



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Љиљана Д. Брзаковић

**РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ
КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА
ДИНАМИЧКИ ОПТЕРЕЂЕНИХ
КОНТАКАТА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2022.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC

Ljiljana D. Brzaković

**DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR
DETERMINATION OF KINEMATIC
COEFFICIENT OF FRICTION OF
DYNAMICALLY LOADED CONTACTS**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2022.

Аутор
Име и презиме: Љиљана Брзаковић
Датум и место рођења: 19.11.1968. године, Крушевац
Садашње запослење: Академија струковних студија Шумадија, Одсек Трстеник
Докторска дисертација
Наслов: РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА ДИНАМИЧКИ ОПТЕРЕЂЕНИХ КОНТАКАТА
Број страница: 146
Број слика: 51
Број библиографских података: 64
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК): Машинство, Трибологија (621:539.92)
Ментор: др Слободан Митровић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 19.02.2021. године
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: IV-04-680/27 од 14.09.2021. године
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научне области: производно машинство и индустријски инжињеринг; председник комисије 2. Др Слободан Митровић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научна област: производно машинство; члан 3. Др Ђорђе Вукелић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду; уже научна област: метрологија, квалитет, еколошко-инжењерски аспекти, алати и прибори; члан
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Др Ђорђе Вукелић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду; уже научна област: метрологија, квалитет, еколошко-инжењерски аспекти, алати и прибори; председник комисије 2. Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научне области: производно машинство и индустријски инжињеринг; члан 3. Др Владимир Миловановић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научна област: експериментална механика; члан
Датум одбране дисертације:

Захвалница

Ова дисертација је настала као резултат вишегодишњег рада на истраживању са групом професора и истраживача заинтересованих за развој трибометријских метода квантификовања параметара трења на бази диференцијалних једначина кретања.

Велику захвалност дугујем свом ментору проф. др Слободану Митровићу на великој подршци као и осталим уваженим професорима др Ђорђу Вукелићу и др Владимиру Миловановићу од којих сам имала несебичну помоћ у реализацији ове дисертације.

Посебну захвалност дугујем професору др Бранку Тадићу чија је стручна подршка у овом раду немерљива али и на великом разумевању, стрпљењу и поверењу.

Огромну захвалност дугујем др Владимиру Кочовићу на стручној и практичној помоћи око експерименталних испитивања, на корисним саветима и искреној подршци током студија.

Хвала мојим родитељима и мом највећем благу, мом сину Милошу, на великој љубави, енергији и подршци која ми је много значила.

Резиме

Кинематски коефицијент трења се, генерално посматрано, у свим условима оптерећења контакта, може одредити потпуно другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења. Метода која се предлаже односи се на одређивање кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања при обртању тела, при чему активна сила на обртно тело делује само у тренутку иницирања кретања, док статичку и динамичку компоненту жељеног оптерећења контакта типа "рукавац-лежај" обезбеђују масе тела, концентрично и ексцентрично распоређене у односу на осу обртања. Ако се експерименталним путем одреди зависност промене угла обртања тела у функцији времена, онда је на основу динамичке једначине кретања могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у читавом периоду времена, од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела.

У дисертацији су изложени резултати теоријских и експерименталних анализа везаних за кинематски коефицијент трења котрљајног лежаја у условима мануелног (ручног) иницирања обртног кретања и при иницирању кретања динамичком ударном силом. Након иницирања кретања и престанка дејства спољашње силе (ударног импулса) кретање се наставља, при чему оптерећени лежај (зона лежаја у којој дејствују силе отпора трења) пролази читав спектар брзина, од максималне брзине у тренутку иницирања кретања, до њене нулте вредности при заустављању кретања, при чему се читав мерни систем своди на ротациони енкодер. Резултати истраживања приказани у дисертацији компатибилни су са резултатима добијеним применом конвенционалних трибодијагностичких метода и указују на физичку везу коефицијента трења и угаоног убрзања. Тако се може рећи да је убрзање физички и енергетски показатељ трења и расипања енергије у трибомеханичким системима и да дефинише комплетну динамику самог процеса трења.

Кључне речи: трење, коефицијент трења, иницирање кретања, угао, угаоно убрзање, угаона брзина, диференцијална једначина кретања, биланс енергија.

Abstract

The kinematic coefficient of friction, generally speaking, in all contact load conditions, can be determined by completely different methods compared to existing methods that are based on measuring the contact load level and measuring the friction force. The proposed method refers to the determination of the kinematic coefficient of friction through the dynamic equation of motion when the body rotates, whereby the active force on the rotating body acts only at the moment of motion initiation, while the static and dynamic component of the desired load of the "sleeve-bearing" type contact is provided by the masses of the body, concentrically and eccentrically arranged in relation to the axis of rotation. If the dependence of the change in the angle of rotation of the body as a function of time is determined experimentally, then based on the dynamic equation of motion, it is possible to determine the current values of the coefficient of friction in the entire period of time, from the initiation of movement to the moment when the body's rotation stops.

The dissertation presents the results of theoretical and experimental analyzes related to the kinematic coefficient of friction of the rolling bearing under the conditions of manual (manual) initiation of rotary motion and initiation of motion by dynamic impact force. After the movement is initiated and the effect of the external force (impact impulse) ceases, the movement continues, whereby the loaded bearing (bearing zone where the frictional resistance forces act) passes through the entire range of speeds, from the maximum speed at the moment of movement initiation, to its zero value when the movement stops, whereby the entire measuring system is reduced to a rotary encoder. The research results presented in the dissertation are compatible with the results obtained using conventional tribodiagnostic methods and indicate a physical connection between the coefficient of friction and angular acceleration. So it can be said that acceleration is a physical and energetic indicator of friction and energy dissipation in tribomechanical systems and defines the complete dynamics of the friction process itself.

Keywords: friction, friction coefficient, initiation of motion, angle, angular acceleration, angular velocity, differential equation of motion, energy balance.

Садржај

1. Уводна разматрања	1
1.1 Основне хипотезе од којих се полази	1
2. Трибологија као наука и технологија	3
2.1 Текуће стање истраживања у области трибометрије	3
2.2 Преглед публикованих научних истраживања у области трибологије	5
3. Теоријске основе предложене методе	22
4. План и програм експерименталних испитивања	29
5. Пројектовање прототипа уређаја	30
5.1 Пројектовање првог прототипа уређаја	30
5.2 Пројектовање другог прототипа уређаја	38
6. Развој наменског софтвера	42
6.1 Алгоритам тока софтверске подршке мерном систему уређаја	42
6.2 Потребни улазни подаци и креирање извештаја о испитивању	43
6.3 Креирање извештаја о испитивању и могући - излазни резултати	44
6.4 Процедуре везане за коришћење уређаја и софтвера	45
7. Резултати експерименталних истраживања	46
8. Статистичка обрада и анализа резултата експерименталних истраживања	86
9. Дискусија	89
10. Закључци	96
Литература	98
ПРИЛОГ	102

Преглед скраћеница и страних речи

Скраћеница	Енглески	Српски
<i>AFC</i>	<i>Adaptive Force Control</i>	Уређај који омогућава оператеру да одреди силу која се користи за брушење радног предмета.
<i>AFM</i>	<i>Atomic Force Microscope</i>	Микроскоп атомских сила
<i>ASTM</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i>	Америчко друштво за тестирање и материјале
<i>BK-7</i>		Тип оптичког мерног система
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>	Конструисање помоћу рачунара
<i>DC</i>	<i>Direct Current</i>	Тип електромотора
<i>DEV</i>	<i>Deviation</i>	Девиијација-одступање
<i>FEM</i>	<i>Finite Element Method</i>	Метода коначних елемената
<i>MEAS</i>	<i>Measurement</i>	Мерење
<i>MEMS</i>	<i>Micro Electro-Mechanical Systems</i>	Микро електро-механички системи
<i>Rotary encoder</i>	<i>Rotary encoder</i>	Ротациони енкодер
<i>SLIDE-ROLL</i>	<i>Slide-roll</i>	Клизање - котрљање
<i>UFF</i>	<i>Ultraform Finishing</i>	Завршна обрада

Преглед значајних ознака

I	Масени момент инерције
ω	Угаона брзина
M_a	Активни момент којим је иницирано кретање
M_t	Резултујући момент интегралног збира елементарних отпорних момената трења
M_W	Резултујући момент отпора ваздуха
t	Време
ΔT	Разлика температуре између две мерне тачке
Δt_1	Кратак временски интервал иницирања кретања у којем делује активна сила и момент
F_w	Сила отпора ваздуха
C_d	Аеродинамички коефицијент облика тела на који делује отпор струјница ваздуха
ρ	Густина ваздуха
A	Површина тела на коју делује отпор ваздуха
v	Брзина кретања тела
M_t	Момент трења
F_T	Резултујућа сила трења у контакту
r	Радијус на којем делују елементарне силе трења
F_s	Сила статичког оптерећења контакта
F_d	Сила динамичког оптерећења контакта
m	Маса статичког оптерећења
F_N	Нормална сила
m_e	Ексцентрична маса инерцијалног оптерећења
$\sum M$	Збир свих обртних маса које оптерећују лежај
g	Земљино убрзање
E_k	Кинетичка енергија
A_t	Рад силе трења
E_t	Енергија утрошена на савладавање отпора трења
ΔE	Разлике између кинетичке енергије и радова трења
C_i	Константе добијене регресионом анализом (и-тог) независног експеримента
R_i	Коефицијенти корелације добијени регресионом анализом (и-тог) независног експеримента
μ_d	коефицијент трења на држачу, средњи коефицијент трења
T	Температура
P	Притисак
μ	Коефицијент трења
A_c	Површина контакта
A_G	Попречни пресек
$\varepsilon(t)$	Ниво деформације
v^2	Квадрат брзине кретања тела
ϕ	Угао
ϑ_k	Брзина клизања

Списак слика

Редни број	Ознака и назив
1.	Слика 2.2.1 Фотографија експерименталне поставке помоћу 3-осне ћелије за оптерећење (Kistler, модел 9347С) монтиране у UFF са ВК-7 оптиком фиксираном на горњој површини [5].
2.	Слика 2.2.2 Уређај за одређивање динамичког коефицијента трења [6].
3.	Слика 2.2.3 Конструкција машине за испитивање удара [7].
4.	Слика 2.2.4 Детаљан опис уређаја који се користи за динамичка мерења трења, дефиниција зоне сензора силе [22].
5.	Слика 2.2.5 Експериментални пример сигнала деформације у два мерача за почетну брзину од 23 m/s и притисак од 49 МПа [22].
6.	Слика 2.2.6 FEM модел који се користи за процену уређаја за мерење динамичког трења.
7.	Слика 2.2.7 Провера вредности коефицијента трења за случај $V_0=23$ m/s и $P=49$ МПа коришћењем нумеричких симулација.
8.	Слика 2.2.8 Поређење коефицијента трења добијеног нумерички између две методологије, $V_0=23$ m/s и $P=49$ МПа.
9.	Слика 2.2.9 Предложени модел трења: а) Општа структура модела, (б) 1D пример модела, представљен коришћењем опруга, амортизера, масе и фриксионог елемента.
10.	Слика 2.2.10 Стаклена сфера која клизи по гуменој плочи, (а) илустрација Вarkins-овог експеримента [24], (б) моделирање гумене плоче као једне чекиње, (в) Моделирање гумене плоче као распоређених чекиња.
11.	Слика 2.2.11 Модел гуме.
12.	Слика 2.2.12 Структура пројектованог триботестера: (а) конфигурација микротриботестера, (б) повећање дела С.
13.	Слика 2.2.13 Кретање тела низ стрму раван – анализа сила [47].
14.	Слика 2.2.14 Фотографски прикази модула намењеног истраживањима у области кинематског трења, надграђеног на основну конфигурацију уређаја [48].]
15.	Слика 2.2.15 Реализовани уређај широког спектра могућности који симулира рад вибрационе платформе (а), механички модел распореда сила на вибрационој платформи (б) и фотографски приказ грануле песка на сити (в).
16.	Слика 2.2.16 Дијаграм промене коефицијента трења између грануле песка и сита у функцији времена [1].
17.	Слика 3.1 Шематски приказ распореда активних и отпорних сила при обртању тела око непомичне осе.
18.	Слика 3.2 Шематски прика распореда отпорних сила трења клизања или трења котрљања при обртању тела око непомичне осе.
19.	Слика 3.3 Иницирање кретања (обртања) ударном импулсном силом.
20.	Слика 5.1.1 Склопни цртеж реализованог уређаја са спецификацијом специјалних и стандардних елемената
21.	Слика 5.1.2 Изометријски приказ САД модела.
22.	Слика 5.1.3 САД модел уређаја у хоризонталној равни.
23.	Слика 5.1.4 САД модел чеоног погледа од стране енкодера.
24.	Слика 5.1.5 САД модел погледа положаја ексцентричне масе.
25.	Слика 5.1.6 Фотографски приказ реализованог уређаја.
26.	Слике 5.1.7 Цртежи специјално израђених елемената.
27.	Слика 5.2.1 Фотографски приказ функционалне експерименталне целине креиране из развијеног подскопа уређаја и постојећег уређаја.
28.	Слика 5.2.2 Склопни цртеж развијеног уређаја (Подскопа) са спецификацијом свих специјално развијених и стандардних елемената уређаја.

29.	Слика 5.2.3 CAD модел уређаја.
30.	Слика 5.2.4 CAD модел уређаја (поглед одозго).
31.	Слика 5.2.5 CAD модел уређаја (поглед са бочне стране).
32.	Слика 6.1.1 Алгоритам тока софтверске подршке мерном систему уређаја.
33.	Слика 6.3.1 Алгоритамски ток везан за креирање извештаја и излазне резултате које програм нуди.
34.	Слика 7.1 Фотографски приказ реализованих уређаја.
35.	Слика 7.2 Дијаграмски приказ промене коефицијента трења у функцији времена.
36.	Слика 7.3 Промена угла обртања (а), и угаоне брзине (б), у функцији времена.
37.	Слика 7.4 Промена нивоа динамичког оптерећења контакта у функцији времена.
38.	Слика 7.5 Упоредни дијаграмски приказ промене угаоног убрзања и коефицијента трења у времену.
39.	Слика 7.6 Дијаграмски приказ промене коефицијента трења и угаоног убрзања у времену при елиминисању динамичке компоненте оптерећења (ексцентрично позициониране масе).
40.	Слика 7.7 Дијаграм промене угаоне брзине, (б) и нивоа оптерећења контакта (а) у времену.
41.	Слика 7.8 Нивои промене брзине котрљања у зони трења у котрљајном лежају.
42.	Слика 7.9 Утицај динамичке компоненте оптерећења контакта илустрован дијаграмом промене коефицијента трења у релативно кратком временском интервалу.
43.	Слика 7.10 Дијаграм промене прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања, при реализацији једног од изведених експеримената у првој серији (а), угаоно убрзања, коефицијент трења и прираштај угла и угаоне брзине при иницирању кретања са већим вредностима енергије импулса удара (б).
44.	Слика 7.11(а-б) Дијаграм биланса енергија при иницирању кретања различитим енергијама импулсне силе удара (а - Мала енергија; б - Значајно већа енергија).
45.	Слика 7.12(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања мањом енергијом.
46.	Слика 7.13(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања средњом енергијом.
47.	Слика 7.14(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања већом енергијом.
48.	Слика 7.15(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при иницирању кретања мањом енергијом удара (Сензор 2).
49.	Слика 7.16(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при иницирању кретања "већом" енергијом удара (сензор 10).
50.	Слика 8.1 Дијаграм промене, прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања.
51.	Слика 9.1 Дијаграм промене, прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења (а) и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања (б).

