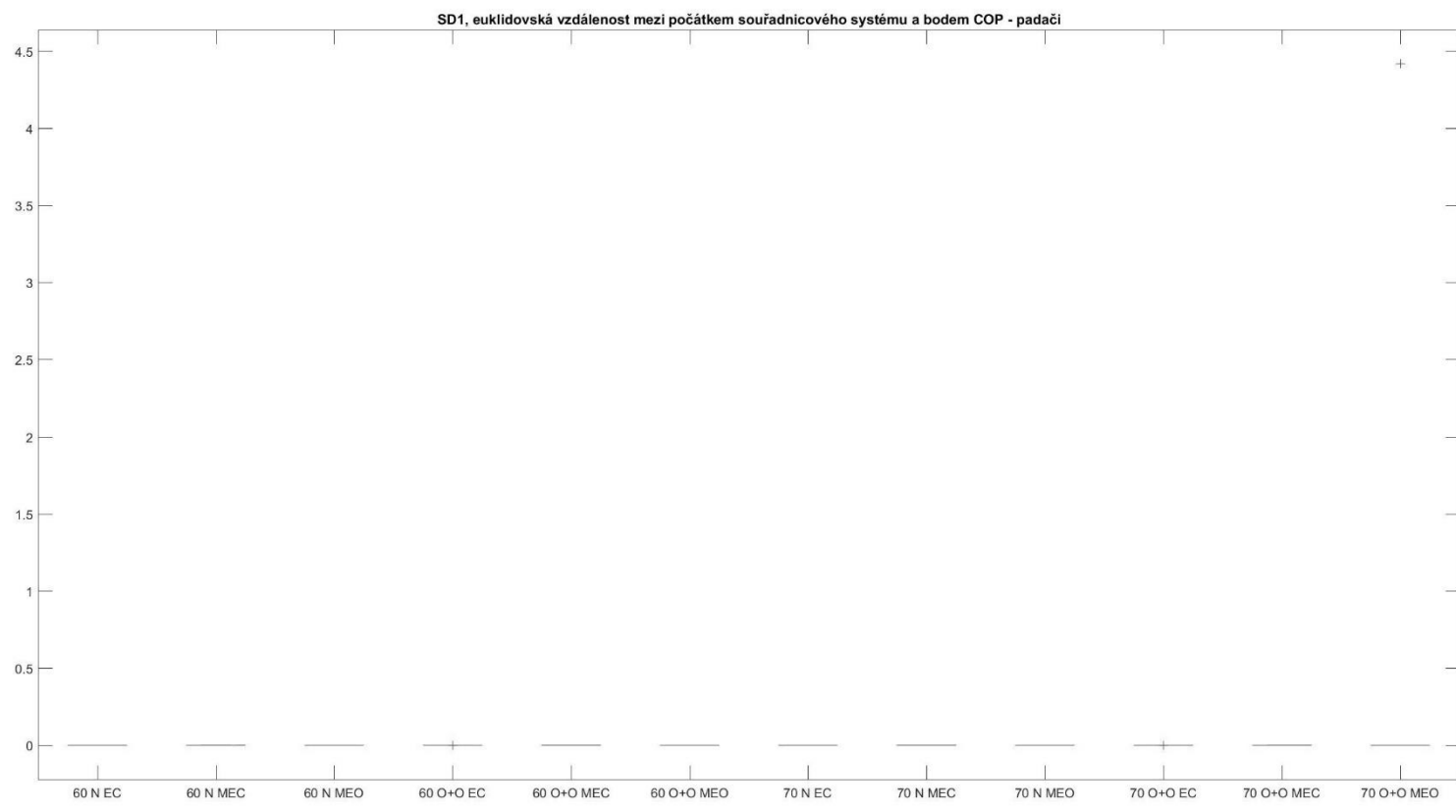
PŘÍLOHA 108