Списак табела

Редни број	Ознака и назив
1.	Табела 2.2.1 Експериментално добијени подаци коришћени за прорачун коефицијента трења грануле песка и сита [1].
2.	Табела 5.1.1 Спецификација специјалних, стандардних, мерних и електронских компоненти реализованог уређаја са којим се врши ручно иницирање кретања.
3.	Табела 5.2.1 Спецификација специјалних, стандардних, мерних и електронских компоненти реализованог уређаја са којим се врши ручно иницирање кретања импулсном силом удара.
4.	Табела 7.1 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "мањом" енергијом.
5.	Табела 7.2 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "средњом" енергијом.
6.	Табела 7.3 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "већом" енергијом.
7.	Табела 7.4 Резултати мерења при иницирању кретања "мањом" енергијом преко импулсне силе удара (сензор 2).
8.	Табела 7.5 Резултати мерења при иницирању кретања "већом" енергијом преко импулсне силе удара (сензор 10).
9.	Табела 8.1 Константе (C_i) и коефицијенти корелације (R_i) добијени статистичком обрадом експерименталних података при ручном иницирању кретања.
10.	Табела 8.2 Константе (C_i) и коефицијенти корелације (R_i) добијени статистичком обрадом експерименталних података при иницирању кретања већом енергијом удара (сензор 10).

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Истраживања на тему докторске дисертације припадају трибологији као интердисциплинарној науци и технологији, посвећеној интеракцији контактних површина при релативном кретању и последицама, које се могу разматрати од нано и микро нивоа, па све до нивоа националних економија. Предмет рада односи се на развој, нове методе за одређивање кинематског коефицијента трења. Развој методе подразумева развој теоријске базе методе, развој прототипа уређаја, развој софтвера и експерименталну верификацију методе. Добијени резултати указују на предности и области могуће примене предложене методе у односу на постојеће, у свету развијене методе, одређивања кинематског коефицијента трења. Метода се разматра у условима динамички оптерећених контаката, који спадају у најкомплексније видове оптерећења, са аспекта дијагностике реалних вредности трибометријских величина. Метода се заснива на одређивању кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања при обртању, при чему активна сила на обртно тело делује само у тренутку иницирања кретања, док статичку и динамичку компоненту жељеног оптерећења контакта, обезбеђују масе тела, концентрично и ексцентрично распоређене у односу на осу обртања. Када се експерименталним путем одреди зависност промене угла обртања тела у функцији времена, онда је на основу динамичке једначине кретања могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у читавом периоду од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела. Поред тога, овом методом је, на основу експериментално одређене зависности угла обртања у функцији времена, могуће одредити и тренутне величине угаоних брзина и угаоних убрзања, тј. угаоних успорења, насталих као последица деловања отпорне силе трења у читавом периоду обртања тела. Такође, могуће је и успоставити зависности између кинематског коефицијента трења и брзина и убрзања у зони самог контакта и пратити њихове промене, што омогућава знатно комплекснију анализу, а што не омогућавају постојеће методе.

1.1 ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ СЕ ПОЛАЗИ

Докторска дисертација се базира на следећој полазној хипотези:

Кинематски коефицијент трења се, генерално посматрано, у свим условима оптерећења контакта, може одредити другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења.

Ова хипотеза образлаже се следећим чињеницама:

- Прва публикована теоријска истраживања у вези са одређивањем кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања тела низ стрму раван објавио је Ојлер 1748. године. Слободно се може рећи да ова метода, нажалост, ни после 273 године у сфери науке, а посебно у сфери технологије пројектовања савремене трибо-дијагностичке опреме, није доживела ширу експанзију. У сфери науке, мањи број публикованих истраживања (претежно у часописима који покривају област едукације из области физике) базира се на Ојлеровим истраживањима или је тангентан са њима. Један од ретких радова који се базира, не на стрмој равни, већ на Ојлеровој идеји да се преко диференцијалне једначине кретања одреди кинематски коефицијент трења објављен је у тематском часопису из области трибологије *Journal of Friction and Wear* [1].

- Метода одређивања кинематског коефицијента трења на бази диференцијалних једначина кретања је у суштини везана за мерење три основне јединице SI система мера (маса, времена и дужине), што у теоријском, експерименталном и технолошком смислу представља веома значајну предност.
- У оквиру центра за ревитализацију индустријских система Факултета инжењерских наука у Крагујевцу реализован је већи број трибометара за одређивање кинематског коефицијента трења, базираних на разматраној методи, и публиковано седам радова у часописима са SCI листе.
- Резултати теоријских и експерименталних истраживања везаних за развој методе за одређивање кинематског коефицијента трења у условима динамичких оптерећења изложени у овој дисертацији су у потпуности испунили очекивања. Добијене вредности коефицијента трења котрљања или клизања веома су блиске вредностима и динамици промене коефицијената трења у времену, који се добијају при одређивању коефицијента трења у идентичним условима на уређајима који функционишу на принципу мерења нивоа оптерећења контакта и силе трења.

2. ТРИБОЛОГИЈА КАО НАУКА И ТЕХНОЛОГИЈА

Трибологија као наука и технологија доживљава у области трибодијагностике и развоја савремених мерних система у садашње време пуну експанзију. Разлози су првенствено у чињеници да су за анализу и квантификовање сложених триболошких процеса неопходни поуздани мерни уређаји и машине. Трибологија је због сложености процеса који се одвијају у зонама контаката, великим делом заснована на експерименталним методама истраживања. Савремене методе експерименталних истраживања, поред захтева поузданости мерних система, постављају и низ других сложених захтева и ограничења. Све то намеће сталну потребу за развојем нових и усавршавање постојећих мерних уређаја и машина, не само у ужој области мерног система и пратећег софтвера, већ и у области самих принципа односно физике процеса. Триболошка истраживања експерименталног типа у садашње време нису само потреба истраживачких институција већ и великог броја производних предузећа која увиђају да им је за опстанак на тржишту то неопходно. Велики број предузећа, па чак и националних истраживачких и образовних институција, не поседује савремене мерне уређаје неопходне за триболошка испитивања (квантификовање основних триболошких карактеристика или комплекснија истраживања). Машински факултет у Крагујевцу је већ дуги низ година језгро триболошких истраживања, не само на нивоу Србије, већ и на нивоу региона, па и много шире. Велики број истраживача, велики број објављених радова у светским часописима и на иностраним и домаћим конференцијама и велики број успешно реализованих решења трибометара пласираних на домаћем и иностраном тржишту представља битан предуслов за успешну реализацију предстојећих истраживања.

2.1 ТЕКУЋЕ СТАЊЕ ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ ТРИБОМЕТРИЈЕ

Развој напредне опреме за трибодијагностику данас у свету постаје и тренд и изазов многих истраживача и инжењера. Развој савремене мерне опреме за трибодијагностику, па и мерне опреме уопште, по својој природи је веома комплексна и интердисциплинарна област истраживања. У принципу, напредну трибодијагностичку опрему реализују специјализоване институције и произвођачи иза којих стоје године теоријског и експерименталног рада, не само у области трибологије, већ и у многим областима тангентним са проблематиком савремених мерних система.

Проблематиком развоја трибометара и остале трибодијагностичке опреме данас у свету, баве се истраживачки тимови који поседују:

1. висок ниво теоријских знања из многих области трибологије,
2. висок ниво експерименталног знања и искуства из области трибометрије и трибодијагностике,
3. висок ниво знања из базичних наука као што су: динамика сложених система, термодинамка, електроника, конвенционални и савремени материјали и друге науке,
4. висок ниво специјализованог знања и искуства из области пројектовања сложених мерних система,
5. висок ниво специјализованог знања из области савремених давача за мерење сила, померања температура и других физичких величина,
6. висок ниво знања из области програмирања и развоја савремених софтверских пакета,
7. неопходни софтвер и лабораторијску опрему,

8. велики број информација о трендовима и достигнућима у области развоја савремене трибодијагностичке опреме,
9. креативни дух и организационе способности које могу ујединити енергију већег броја компетентних истраживача и исту усмерити према жељеном циљу.

Истраживањима у области развоја савремене трибодијагностичке опреме баве се многи светски институти и специјализовани произвођачи. У најкраћим цртама, истраживања су усмерена на:

1. развој нових решења и
2. усавршавање и стандардизацију постојећих решења.

Велики број постојећих светских решења трибометара је стандардизован (ASTM и ISO стандарди) према условима остваривања контаката, као на пример трибометри: TE 53 MULTI-PURPOSE FRICTION AND WEAR TESTER, TE 54 MINI TRACTION MACHINE, TE 55 LUBRICITY TEST MACHINE, TE 56 MULTI-STATION BLOCK ON RING MACHINE, TE 57 PRESSURIZED LUBRICITY TESTER, и многи други трибометри. Ове конструкције трибометара се и данас усавршавају највише у погледу софтверских решења и побољшања техничких карактеристика (повећање нивоа оптерећења, повећање брзина клизања и котрљања, повећање радних температура, вакуумских комора и др.). У великом броју случајева из већ стандардизованих решења трибометара настају трибометри високо побољшаних перформанси који су намењени истраживањима у знатно ширем опсегу оптерећења, брзина клизања и котрљања, радних температура, услова подмазивања, присуства абразива и сл. Присутан је и одређени број решења трибометара који покривају више типова контаката. Та решења су универзалнијег карактера и пројектована су врло често по систему модуларног пројектовања. Постоји, такође, велики број специјалних решења (конструкција) трибометара намењених триболошким испитивањима зупчастих парова, тврдих превлака, пластичних маса и других материјала. У свету је развијен и велики број трибометара намењених испитивању триболошких карактеристика материјала у вакууму, као и трибометара намењених за испитивања у условима екстремно високих температура и притисака контактних парова. Развој нанотрибометрије, као посебне области трибологије, иницирао је развој великог броја високо софистицираних решења нанотрибометара [2].

Развој нових решења трибометара, у великом делу, инициран је развојем нових материјала и превлака, посебним условима оптерећења, агресивном средином и другим специфичним условима.

На Машинском факултету у Крагујевцу реализован је и пласиран, на домаћем и иностраном тржишту већи број трибометара (Србија, Хрватска, Грчка, Шпанија, Енглеска). Трибометри су у највећем броју пласирани научноистраживачким институцијама из поменутих земаља.

Процедура мерења фрикционих и антихабајућих својстава на овим трибометрима је у складу са ASTM стандардима D и G групе (D2625, D2627, D2714, G77, G99) и стандарду ISO 7148-1/2012 (*Testing of the tribological behaviour of bearing materials*). На овим трибометрима је могуће остварити линијски контакт и контакт у тачки. Новина која се јавља на развијеном трибометру ове групе (TPD – 2000) је и могућност остваривања „slide/roll“ контакта уз помоћ одговарајућег адаптера.

Основне техничке карактеристике трибометра TPD – 2000 су:

- снага погонског електромотора: 1,5 KW,
- снага погонског мотора адаптера: 0,37 KW,

- максимално оптерећење: 500 N,
- максимално дозвољена сила трења: 50 N,
- максимална брзина дискова: 5 m/s,
- габаритне димензије трибометра: 1200x1600x1300 mm,
- маса трибометра: 200 kg.

Испитивања на трибометру TPD – 2000 је могуће вршити са дисковима, пиновима и блоковима чије се димензије крећу у одређеном распону [33].

Као излазни резултати мерења (излаз из наменски израђеног софтвера) добијају се, поред осталог, и дијаграми:

- промене нормалне силе током времена,
- промене силе трења током времена,
- промене коефицијента трења током времена,
- промене средње температуре уља током времена,
- промене температуре у одређеним тачкама контактних парова.

2.2 ПРЕГЛЕД ПУБЛИКОВАНИХ НАУЧНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ ТРИБОЛОГИЈЕ

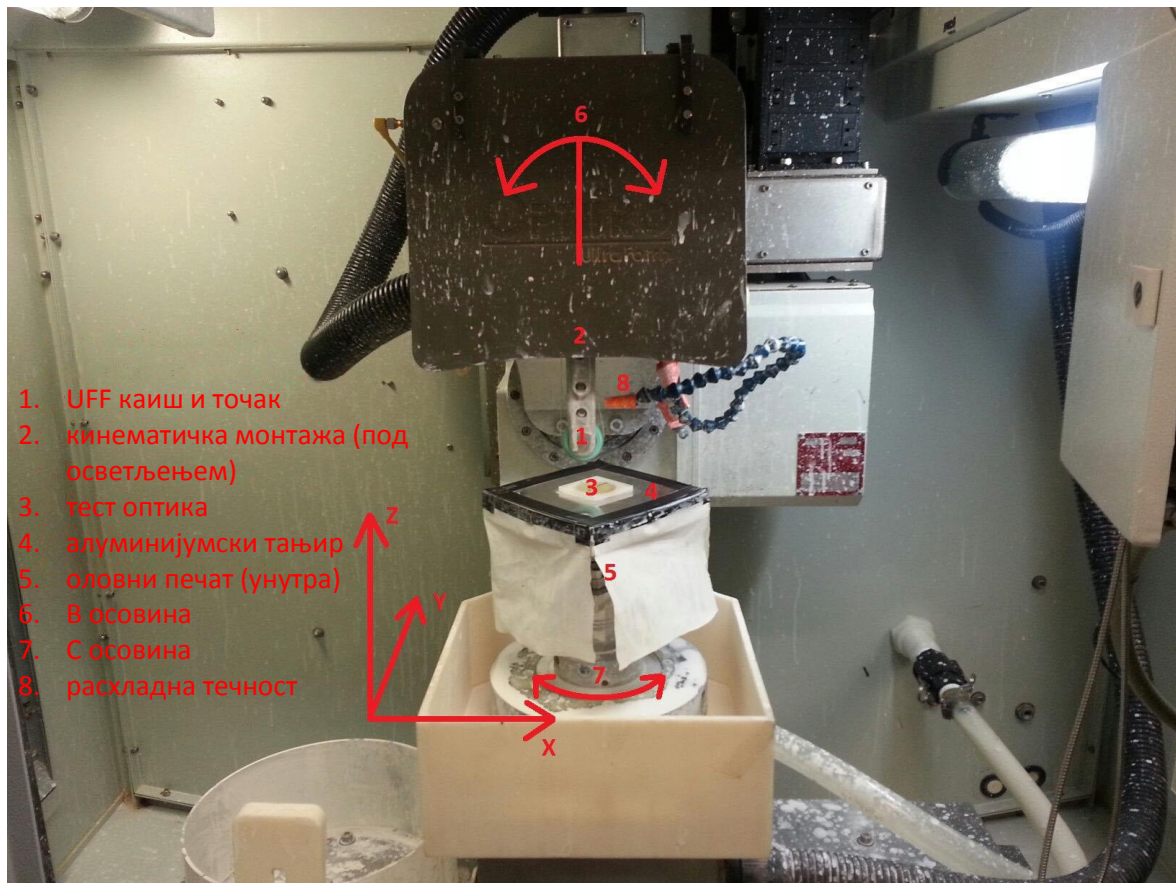
У раду [3] аутори представљају, презентују истраживање везано за динамички коефицијент трења. Истраживање се фокусира на анализу силе стезања, у овом случају преко стезних вијака, који се користе да обезбеде силу трења и резултирајућу дисипацију енергије. Добијени израчунати ефективни динамички коефицијент трења је изведен као функција обртног момента склопа који се користи за обезбеђивање силе стезања у AFC и измереног издужења завртња током испитивања. Изложена методологија односи се на тестирање одређених типова фриксионих спојева/уређаја. Експериментални резултати показују да просечни коефицијенти трења не варирају значајно при повећању обртног момента. Просечна вредност динамичког коефицијента трења креће се у распону од 0,18–0,37.

У раду [4] се разматра проблем клизања честице по ротирајућем столу. Проблем клизања проучаван је и нумерички и аналитички. Систем нуди занимљив скуп понашања који се занемарује у типичном разматрању овог проблема. Једначине се могу изразити у бездимензионалном облику користећи инхерентне дужине и временске скале у проблему за систематску анализу. Кретања честице за кратко време након што је пуштена из мировања (и у односу на окретни сто и у односу на лабораторију) могу се одредити аналитички. Нумеричка интеграција једначина је спроведена коришћењем Runge-Kutta алгоритма другог реда за различите почетне услове. Занимљиво је да је појам брзине излаза добро дефинисан за овај систем и она је функција локације честице и правца почетне брзине. Анализа изложена у раду такође предлаже алтернативни начин одређивања коефицијента трења између честице и стола.

Анализа промене динамичког коефицијента трења у функцији хабања каиша и утицај вредности динамичког коефицијента трења на интензитет хабања каиша изложени су у оквиру литературног навода [5]. Коефицијент трења је разматран са аспекта контактне механике и Престонове једначине, у циљу одређивања величине интензитета хабања (уклањања материјала). Тачним предвиђањем промена коефицијента трења итерације полирања се могу прецизније предвидети, смањујући укупан број итерација потребних да би се испуниле спецификације. У раду је демонстрирана мерења за UFF каишеве током различитих стања њиховог животног циклуса и процењена је функција уклањања материјала са тачака дијаграма, као функција хабања. Коначно, коришћен је овај систем

за квалификовање комбинација ремен-точак-материјал да би се развио модел преобличавања места за боље предвиђање тренутних функција уклањања материјала [5].

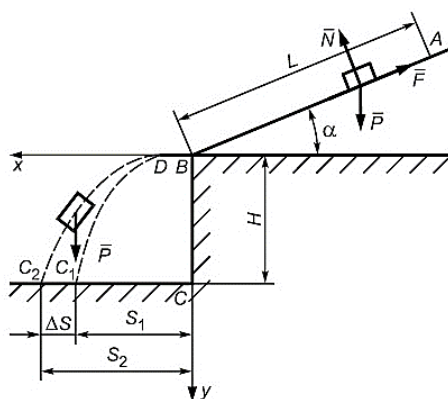
У раду је, на Слици 1. приказана фотографија експерименталне поставке помоћу 3-осне ћелије за оптерећење (Kistler, модел 9347C) монтиране у UFF са ВК-7, оптиком фиксираном на горњој површини. На врху ћелије за оптерећење налази се алуминијумска плоча дебљине 1 in која је брушена до равности <math>< 5 \mu\text{m}</math>, где је оптика за тестирање монтирана за тестове на месту уклањања, као и за остатке прикупљања података [5].



Слика 2.2.1 Фотографија експерименталне поставке помоћу 3-осне ћелије за оптерећење (Kistler, модел 9347C) монтиране у UFF са ВК-7 оптиком фиксираном на горњој површини [5].

И клизни и динамички коефицијенти трења се мере и анализирају у различитим интервалима током животног века абразивне траке која се користи у UltraForm Finishing. Показало се да трење клизања, μ_s , нема везу између динамичког трења и уклањања материјала у UFF. Поред тога, очигледно је да се динамичко трење, μ_d , односи на уклањање материјала у UFF, али та сила трења је погоднија за употребу у модификованом облику Престонове једначине.

У наредном раду је дата теоријска оцена потенцијалне примене уређаја са косом равни за одређивање динамичког коефицијента трења слика (2.2.2). Приказане су рачунске једначине за процену резолуције уређаја [6].

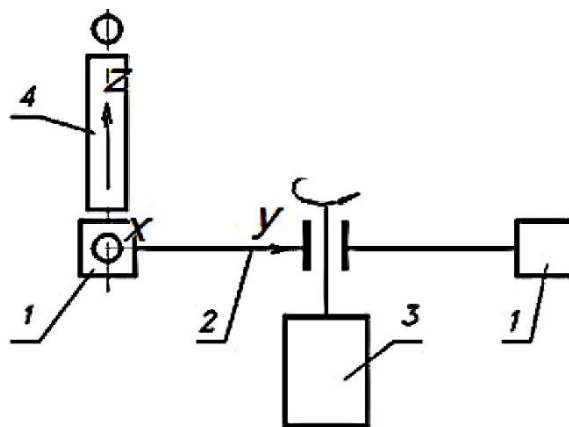


Слика 2.2.2 Уређај за одређивање динамичког коефицијента трења [6].

Предложени метод одређивања динамичких коефицијената трења помоћу уређаја са нагнутом равни, примењен на зрнасти материјал, омогућава симулацију физичких услова кретања производа у радним елементима једноставним конструктивним варијацијама [6].

Коришћењем методе која је овде разматрана, варијациона крива која описује расподелу фрикционих својстава зрнастог материјала може се извести директно у току одређивања динамичког коефицијента трења ако је вишејединични колектор честица производа, постављеног на месту где се честице спуштају [6].

Циљ истраживања [7] је да се развију теоријске основе за прорачун параметара контактне интеракције еластопластичних тела са ударном површином, да се створи метода за прорачун ових параметара примењених на зрно пољопривредних култура. За проучавање утицаја храпавости ударне површине, одређеног материјала, брзине интеракције ударца, као и особина тела на вредност коефицијента трења, развијен је посебан уређај – машина за испитивање удара опремљена са две челичне равни дијаметрално смештене на ротирајућем диску (слика 2.2.3). Диск 2 са ударним равнима 1 покреће DC електромотор 3 са контролом брзине у опсегу од 500 до 3000 о/min, који обезбеђује брзину удара од 12 до 72 m/sec [7].



Слика 2.2.3 Конструкција машине за испитивање удара [7].

Развијена метода за експериментално одређивање динамичког коефицијента трења тела од хомогених материјала и зрна пољопривредних култура омогућава да се утврди правилност промене динамичког коефицијента трења у зависности од угла нагиба ударне равни [7].

У чланку [8] је описан приступ који комбинује импулсивне силе (мере) са конвексном анализом. Интелектуално наслеђе коришћено у овом раду је опсежно: конвексна анализа, теорија мере, проблеми комплементарности, компактност и конвергенција у теорији, заједно са принципима дисипације енергије и другим традиционалним алатима примењене математике.

У студији [9] разматрано је испитивање и упоређивање неколико модела сила трења који се баве различитим феноменима трења у контексту динамике виштелесног система. У овој студији је описан укупно 21 различит модел силе трења и њихове основне физичке и рачунске карактеристике су размотрене и упоређене у детаље. Из добијених резултата може се констатовати да и избор модела силе трења и укључених параметара трења могу значајно утицати на симулирани/моделовани динамички одзив механичких система са трењем. Ова студија илуструје да за правилно моделирање, анализу и симулацију понашања трења у системима са више тела, мора се усвојити одговарајући модел трења када је значајна природа расипања енергије и њена квантификација, онда се препоручују динамички модели [9].

Циљ истраживања у раду [10] је, да се утврди динамички коефицијент трења „ μ_d “ за жути кукурузни гриз, пшеничне мекиње, сојину сачму, сачму од семена памука и мешавине неких од ових материјала који се користе за произвоњу пелета за сточну храну, под различитим вредностима притиска и температуре.

Развијен је уређај за одређивање динамичког коефицијента трења под притиском у распону од 9 kPa до 109 kPa и температуром од 30 до 150°C. Вредност „ μ_d “ је одређена на десет нивоа притиска „P“: 9, 18, 27, 42, 53, 65, 75, 88, 97 и 109 kPa и шест нивоа температуре „T“: 30, 50, 75, 100, 125 и 150°C. Утврђене вредности „ μ_d “ кретале су се у распону од 0,113 до 0,397 за жути кукурузни гриз, од 0,122 до 0,505 за пшеничне мекиње, од 0,105 до 0,410 за сачму памука, од 0,105 до 0,347 за мешавину сојине сачме од 0,5 до 0,19 [10].

Динамички одзив планарног крутог система са више тела са трењем штап-клизање у обртним спојевима са зазором разматран је у оквиру литературног навода [11]. LuGre-ов закон трења је предложен за моделирање трења штапа и клизања на окретним зазорним спојевима. Наводи се, да предложени закон може квантификовати варијација силе трења при промени брзине клизања, што га чини погодним за студије које укључују покрете штап-клизање. Применом LuGre-овог закона трења на типични механизам клизач-радилица, види се да сила трења у обртном зглобу који има зазор нема дисконтинуитет при нултој брзини клизања током симулације за разлику од статичких модела трења. Стога је у овој студији представљен једноставан и рачунарски ефикасан приступ континуираног моделирања и симулације трења штап-клизање у окретним зазорним спојевима планарног крутог система са више тела. LuGre-ов закон трења је предложен за моделирање трења штап-клизање израчунавањем ефективног коефицијента трења (μ) као функције релативне тангенцијалне брзине тела у контакту и унутрашњег стања споја (величине зазора). Развијени алгоритам омогућава дефинисање сила трења у зглобу са зазором током свих режима кретања рукавца унутар лежаја. Током периода удара и одскока између рукавца и лежаја, примећује се померање штап - клизање на микроскопским нивоима. Показало се да повећање брзине повећава силе трења, међутим, ефекат трења на укупно динамичко понашање механичког система, при чему сила трења варира и у зависности од испитиваног узорка (варира од једног до другог испитиваног кинематичког зглоба).

Постоје различите експерименталне технике за испитивање динамичког понашања трења између два материјала у зависности од брзине клизања. Да би се постигле веће

брзине и већи нормални притисци од оних који се виде у апарату на pin-on-disk, различите методе су коришћене за тестове динамичког трења. У овој студији је представљена нова експериментална метода која користи *Kolski* затезну шипку за одређивање динамичког коефицијента трења између металних материјала. Трибофрикциони уређај је пажљиво дизајниран да олакша клизање на интерфејсима када је подвргнут динамичком затезном оптерећењу. Као начин да се процени нова експериментална методологија, одређен је коефицијент трења између челика и алуминијума са две различите храпавости при брзини клизања од 8 m/s. Метода представљена у овој студији показала се као поуздан и поновљив начин мерења динамичког коефицијента трења између металних материјала. Примарна предност ове методе у односу на друге у литератури је у томе што су потребне минималне модификације постојећих објеката *Kolski* затезних шипки [12].

У чланку [13] је описан приступ који комбинује импулсивне силе (мере) са конвексном анализом. Расправа се дели на три случаја. Први је где је граница $v(t)$ континуирана; приметите да мера $(v^+ - v^-) M(q)dv$ има свој ослонац на дисконтинуитетима у v . Ово омогућава доказ валидности Kulon-овог закона за границу у свакој тачки континуитета v . Наравно, прави интерес је у дисконтинуитетима v . Други случај је да је фриктонски конус трансформисан са $M(q)^{-1}$ стриктно унутар тангентног конуса изводљивог региона. То јест, $n(q)^T M(q)^{-1} z > 0$ за било које $z \in FC(q)$ и $z \neq 0$. Чини се да је кршење овог услова од суштинског значаја за Painlev-ове и сродне примере. Коришћени аргумент неће бити овде описан, осим што користи резултат нееластичног удара. Коначни случај укључује Painlev-ов случај: то је случај где је равна трења једнодимензионална ($\dim \text{span } D(q) = 1$). Општи аргумент показује да је једини начин на који Kulon-ов закон не успе за границу ако нумерички импулси трења имају осцилације које нису $O(h)$ по величини у малом временском интервалу. Иако ови резултати не покривају све случајеве од интереса (нарочито дводимензионалне равни трења), они пружају задовољавајуће решење неких добро познатих „парадокса“ [13].

У раду [14] представљен је једноставан модел трења, који се састоји од равних додирних површина бесконачне ширине који клизе преко глатке површине. Храпавости су биле у виду попречних или уздужних жлебова. Израчунати су носивост, трење и коефицијент трења. У овом раду проучаван је утицај крутости и пригушења, као и проток и добијене вредности параметара трења упоређене са вредностима за сличне глатке стандардне облике. Види се да коефицијенти нове класе уређаја могу бити знатно већи, а проток мањи него код сличних конвенционалних лежајева када су дебљине филма мале. Закључује се да би требало да нађу корисну примену код многих уређаја, у условима када је потребно остварити одређену дебљину уљног филма и када цурење уља треба свести на минималну вредност.

Уређај заснован на претходно описаном концепту је веома прикладан за употребу и једноставан за израду. Такође се напомиње да би практично све врсте узорака различите храпавости биле прихватљиве за испитивање. У референци [15] исти аутор је истакао да су најпогоднији за испитивање узорци са израженом попречном и/или уздужном храпавошћу као и препоруку за примену методе код такозваних бесконачно широких лежишта, што омогућава генерисање аналитичких израза за хидродинамичке параметре као што су оптерећење, трење и проток. При чему се аутор при развоју теоријског модела и генерисању аналитичких израза позива на публикована истраживања дата у оквиру литературних навода [16, 17].