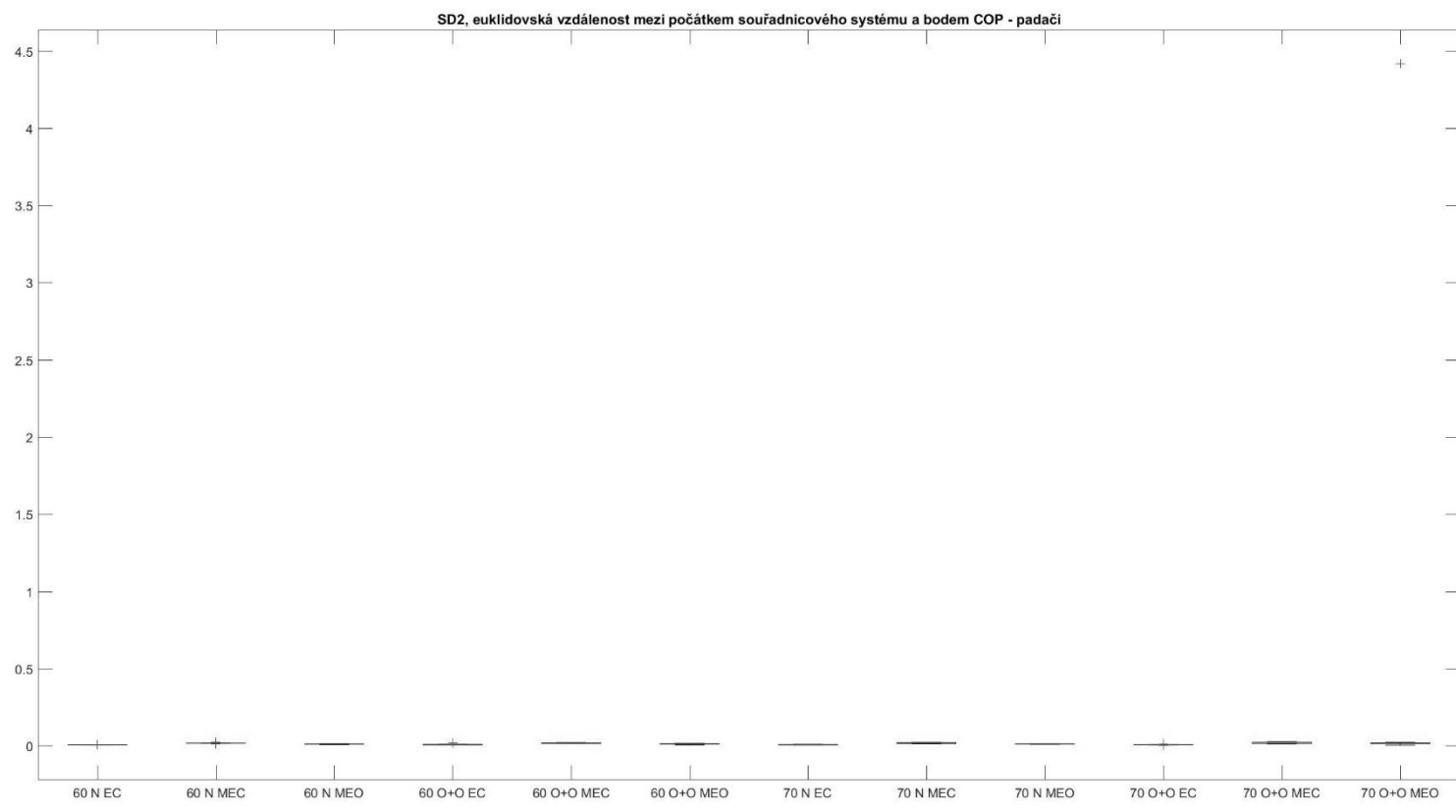
PŘÍLOHA 109



PŘÍLOHA 110



PŘÍLOHA 111



PŘÍLOHA 112