Резултати истраживања дати у оквиру литературног навода [18] представљају оптималну анализу за тачну процену динамичког коефицијента трења помоћу

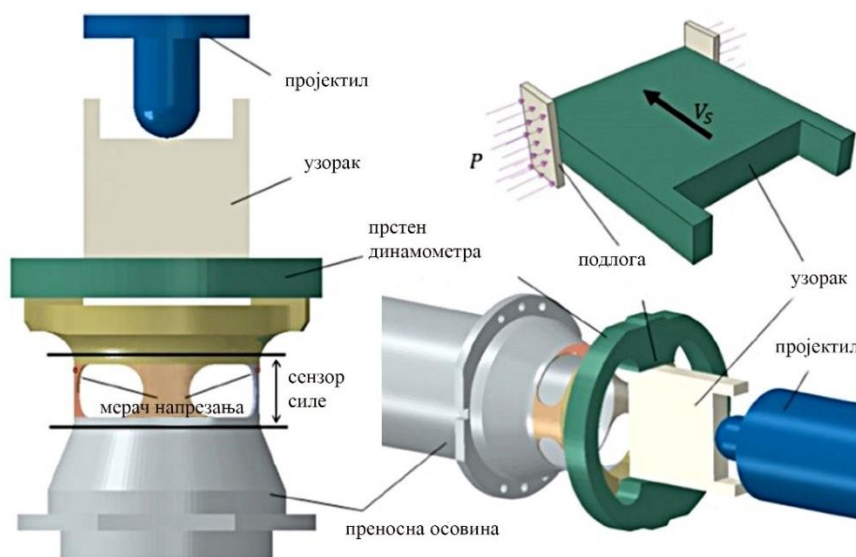
трибометарског уређаја. Тростандардни модел коначних елемената (FEM) је развијен да би се боље разумео тестно окружење и придружени метод за прецизно дефинисање коефицијента трења под динамичким оптерећењем. Аспект експерименталне методологије која се тренутно користи за дефинисање закона динамичког трења и његови главни недостаци су идентификовани и дискутовани. На основу FEM анализе, предложена је нова методологија за процену динамичког трења увођењем концепта фактора корекције који се може користити за корекцију старих експерименталних података. Циљ овог рада је да се анализира динамичко трење између две плоче које се крећу једна у односу на другу. Главни фокус је да се испита метода која користи специфични балистички трибометар [19 – 21] за предвиђање фактора динамичког трења. Значај ове студије је да се исправи постојећи погрешан приступ мерења процене динамичког коефицијента трења екстрахован из експерименталних података. Тренутни погрешан прорачун динамичког трења приписује се нетачној претпоставци равномерне расподеле поља деформације у сензору силе. Ова погрешна претпоставка је због чињенице да су читавања само два мерача, фиксирана симетрично, коришћена за дефинисање поља деформације током експеримента.

Два најважнија параметра током експерименталног испитивања су: примењени нормални притисак P и почетна брзина удара V_0 . Почетна брзина удара се мери помоћу ласерских сензора и зависи од почетног притиска у гасном пиштољу. Слика 2.2.7 приказује резултате узорка два сигнала мерена током типичног експеримента са почетном брзином једнаком 23 m/s и притиском од 49 МПа[22]. Деформације се мере на две супротне стране сензора оптерећења на његовим спољним површинама. Додатно, узимајући у обзир ова два параметра и геометрију уређаја, коефицијент динамичког трења, $\mu(t)$, може се израчунати преко односа силе трења и нормалне силе [22].

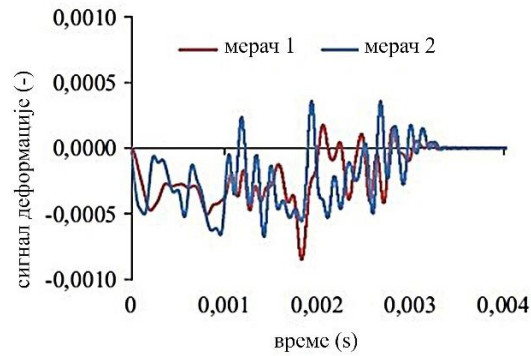
Сила трења F_T и нормална сила F_N су дефинисане на следећи начин:

$$F_T(t) = E \cdot A_G \cdot \varepsilon(t) \text{ и } F_N = P \cdot A_C \quad (2.2.1)$$

Овде је E Јунгов модул, A_G је попречни пресек дела са залепљеним мерилима, P је примењени нормални притисак и A_C је површина контакта. Њихове одговарајуће вредности коришћене у прелиминарној анализи су наведене у табели. Ниво деформације $\varepsilon(t)$ који се користи за израчунавање силе трења (једначина 2.2.1) узима се као просек читавања два мерача деформације [22].



Слика 2.2.4 Детаљан опис уређаја који се користи за динамичка мерења трења, дефиниција зоне сензора силе [22].

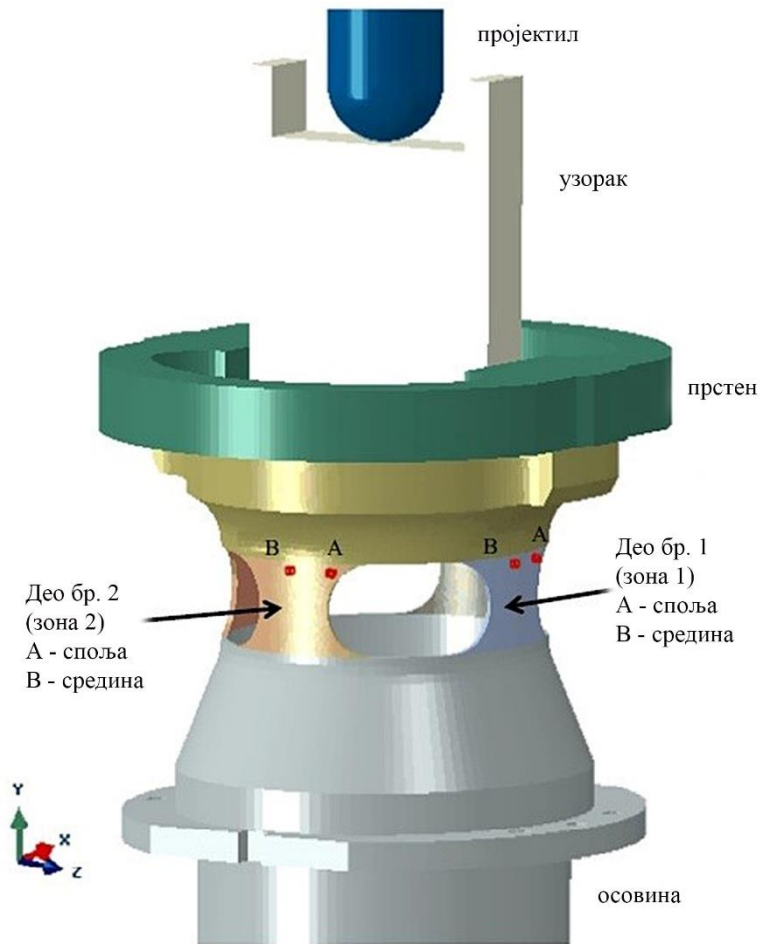


Слика 2.2.5 Експериментални пример сигнала деформације у два мерача за почетну брзину од 23 m/s и притисак од 49 MPa [22].

Параметри који се користе за прорачун коефицијента трења су: $E=210000 \text{ MPa}$, $A_C=120 \text{ mm}^2$ и $A_G=20 \text{ mm}^2$

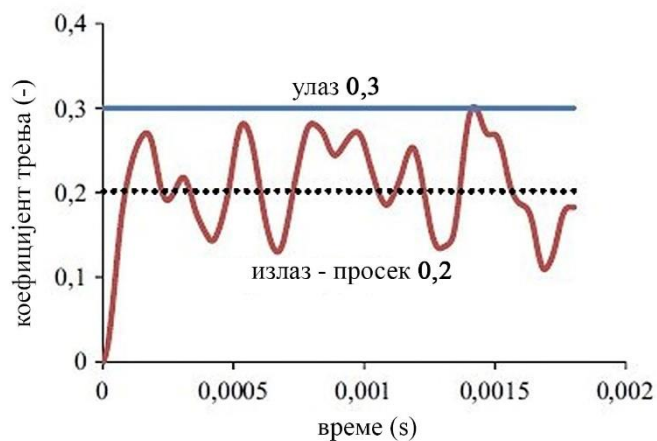
Прелиминарна нумеричка анализа је првобитно спроведена да би се верификовала претходна анализа трења. Основни циљ је био да се симулира динамички процес трења методом коначних елемената (Слика 2.2.6). Прелиминарна анализа је подељена у два корака:

- 1) Претензија – статичка анализа за добијање почетне конфигурације за корак динамичке анализе. Циљ овог дела је био да се пронађе однос између дебљине јастучића и примењеног нормалног притиска.
- 2) Утицај – динамичка анализа за предвиђање понашања трења између површина у интеракцији. Важност овог корака је да је у нумеричкој анализи могуће претпоставити коефицијент трења, а затим проверити да ли приказана методологија може да задржи исту вредност трења.

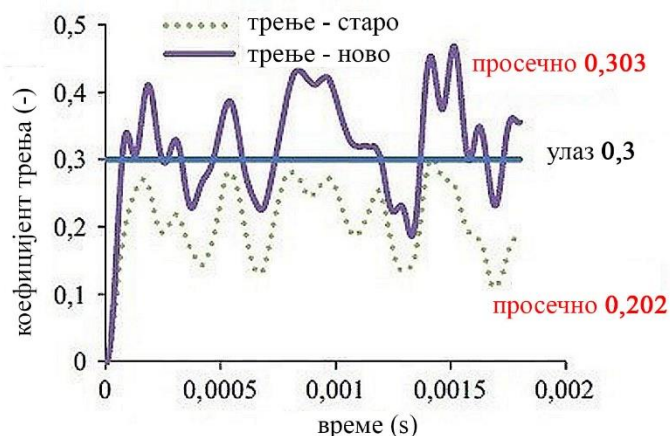


Слика 2.2.6 FEM модел који се користи за процену уређаја за мерење динамичког трења.

Провера вредности коефицијента трења за случај $V_0=23$ m/s и $P=49$ МРа коришћењем нумеричких симулација и поређење две методологије приказана је на сликама 2.2.7 и 2.2.8.



Слика 2.2.7 Провера вредности коефицијента трења за случај $V_0=23$ m/s и $P=49$ МРа коришћењем нумеричких симулација.

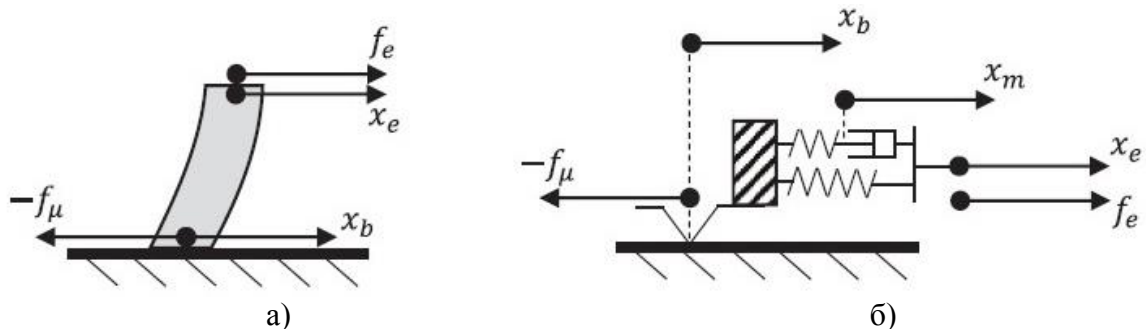


Слика 2.2.8 Поређење коефицијента трења добијеног нумерички између две методологије, $V_0=23$ m/s и $P=49$ МРа.

У овом раду се детаљно разматрају многи аспекти тренутне нетачне експерименталне методологије која се користи за дефинисање закона динамичког трења. Идентификовани су и дискутовани главни проблеми ове старе методе. Стога је предложена нова методологија за прецизно дефинисање динамичког коефицијента трења за даље експерименте са прстеном динамометра. Нова методологија је развијена нумерички уз коришћење коначних елемената којима су симулирани реални експерименти. Треба бити опрезан код методе моделирања коначних елемената у смислу стварне контактне површине. У ствари, контактна површина се мења са нормалним притиском и не може се претпоставити константном. Нумерички је показано да једноставан приступ анализи приказан у [19-22] није довољан да се прецизно процени коефицијент трења под динамичким оптерећењем за различите нормалне притиске. Неколико претпоставки коришћених у тим старим студијама није било конзистентно у погледу дефинисања просечне деформације помоћу динамометра и брзине клизања током процеса. У овом раду је развијена прецизна анализа заснована на инверзној методи да би се процениле тачне вредности и да би се кориговали претходни експерименти [22]. Кључни исход је идеја да се уведе корективни фактор за корекцију старе методологије како би се тачно дефинисао динамички коефицијент трења. Генерално, утврђено је да овај фактор корекције зависи од почетног притиска и брзине ударца и независан од коефицијента трења.

У раду „A model for the dynamic friction behaviour of rubber-like materials” - Модел за динамичко понашање трења материјала сличних гуми [23] аутори наводе: „предлажемо једноставан аналитички модел трења који описује динамичко понашање трења између материјала сличних гуми и крутих површина“. Пратимо Кулон-ов закон трења тако што разликујемо статичка и кинетичка стања трења, усвајамо основну идеју модела чекиња и уводимо неколико нових карактеристика – посебно дисипативно еластичност чекиње и прилагодљиво пролазно понашање. Они омогућавају нашем моделу трења да покрије многа важна експериментална запажања као што су претходно клизање, прелаз мировање/клизање, сила трења зависна од брзине, опуштање, клизање, итд.

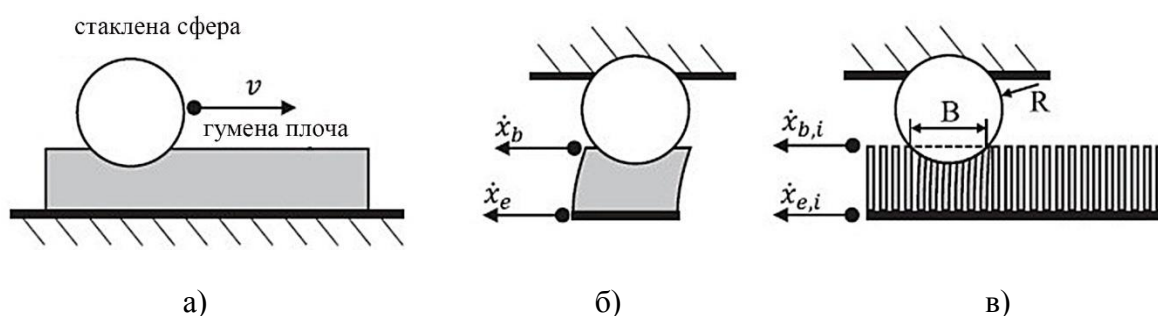
Предложени модел трења је конструисан као модел чекиње (слика 2.2.9а) и може се поделити на два дела: еластичност и површинско трење. У 1D кретању чекиње на крутој површини, x_e и x_b означавају, респективно, тангенцијални положај горње и доње стране чекиње у односу на површину.



Слика 2.2.9 Предложени модел трења: а) Општа структура модела, (б) 1D пример модела, представљен коришћењем опруга, амортизера, масе и фриксионог елемента.

Да бисмо потврдили предложени модел и упоредили га са другим моделима трења, поставили смо шест симулација. Првих пет симулација је спроведено ефективним моделирањем гумене плоче као једне чекиње (слика 2.2.9б) са сваком од пет разматраних модела трења. Ови модели су:

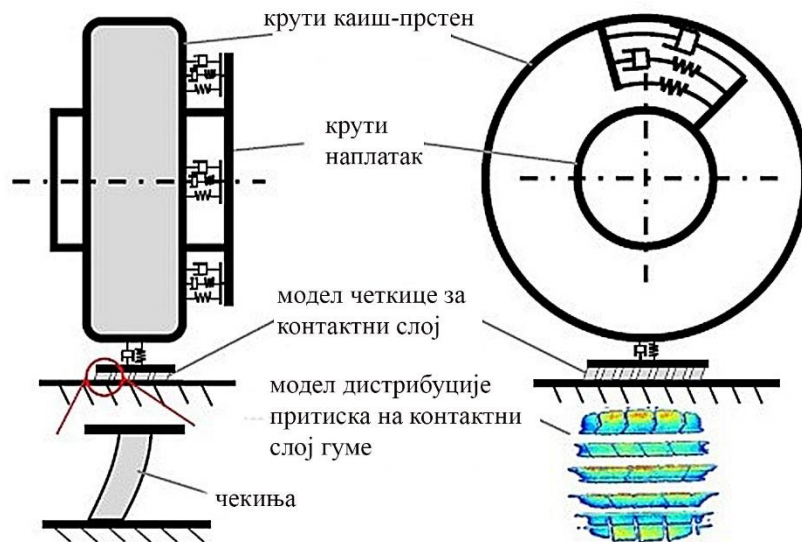
- предложени модел трења,
- Kulon-ов модел трења са зависношћу од еластичности и брзине (добиле се, ефективно, постављањем $a_{lin} = \text{const.} = 0$ у нашем предложеном моделу трења, као што је поменуто у
- Dal-ов модел,
- модел LuGre и
- модел Elasto-Plastic



Слика 2.2.10 Стаклена сфера која клизи по гуменој плочи, (а) илустрација Barkins-овог експеримента [24], (б) моделирање гумене плоче као једне чекиње, (в) Моделирање гумене плоче као распоређених чекиња.

Да бисмо потврдили модел у практичнијем, 2D сценарију, имплементирали смо га у модел гуме и симулирали силу трења између газећег слоја гуме и тла. Модел гуме је састављен из три дела (слика 2.2.11):

- (1) Модел крутог прстена: моделира еластичност трупа гуме с'обзиром на крути наплатак, крути прстен за каиш, еластичност између и вертикалну еластичност у односу на тло.
- (2) Модел четке: равномерно дискретизује контактну површину пнеуматика у низ чекиња без масе, налик на четкицу са растојањем од 10 mm и у уздужном и у бочном правцу, и одговоран је за симулацију силе трења између навоја пнеуматика и тла.
- (3) Модел контактнoг притиска: израчунава продужетак контактне површине пнеуматика и нормално оптерећење на свакој чекињи, од чега зависе максималне статичке и стабилне кинетичке силе трења чекиње, f_h и f_g , респективно.

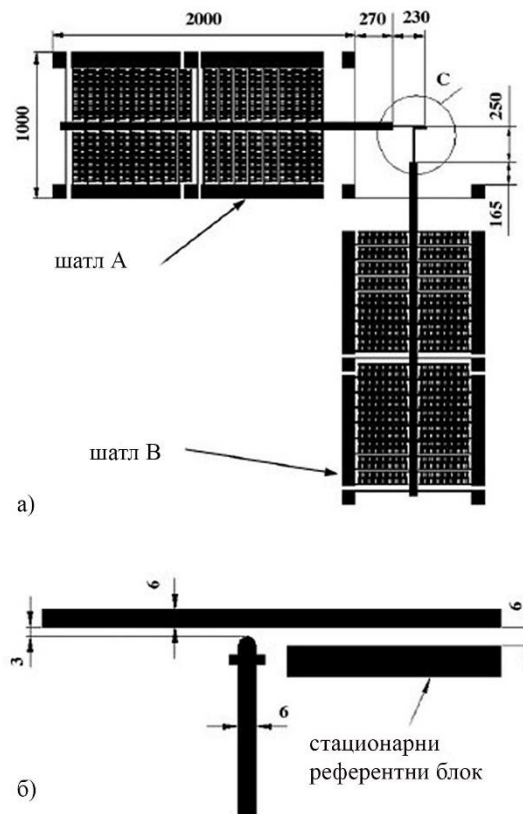


Слика 2.2.11 Модел гуме.

У овом раду смо предложили аналитички модел трења који описује динамичко понашање трења материјала сличних гуме на крутој површини. Главне карактеристике овог модела укључују еластичност која се може конфигурисати, видљива статичка/кинетичка стања трења, силу трења зависну од брзине и прилагодљиво пролазно понашање. Поред тога, увели смо проширење предложеног модела трења на 2D кретање, како бисмо проширили његову применљивост на шире поље случајева као што је, на пример, трење газећег слоја гуме на тлу у комбинованом 2D кретању. Потврђен мерењима добијеним у три експеримента, доказано је да предложени модел тачно репродукује многе важне феномене у трењу гуме, на пример, предклизање, прелаз пријањања/клизања, процес релаксације, проклизавање, итд. Поређења математичких структура и модела понашања показују предности предложеног модела у односу на добро познате моделе трења као што су LuGre, Coulomb, Dahl и Elasto-Plastic модели у горе поменутих феноменима.

У студији [25], развијена је нека врста микро-триботестера на чипу да би се истражило бочно понашање трења једнокристалних силицијумских MEMS уређаја. У овом триботестеру два актуатора са чешљастим погоном, структура за испитивање и сензори силе су интегрисани на једној подлози помоћу стандардних MEMS процеса производње, обезбеђујући да радно стање контактне пара буде аналогно оном у стварним MEMS уређајима. У поређењу са претходним истраживањем на чипу о полисилицијумским материјалима и производњи површине, ова студија се фокусира на монокристални силицијумски материјал, који се широко користи за MEMS уређаје. Једноставна конфигурација и одговарајуће димензије микро-триботестера приказане су на слици 2.2.12, где се као јединица користи микрометар. Триботестер се углавном састоји од два одвојена актуатора чешљастог погона, А и В, који су распоређени тако да буду у равни један на други. Шатл В у систему делује као структура за оптерећење да би пружио нормалну силу уређају, а шатл А се креће напред-назад како би понудио фрикционо кретање. Покретни део сваког шатла је механички ослоњен на шест висећих греда, које су причвршћене за стегнуте правоугаоне блокове. Симетрична структура греда обезбеђује да се покретни део шатла креће у фиксном правцу. У ненапућеном стању, постоји размак, 3 μm како је пројектован, између продужене руке шатла А и врха крака шатла В (увећани део С је приказан на слици 2.2.12б). Применом одговарајућег пристрасног једносмерног напона на шатлу В, врх продужене руке шатла В и продужени крак шатла А могу доћи у контакт. Оптерећење контакта се може

подесити у опсегу од нула до око $350 \mu\text{N}$ променом вредности једносмерног напона примењеног на шатлу В. Квазистатичко или динамичко испитивање трења може да се уради са триботестером наметањем рампинг једносмерног напона или пристрасног синусног напона на шатлу А, респективно. Сила трења која делује на бочну додирну површину може се израчунати из измереног отклона крака шатла В. Да би се олакшало мерење отклона испружених кракова под микроскопом, стационарни референтни блок је уграђен на бочним странама кракова и врх продужене руке шатла В је дизајниран у облику крста. Вредности нормалне силе и одговарајуће силе трења могу се добити кроз релативна кретања испруженог крака А и В према стационарном референтном блоку. Односи сила трења према нормалним силама се такође могу добити преко тестираних вредности.



Слика 2.2.12 Структура пројектованог триботестера: (а) конфигурација микротриботестера, (б) повећање дела С.

Микро-триботестер је успешно дизајниран, произведен и коришћен да симулира триболошка својства монокристалних силицијумских MEMS уређаја. Овај уређај у потпуности интегрише два актуатора са чешљастим погоном, контактни пар и сензоре силе на једном чипу по стандардној MEMS технологији. Из резултата се могу извући следећи закључци:

- (1) Триботестер може успешно симулирати услове трења на бочним зидовима монокристалног силицијумског MEMS материјала.
- (2) Током испитивања коефицијента статичког трења уочено је клизање. Измерени коефицијент статичког трења је око 0,9.
- (3) Коефицијент динамичког трења више није константна вредност када је нормална сила примењена на контактни пар променљива. Тестирана вредност је у опсегу од 0,24–0,35.

Овом приликом даје се кратак преглед публикованих радова који су у одређеном смислу у складу са темом ове докторске дисертације. У радовима [26, 30] излажу се резултати триболошких истраживања нодуларног лива као и аналогија, у смислу успостављања корелативне везе између триболошких и металуршких карактеристика (параметара) испитиваног материјала. Концепт конструктивних решења развијених и реализованих трибометара и тестирање трибометра изложено је у оквиру литературних навода [27, 28, 29, 30]. Теоријске поставке концептуалних решења и анализа потенцијалних грешака мерења изложена је у радовима [31, 35]. Концепт SLIDE-ROLL адаптера и симулација трења и хабања на трибометру TPD-2000 дата је у оквиру литературног навода [32]. Алгоритам наменски развијеног софтвера и приказ извештаја о обављеним истраживањима дат је у раду [33]. На крају, у оквиру референце [34] изложени су резултати индустријске примене топлоте генерисане трењем.

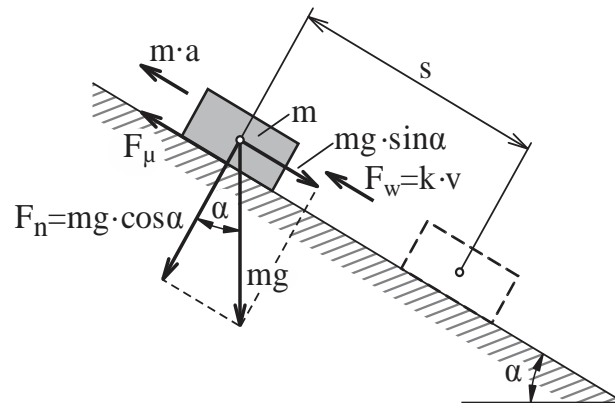
Искуства у настави са наших и престижних светских универзитета показују да студенти веома често наилазе на потешкоће при сагледавању и суштинском разумевању феномена трења [36 - 39]. Имајући наведено у виду, на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, уназад десетак година, посебна пажња посвећује се унапређењу наставе и лабораторијских вежби из предмета који су тангентни са проблематиком трења и хабања. Трење је један од фундаменталних проблема у физици, са широком применом у многим областима инжењерства, на Факултету инжењерских наука развијен је реконфигурабилни сет којег чини низ модула за испитивање статичког и кинематског трења клизања и котрљања. Наведени сет се примењује у лабораторијским вежбама за демонстрирање везе између теоријских знања и резултата који се добијају путем експеримента. У сарадњи са истраживачима са других универзитета у земљи и иностранству, публикован је већи број радова [40 - 53].

Статичко трење котрљања при повишеним температурама разматрано је у оквиру литералних навода [40, 41], утицај контактнoг притиска на величину коефицијента трења образлаже се у наводу [42], утицај повишене температуре на коефицијент трења клизања излаже се у раду [43], резултати истраживања трења заптивки хидрауличног цилиндра у средини високог нивоа вакуума излажу у литературном наводу [44] док се анализа утицаја високих температура на вредност коефицијента клизања излаже у раду [45].

Кинематски коефицијент трења се, генерално посматрано, у свим условима оптерећења контакта, може одредити потпуно другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења. Прва публикована теоријска истраживања везана за одређивање кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања тела низ стрму раван објавио је Ojler 1750. године [46]. Слободно се може рећи да ова метода, нажалост, ни после 275 година у сфери науке, а посебно у сфери технологије пројектовања савремене трибодиагностичке опреме, није доживела ширу експанзију. У сфери науке, мањи број публикованих истраживања (претежно у часописима који покривају област едукације из области физике базира или је тангентан са Ojler-овим истраживањима.

Пратећи Ojler-ову идеју, група аутора [47] публиковала је резултате истраживања који представљају једну од ретких публикованих експерименталних верификација Ojler-ове методе за одређивање кинематског коефицијента трења. У теоријском и експерименталном смислу група аутора [47, 48] надградила је Ojler-ов теоријски модел додавањем реално постојеће силе отпора ваздуха која се, са аспекта грешака мерења мора узети у обзир у условима кретања тела низ стрму раван при већим брзинама кретања и/или малим вредностима коефицијента трења. Основе надграђеног Ojler-овог

теоријског модела базирају на мерењу времена које је потребно телу масе m да низ стрму раван пређе пут дужине s , што је илустровано шемом датом на слици 2.2.13.



Слика 2.2.13 Кретање тела низ стрму раван – анализа сила [47].

У оквиру даљег развоја Ојлер-ове методе и резултата публикованих истраживања [48] показано је да се овем методом могу квантификовати енергетски губици настали услед трења и несавршености геометрије контактних парова реда величине $0,01 \text{ J}$.

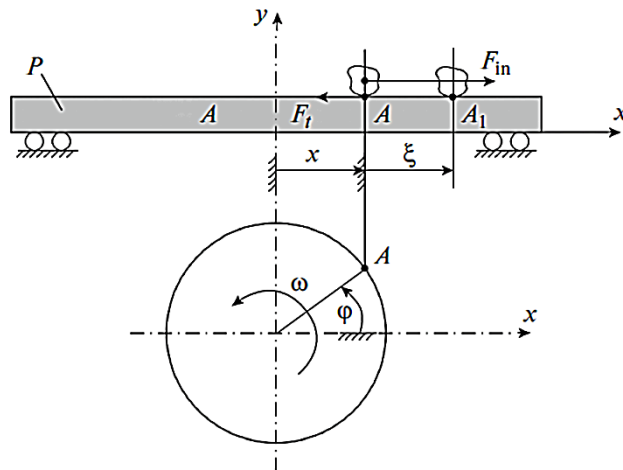


Слика 2.2.14 Фотографски прикази модула намењеног истраживањима у области кинематског трења, надграђеног на основну конфигурацију уређаја [48].

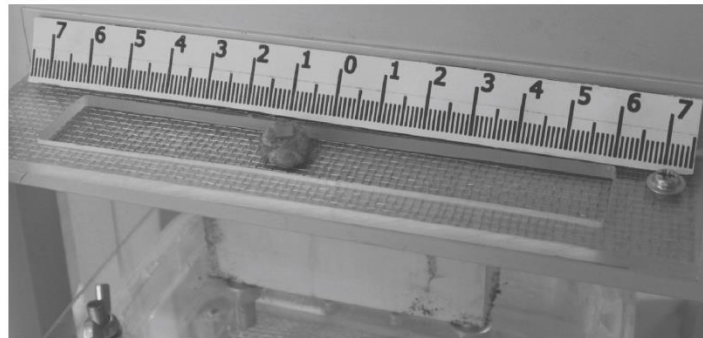
Један од ретких радова који не базира на стрмој равни, већ на Ојлер-овој идеји да се преко диференцијалне једначине кретања одреди кинематски коефицијент трења објављен је у тематском часопису из области трибологије [1]. На сликама 2.2.15(а-в) приказан је реализовани уређај широког спектра могућности који симулира рад вибрационе платформе (2.2.15а), механички модел распореда сила на вибрационој платформи (2.2.15б.) и фотографски приказ грануле песка на ситу.



a)



б)



в)

Слика 2.2.15 Реализовани уређај широког спектра могућности који симулира рад вибрационе платформе (а), механички модел распореда сила на вибрационој платформи (б) и фотографски приказ грануле песка на ситу (в).

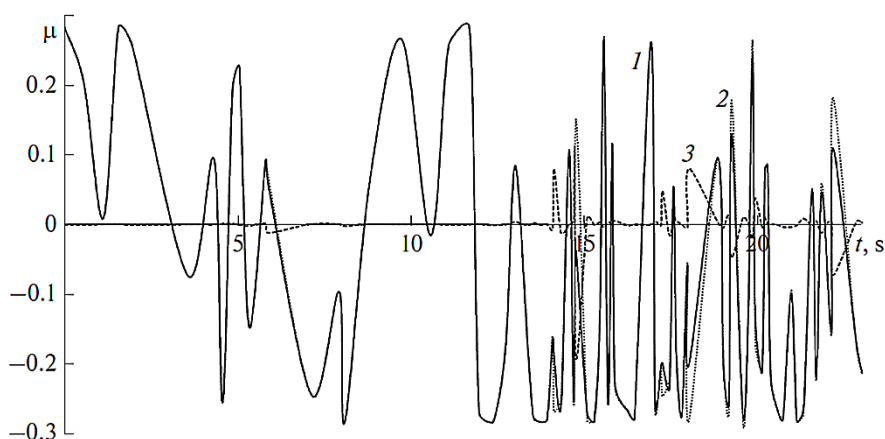
На основу теоријских разматрања изложених у литературном наводу [1] коефицијент трења је одређен на основу диференцијалне једначине кретања грануле песка по ситу. У наведеном раду изложен је веома комплексан теоријски модел који математички презентира услове динамичке равнотеже грануле песка и ефекте преносног и релативног кретања на промену убрзања и положаја (координате) грануле песка у

функцији времена. За прорачун су коришћени експериментално добијени подаци који су дати у оквиру литературног навода у табели 2.2.1.

Табела 2.2.1 Експериментално добијени подаци коришћени за прорачун коефицијента трења грануле песка и сита [1].

t, s	$\Delta t, s$	$\Delta \xi, mm$	$\Delta Vr, mm/s$	$Vr = \Delta \xi / \Delta t, mm/s$	$a_r = \Delta Vr / \Delta t, mm/s^2$	μ_{ar}	μ_{pl}	μ
0.00	0	0	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.28231	0.28231
0.56	0.56	-1	-1.786	-1.786	-3.189	-0.00033	0.20257	0.20225
1.12	0.56	-0.5	0.893	-0.893	1.594	0.00016	0.00840	0.00856
1.56	0.44	1	3.166	2.273	7.195	0.00073	0.28097	0.28170
1.96	0.40	-0.5	-3.523	-1.250	-8.807	-0.00090	0.25485	0.25395
...
22.16	0.04	-1	-28.571	-25.000	-714.286	-0.07281	0.18211	0.10930
22.84	0.68	1	26.471	1.471	38.927	0.00397	-0.17378	-0.16981
23.04	0.20	1	3.529	5.000	17.647	0.00180	-0.20960	-0.20780
23.16	0.12	1	3.333	8.333	27.778	0.00282	0.28231	0.28515
23.24	0.08	3	29.167	37.500	364.593	0.03716	-0.23912	-0.20195

Дијаграмски приказ промене коефицијента трења у времену приказан је на слици 2.2.16.



Слика 2.2.16 Дијаграм промене коефицијента трења између грануле песка и сита у функцији времена [1].

Резултати ових истраживања су у сагласности са литературним изворима који конвенционалним методама третирају проблематику трења на вибрационим платформама [48, 49, 50, 51].

У протходних, више од пет година, аутор ове докторске дисертације, аутори рада [1] и већи број компетентних истраживача, са високошколских институција био је укључен у истраживања везана за разматрање могућности, то јест, анализе теоријског и технолошког потенцијала методе одређивања кинематског коефицијента трења преко

диференцијалних једначина кретања, што представља претечу предметне докторске дисертације. Наиме, сматра се да предложена метода има велики потенцијал у теоријском, експерименталном и технолошком смислу, као и "футуристички" речено са аспекта могућности њене индустријске примене при квантификавању трења и губитака енергије у реалним индустријским системима.

Публикована истраживања на тему ове докторске дисертације [53] указују да се кинематски коефицијент трења, генерално посматрано, у свим условима оптерећења контакта, може одредити потпуно другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења. Метода која се предлаже односи се на одређивање кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања при обртању тела, при чему активна сила на обртно тело делује само у тренутку иницирања кретања, док статичку и динамичку компоненту жељеног оптерећења контакта типа "рукавац-лежај" обезбеђује масе тела, концентрично и ексцентрично распоређене у односу на осу обртања. Ако се експерименталним путем одреди зависност промене угла обртања тела у функцији времена, онда је на основу динамичке једначине кретања могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у читавом периоду времена, од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела.

Изложени резултати у оквиру литературног навода [54] односе се на теоријска и експериментална истраживања кинематског коефицијента трења котрљаног лежаја у условима иницирања обртног кретања динамичком ударном силом. Након иницирања кретања и престанка дејства спољашње силе (Ударног импулса) кретање се наставља, при чему оптерећени лежај (зона лежаја у којој дејствују силе отпора трења) пролази читав спектар брзина, од максималне брзине у тренутку иницирања кретања, до њене нулте вредности при заустављању кретања. Аутори наводе да су резултати истраживања приказани у раду компатибилни са резултатима добијеним применом конвенционалних трибодијагностичких метода и указују на физичку везу коефицијента трења и угаоног убрзања, тј. убрзања као енигме трења.

У наведеним радовима [53, 54] аутори такође наводе да се методологија одређивања коефицијента трења, своди на мерење две основне физичке величине, угла обртања и времена, што у теоријском и експерименталном смислу има значајну предност у односу на конвенционалне методе одређивања коефицијента трења. Анализе изведене у оквиру поглавља дискусије радова указују на експерименталну верификацију теоријске везе угаоног убрзања и коефицијента трења. Промене убрзања, ма ког нивоа амплитуде и фреквенце постоје у сваком динамичком систему и у великој мери могу одгонетнути енигму кинематског коефицијента трења. Аутори рада сматрају да је убрзање својеврстан физички и енергетски показатељ трења и расипања енергије у трибомеханичким системима. Убрзање такође дефинише комплетну динамику самог процеса трења без увођења побуда и потенцијалних грешака мерења, које у знатно већој мери могу изазвати мерни инструменти за квантификавање нормалног оптерећења контакта и силе трења у зони контакта.

3. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ПРЕДЛОЖЕНЕ МЕТОДЕ

Истраживања на тему докторске дисертације припадају трибологији као интердисциплинарној науци и технологији која се бави интеракцијом контактних површина при релативном кретању једног тела у односу на друго тело у присуству оптерећења зоне контакта. Оптерећења контакта, са аспекта нивоа оптерећења, врсте оптерећења (статичко, динамичко) и услови у којима се остварује контакт (присуство мазива, повећане температуре, агресивна средина, итд.) могу бити различити.

Предмет рада односи се на развој, у суштини нове методе за одређивање кинематског коефицијента трења. Развој методе подразумева: развој теоријске базе методе, развој прототипа уређаја, развој софтвера и експерименталну верификацију методе. Добијени резултати треба да укажу на предности и области могуће примене предложене методе у односу на постојеће, у свету развијене методе одређивања кинематског коефицијента трења.

Метода се разматра у условима динамичких оптерећења контакта. Квантификовање параметара трења у условима изражених динамичких оптерећења спада у најкомплексније видове оптерећења. Посебно са аспекта дијагностике реалних вредности трибометријских величина.

Кинематски коефицијент трења се, генерално посматрано, у свим условима оптерећења контакта, може одредити другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења. Метода која се предлаже заснива се на одређивање кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања тела при обртању око непомичне осе. При чему активна сила на обртно тело делује само у тренутку иницирања кретања.

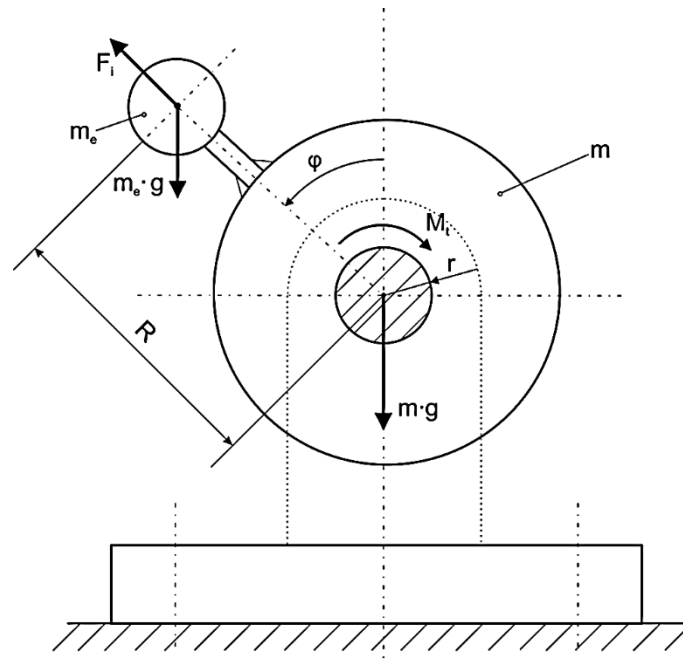
Иницирање кретања (обртања) може се извести мануелно (ручно), импулсом силе удара, преко електромагнетне спојнице или на другачији начин. Иницирање кретања активном силом има за циљ да у систему кретања акумулира одређену количину енергије и да систем на бази акумулиране енергије настави кретање и после престанка дејства активне силе, пролазећи кроз читав спектар брзина, од максималне почетне брзине па до нулте вредности брзине обртања у тренутку заустављања кретања.

Идеја предложене методе своди се на чињеницу да се познавањем (праћењем и мерењем) промене угла обртања у функцији времена, преко диференцијалне једначине кретања тела при обртању око непомичне осе, могу одредити тренутне вредности кинематског коефицијента трења у читавом спектру брзина обртања кроз које тело пролази од тренутка иницирања кретања до тренутка престанка обртања.

У овој докторској дисертацији разматрају се само два од већег броја могућих случајева иницирања кретања и постизања динамичког оптерећења клизних или котрљајних контактних парова.

Први разматрани случај се односи на мануелно (ручно) иницирање кретања. У овом случају разматра се контакт, типа "рукавац - лежај". Статичку и динамичку компоненту жељеног оптерећења контакта, обезбеђују масе тела, концентрично и ексцентрично распоређене у односу на осу обртања.

Метода одређивања кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења контакта, у општем случају, базирана је на диференцијалној једначини кретања тела око непомичне осе (Слика 3.1),



Слика 3.1 Шематски приказ распореда активних и отпорних сила при обртању тела око непомичне осе.

Кретање тела се описује диференцијалном једначином:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = \sum M_i = M_a - M_t - M_w \quad (3.1)$$

где је:

I - масени момент инерције;

ω - угаона брзина обртања;

M_a - активни момент којим је иницирано кретање;

M_t - резултујући момент интегралног збира елементарних отпорних момената трења по површини контакта;

M_w - резултујући момент отпора ваздуха.

Ако се експерименталним путем одреди зависност промене угла обртања тела у функцији времена, онда је на основу динамичке једначине кретања могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у читавом периоду од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела.

Након дејства импулса силе која у кратком временском интервалу Δt_1 иницира кретање активним моментом M_a из диференцијалне једначине 1. за интервал времена $\Delta t_1 < t$ следи:

$$M_a = 0. \quad (3.2)$$

С обзиром да је ($\Delta t_1 \ll t$), односно $\frac{\Delta t_1}{t} \rightarrow 0$ тело у дугом временском интервалу наставља кретање без присуства активног момента користећи енергију акумулирану при иницирању кретања.

Сила отпора ваздуха која ствара отпорни момент M_w се може одредити на основу аеродинамичког коефицијента, брзине обртања и величине површине на којој дејствује сила отпора ваздуха према познатом изразу:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2, \quad (3.3)$$

где је:

C_d – Аеро динамички коефицијент облика тела на који делује отпор струјница ваздуха;

ρ – густина ваздуха;

A – величина површине тела на којој делује отпор ваздуха;

v^2 – квадрат брзине кретања тела.

Метода која се разматра, подразумева мерење и познавање тренутних вредности брзина кретања тела и може узети у обзир утицај отпора ваздуха (F_w) као паразитне силе с обзиром да су све остале величине дате у изразу познате. То би у одређеној мери повећало тачност мерења. Међутим, о овим разматраним случајевима, с обзиром на вредности површине A која је изложена отпору струје ваздуха и величини квадрата брзине – v^2 , утицај силе отпора ваздуха на тачност одређивања коефицијента трења је занемарљив. То потврђују и резултати детаљних анализа везаних за утицај отпора ваздуха на грешку мерења коефицијента трења публиковани у оквиру литературног навода [10].

Занемаривањем отпора ваздуха као величине нижег реда и посматрањем периода кретања тела након иницирања кретања, може се писати

$$M_a = 0, F_w \rightarrow 0, \quad (3.4)$$

сада се диференцијална једначина 3.1. своди се на облик:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_t = F_T \cdot r \quad (3.5)$$

где је:

M_t – момент трења;

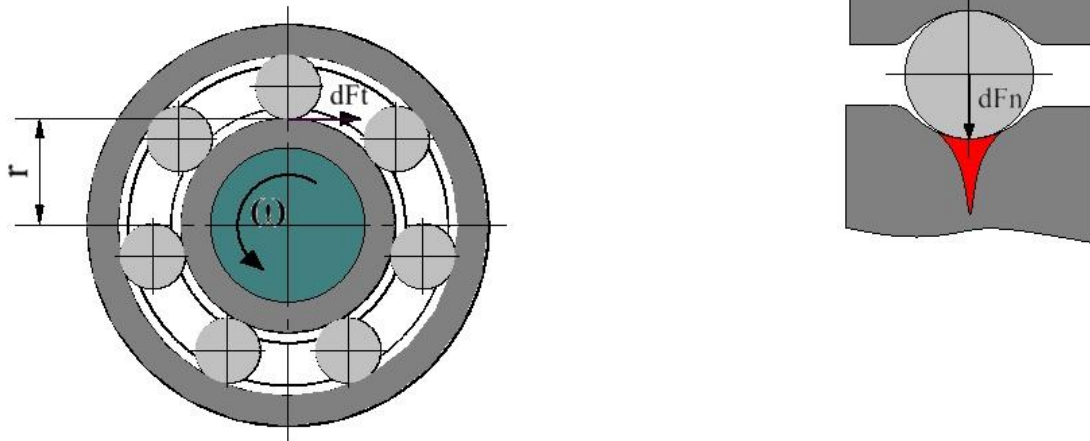
F_T – резултујућа сила трења у контакту;

r - радијус на којем делују елементарне силе трења (Слика 3.2).

Резултујући момент трења је једина непозната величина у диференцијалној једначини кретања и на основу слике 3.2. одређена је изразом:

$$M_t = \iint r \cdot dF_T = F_T \cdot r \quad (3.6)$$

који укупну силу трења дефинише као интегрални збир елементарних сила трења по површини контакта.



Слика 3.2 Шематски прика распореда отпорних сила трења клизања или трења котрљања при обртању тела око непомичне осе.

На основу шеме дате на слици 3.1 сила трења F_T се може дефинисати у функцији коефицијента трења, компоненте силе статичког оптерећења контакта,

$$F_s = (m + m_e), \quad (3.7)$$

и компоненте силе динамичког оптерећења контакта

$$F_d = m_e \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \cos\varphi, \quad (3.8)$$

преко израза:

$$F_T = \mu \cdot F_N = \mu \cdot [(m + m_e) \cdot g - m_e \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \cos\varphi] \quad (3.9)$$

Заменом вредности силе трења из једначине 3.9 у једначину 3.5. добија се једначина:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = \mu \cdot r \cdot [(m + m_e) \cdot g - m_e \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \cos\varphi] \quad (3.10)$$

Из које следи коначни израз за прорачун вредности кинематског коефицијента трења при динамичком оптерећењу контакта у функцији угла обртања и угаоне брзине,

$$\mu = \frac{I \cdot \frac{d\omega}{dt}}{r \cdot [(m + m_e) \cdot g - m_e \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \cos\varphi]} \quad (3.11)$$

Угаона брзина ω и угаоно убрзање ε могу се, на основу познатих теоријских израза одредити нумеричким диференцирањем, па за довољно мале вредности њихових прираштаја важе једнакости:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\omega(t + \Delta t) - \omega(t)}{\Delta t} \quad (3.13)$$

Из наведених теоријских разматрања произилази да експериментално одређивање зависности промене угла обртања тела у функцији времена, омогућава одређивање вредности кинематског коефицијента трења при динамичком оптерећењу контакта у читавом периоду времена, од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела.

Други разматрани случај односи се на могућност одређивања кинематског коефицијента трења котрљања у условима иницирања обртног кретања динамичком ударном силом (Слика 3.3). Након иницирања кретања и престанка дејства спољашње силе (Ударног импулса) кретање се наставља, при чему оптерећени лежај (зона лежаја у којој дејствују силе отпора трења) пролази читав спектар брзина, од максималне брзине у тренутку иницирања кретања, до њене нулте вредности при заустављању кретања.

Метода одређивања кинематског коефицијента трења у овом случају такође полази од диференцијалне једначине 3.1, као у претходном разматраном случају, односно:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = \sum M_i = M_a - M_t - M_w \quad (3.14)$$

где је:

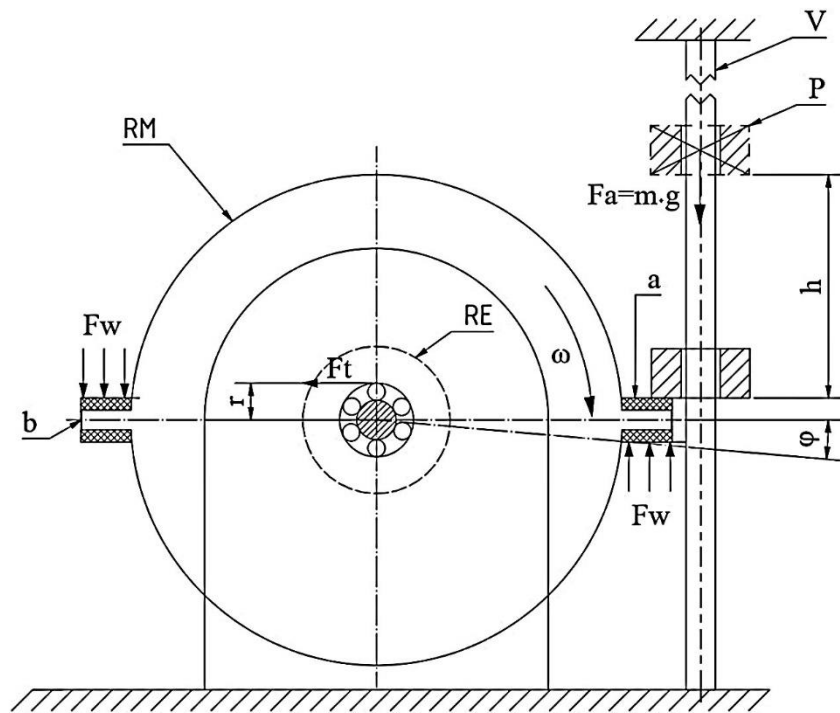
I - масени момент инерције;

ω - угаона брзина;

M_a - вредност активног момента којим се иницира кретање;

M_t - резултујући момент трења;

M_w - резултујући момент отпора ваздуха.



Слика 3.3 Иницирање кретања (обртања) ударном импулсном силом.

Пад тега са висине "h" силом, $F = m \cdot g$ удара у испуст диска и пригушивача удара "a" и иницира обртно кретање трибомеханичког система. Ако се прати и мери промена угла обртања у функцији времена, онда је као и у претходном разматраном случају, на бази диференцијалне једначине 3.1 могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у периоду времена од тренутка иницирања кретања до тренутка престанка обртања.

Активни момент M_a делује у врло кратком временском интервалу Δt_1 . У временском интервалу ($\Delta t_1 < t$) активни момент има нулту вредност, $M_a = 0$. При чему систем наставља кретање на бази акумулиране енергије без присуства активног момента.

Момент силе отпора ваздуха према претходним разматрањима и истраживањима везаним за литературни навод [18], у унутрвалу брзина $< 3 \text{ m/s}$, може се занемарити као величина нижег реда, па следи:

$$M_a = 0, F_w \rightarrow 0 \quad (3.15)$$

Па се диференцијална једначина 3.1, као и у претходном разматраном случају своди на једначину 3.5, односно:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_t = F_T \cdot r \quad (3.16)$$

где је:

M_t – момент трења;

F_T – резултујућа сила трења;

r – радијус контакта на којем делују елементарне силе трења.

Резултујући момент трења је такође дефинисан претходно датом једначином 3.6, односно изразом:

$$M_t = \iint r \cdot dF_t = F_T \cdot r, \quad (3.17)$$

који дефинише укупни момент трења као интегралну суму елементарних момената и сила које делују у зони контакта,

Из диференцијалне 3.5 произилази да се у овом разматраном случају коефицијент трења може одредити преко израза:

$$\mu = \frac{I \cdot \frac{d\omega}{dt}}{r \cdot g \cdot [\Sigma M]}, \quad (3.18)$$

при чему се, ΣM - односи на збир свих обртних маса које оптерећују лежај а величина " g " на земљино убрзање.

Угаона брзина ω и угаоно убрзање ε могу се као и у претходном разматраном случају одредити преко једначина 3.12 и 3.13, односно:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\varphi(t+\Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t} \quad (3.19)$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\omega(t+\Delta t) - \omega(t)}{\Delta t} \quad (3.20)$$

Из наведених теоријских разматрања произилази да експериментално одређивање зависности промене угла обртања тела у функцији времена, омогућава одређивање вредности кинематског коефицијента трења при динамичком оптерећењу контакта у читавом периоду времена, од иницирања кретања до тренутка престанка обртања тела.

У овом разматраном случају иницирања кретања могу се разматрати и тренутни енергетски биланси у току времена обртања система на бази акумулиране енергије, преко израза:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2, \quad (3.21)$$

$$A_t = E_t = r \cdot g \cdot [\sum M] \cdot \mu \cdot \Delta\varphi; \quad (3.22)$$

$$\Delta E = E_k - A_t \quad (3.23)$$

У оквиру поглавља анализе експериментално добијених резултата биће разматрани и енергетски биланси рачунати на бази изложеног теоријског модела.

Ако се експерименталним путем одреди зависност промене угла обртања тела у функцији времена, онда је на основу динамичке једначине кретања могуће одредити тренутне вредности коефицијента трења у читавом периоду од иницирања кретања до тренутка престанка обртног кретања. Поред тога, овом методом је, на основу експериментално одређене зависности угла обртања у функцији времена, могуће одредити и тренутне величине угаоних брзина и угаоних убрзања, тј. угаоних успорења насталих као последица деловања отпорне силе трења у читавом периоду обртања тела. Такође, могуће је и успоставити зависности између кинематског коефицијента трења и брзина и убрзања у зони самог контакта и пратити њихове промене, што омогућава знатно комплекснију анализу, а што не омогућавају постојеће методе.

Методологија одређивања кинематског коефицијента трења, која се предлаже у овом раду, нема суштинских ограничења. Коефицијент трења се може одредити у било којим условима остваривања контакта. Могу се испитивати клизни и котрљајни парови различитих трболошких карактеристика, при чему се ниво симулираног оптерећења, распон брзина клизања или котрљања, могу кретати у широком распону. При чему се овом методом, много једноставније, у односу на конвенционалне методе, испитивања могу вршити при симулацији различитих нивоа температурама контакта, и уопште, различитих услова који ближе дефинишу рад реалних трибомеханичких система (агресивна средина, систем подмазивања, итд.).

4. ПЛАН И ПРОГРАМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСПИТИВАЊА

Истраживања изложена у оквиру прегледа литературних извора као и истраживања рада у оквиру поглавља теоријске анализе, указала су на могућност одређивања кинематског коефицијента трења у условима динамички оптерећених контаката. Чиме се, теоријски посматрано, отвара могућност да се преко закона промене угла обртања у времену одреди коефицијент кинематског трења. Неопходност експерименталне верификације теоријског модела (Поглавље 3.) отворила је низ питања везаних за потребу развоја уређаја и наменског софтвера који би био подршка мерном систему уређаја.

Планирани развој и израда уређаја као и хардверска и софтверска подршка представљају предуслов за успешну реализацију експерименталних испитивања, али отварају и низ питања и проблема финансијске природе и потребе за ангажовањем специјализованих кадрова из области индустријске електронике, програмирања и машинског инжењерства.

Ангажовањем професора који подржавају тему ове дисертације и компетентних учесника поменутих специјалности проблем је превазиђен. Пројектована су и реализована два прототипа уређаја. Детаљи везани за функционисање и конструкције ових уређаја дати су у оквиру петог поглавља док су алгоритми и карактеристични детаљи везани за реализовани софтвер изложени у шестом поглављу док је комплетан реализовани софтвер дат у прилогу дисертације.

Основни критеријум при пројектовању уређаја и развоју софтвера односио се на оптимизацију, у смислу, да се расположивим финансијским средствима, креира решење које ће задовољити функције циља, односно омогућити:

- функционалност и лакоћу руковања,
- поузданост мерног система уређаја,
- формирање нумеричке базе података о тренутним вредностима угла обртања у току времена,
- обраду нумеричких података и креирање извештаја о обављеном испитивању.

Испуњење наведених функција циља креираног решења омогућило је извођење обимног програма експерименталних истраживања која су реализована кроз више од 60 независних експеримената и то:

- При ручном иницирању кретања изведено је укупно 10 независних експеримената,
- При иницирању кретања мањом енергијом импулсне силе удара (Слободни пад масе од 0,048 kg са висине 0,21 m) изведено је укупно 30 независних експеримената,
- При иницирању кретања већом енергијом импулсне силе удара (Слободни пад масе од 0,048 kg са висине 1.21 m) изведено је укупно 20 независних експеримената.

Резултати ових истраживања приказани су у оквиру седмог поглавља.

5. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРОТОТИПА УРЕЂАЈА

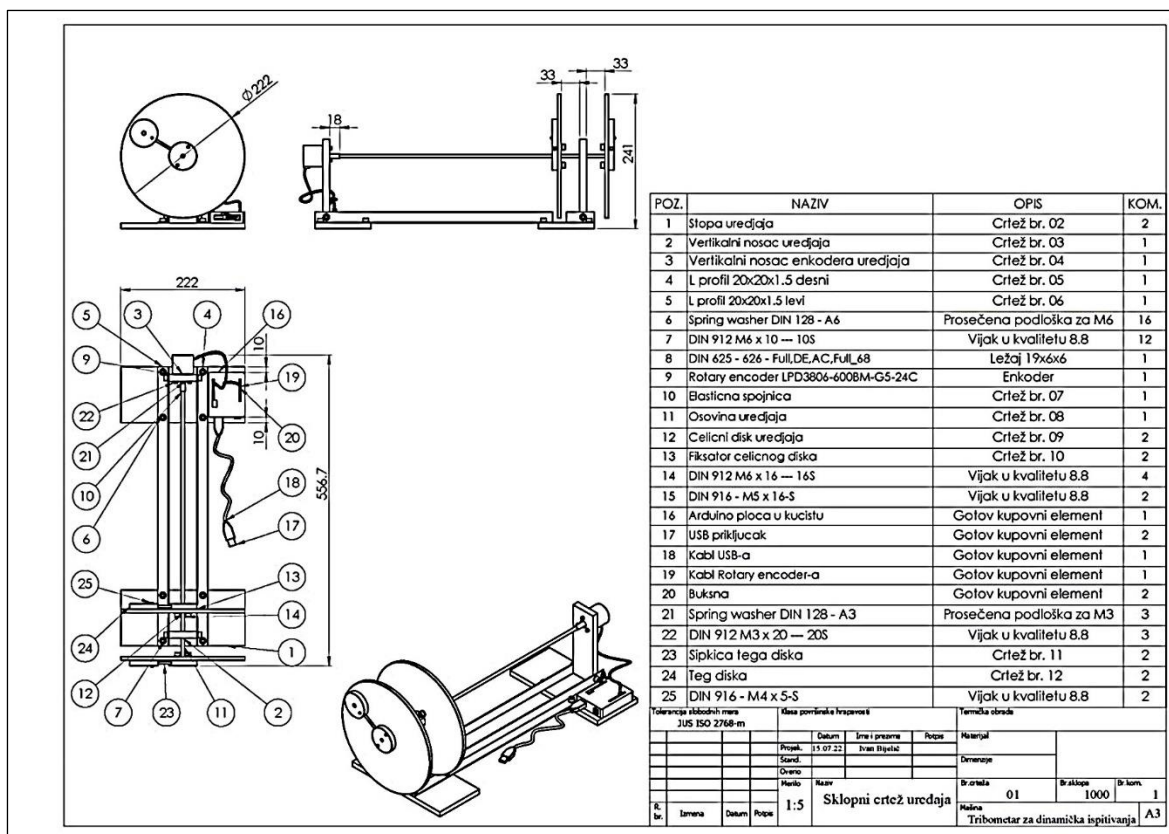
У оквиру ове дисертације пројектовани су и реализовани прототипови два уређаја. Оба уређаја пројектована су и реализована, првенствено у циљу експерименталне верификације методе одређивања коефицијента трења која се разматра у овој дисертацији. Оба уређаја су у потпуности испунила постављену функцију циља и указала на велики потенцијал методе која се разматра.

5.1 ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРВОГ ПРОТОТИПА УРЕЂАЈА

Први прототип уређаја реализован је за потребе експерименталног одређивања кинематског коефицијента трења у условима динамички оптерећених контаката. При чему се динамичка компонента оптерећења обезбеђује преко ексцентричних маса а иницирање кретања врши ручно. Уређај је састављен од 25 елемената (Позиција - Табела 5.1.1) од којих је 9 специјално израђених елемената, 9 стандардних механичких елемената, а 7 елемената чине стандардне мерне и електронске компоненте. На слици 5.1.1 приказан је склопни цртеж уређаја са спецификацијом свих елемената уређаја.

Табела 5.1.1 Спецификација специјалних, стандардних, мерних и електронских компоненти реализованог уређаја са којим се врши ручно иницирање кретања.

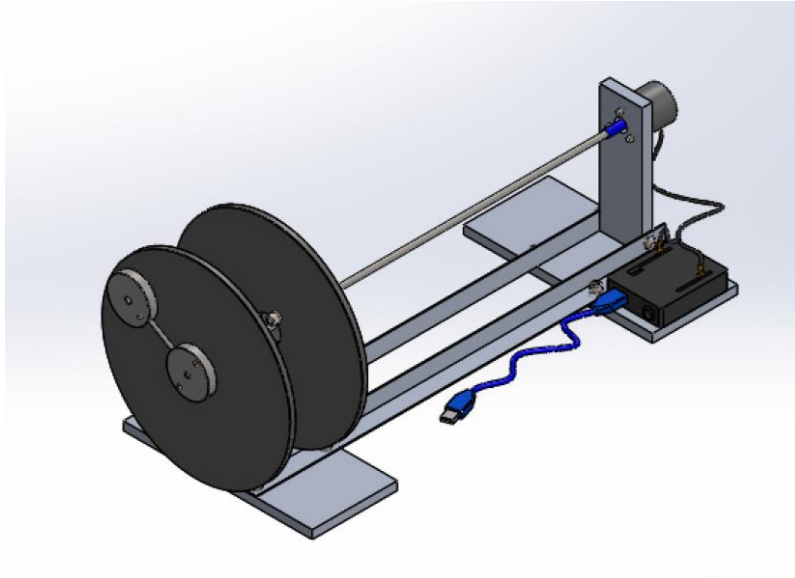
ПОЗ.	НАЗИВ	ОПИС	КОМ.
1.	Стоп уређаја	Цртеж бр. 02	2
2.	Вертикални носач уређаја	Цртеж бр. 03	1
3.	Вертикални носач енкодера уређаја	Цртеж бр. 04	1
4.	L профил 20x20x1.5 десни	Цртеж бр. 05	1
5.	L профил 20x20x1.5 леви	Цртеж бр. 06	1
6.	Spring washer DIN 128 – А6	Просечена подлошка за М6	16
7.	DIN 912 М6 х 10 – 10S	Вијак у квалитету 8.8	12
8.	DIN 625 – 626 – Full, DE, AC, Full_68	Лежај 19x6x6	1
9.	Rotary encoder LPD3806-600BM-G5-24C	Енкодер	1
10.	Еластична спојница	Цртеж бр. 07	1
11.	Осовина уређаја	Цртеж бр. 08	1
12.	Челични диск уређаја	Цртеж бр. 09	2
13.	Фиксатор челичног диска	Цртеж бр. 10	2
14.	DIN 912 М6 х 16 – 16S	Вијак у квалитету 8.8	4
15.	DIN 912 М5 х 16 – S	Вијак у квалитету 8.8	2
16.	Arduino плоча у кућишту	Готов куповни елемент	1
17.	USB прикључак	Готов куповни елемент	2
18.	Кабл USB-а	Готов куповни елемент	1
19.	Кабл Rotary encoder-а	Готов куповни елемент	1
20.	Конектор	Готов куповни елемент	2
21.	Spring washer DIN 128 – А3	Просечена подлошка за М3	3
22.	DIN 912 М3 х 20 – 20S	Вијак у квалитету 8.8	3
23.	Шипкица тега диска	Цртеж бр. 11	2
24.	Тег диска	Цртеж бр. 12	2
25.	DIN 916 – М4 х 5-S	Вијак у квалитету 8.8	2



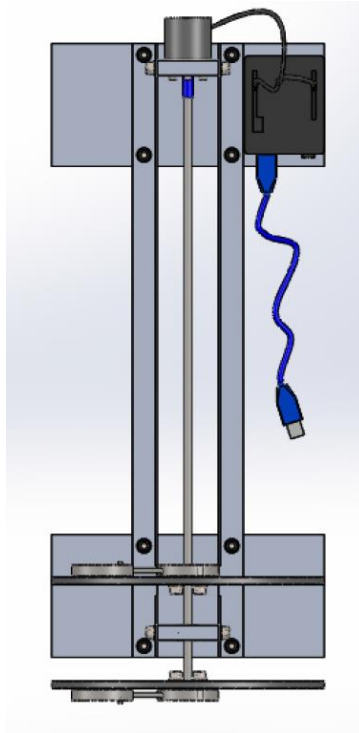
Слика 5.1.1 Склопни цртеж реализованог уређаја са спецификацијом специјалних и стандардних елемената

Иницирање кретања врши се ручно преко ексцентри челичног диска (Позиција 13.). Ручно инициран импулс преноси кретање (обртање) преко осовине (Позиција 11.) и еластичне спојнице (Позиција 10.) до ротационог енкодера који је једина мерна компонента уређаја. Оптерећени лежај (Позиција 8.) смештен је у носачу уређаја (Позиција 2.) и симетрично центриран у односу на попречну осу носача тј. лежаја упресованог у носачу, и оптерећен гравитационим силама масама два диска (Позиција 12.). С обзиром да су на дисковима (Позиција 12.) причвршћена оба ексцентри (позиција 13.) под истим углом, произилази да испитивани лежај прима комплетно статичко и динамичко оптерећење.

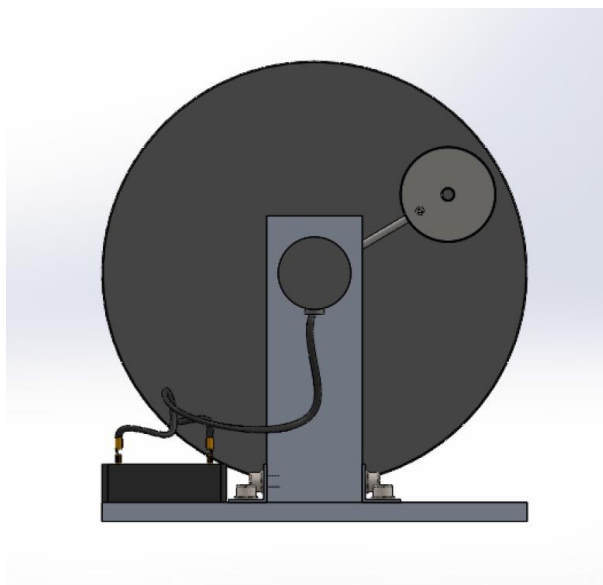
На сликама 5.1.2 - 5.1.5 дата су прикази CAD модела уређаја док је фотографски приказ реализованог уређаја дат на слици 5.1.6.



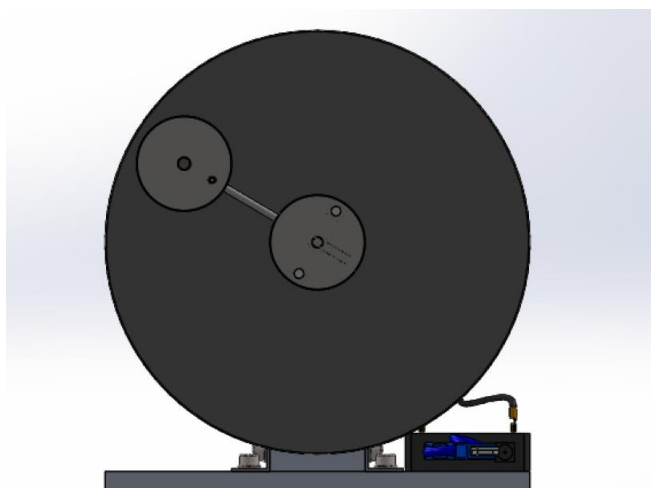
Слика 5.1.2 Изометријски приказ CAD модела.



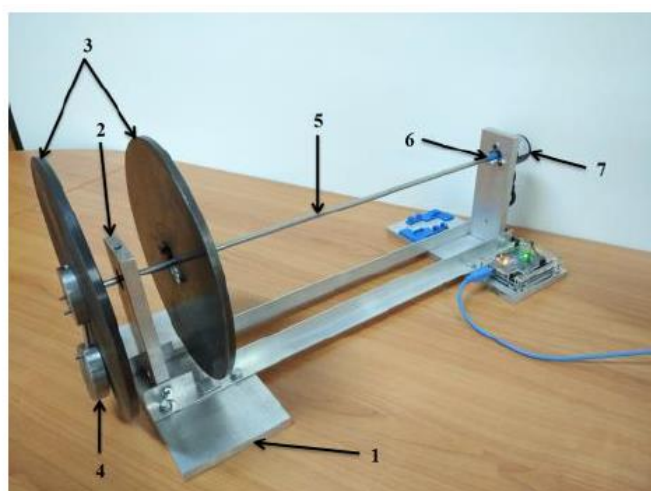
Слика 5.1.3 CAD модел уређаја у хоризонталној равни.



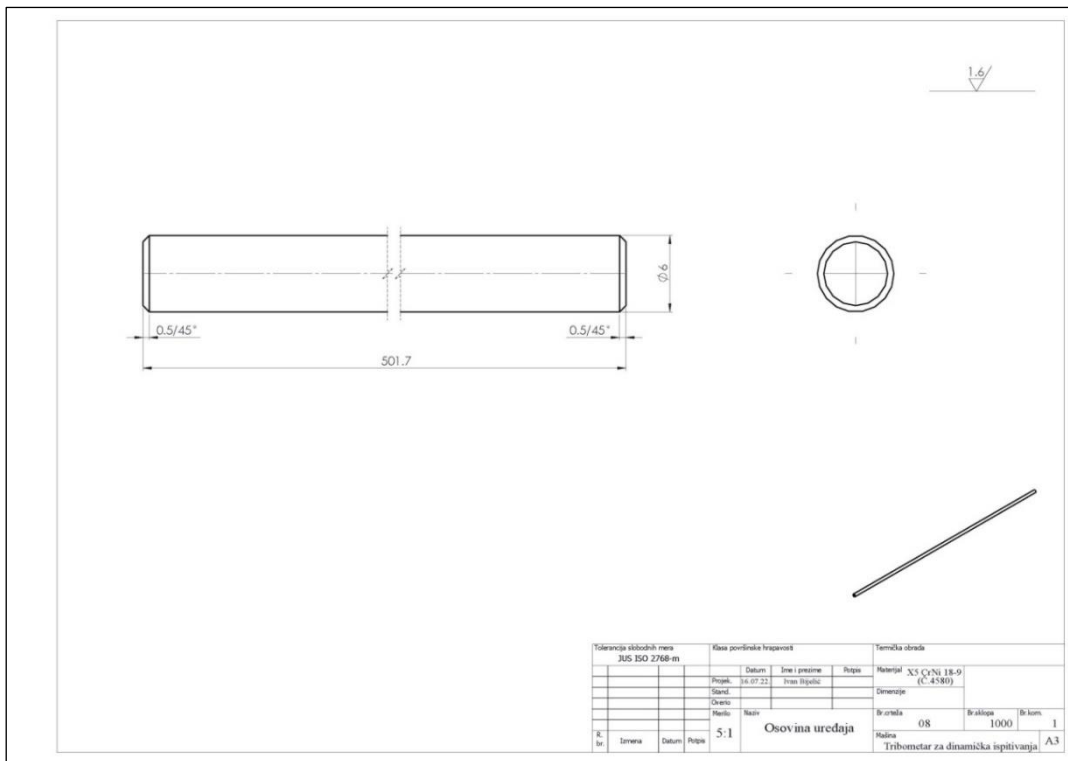
Слика 5.1.4 CAD модел чеоног погледа од стране енкодера.



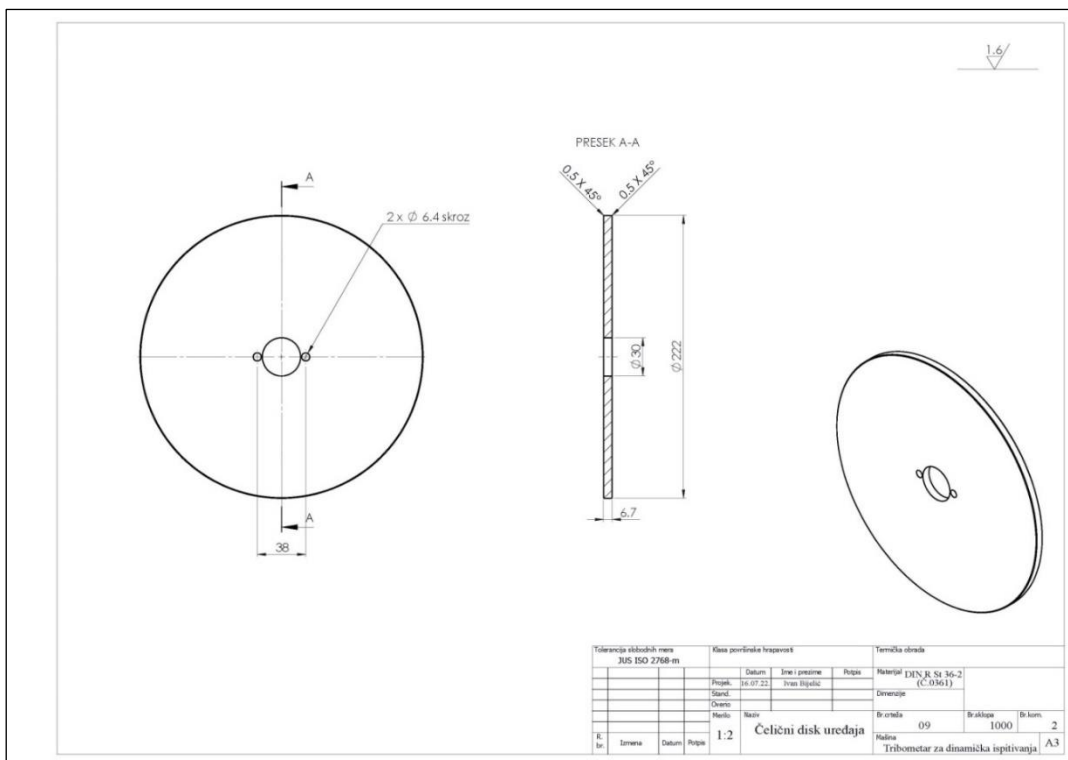
Слика 5.1.5 CAD модел погледа положаја ексцентричне масе.



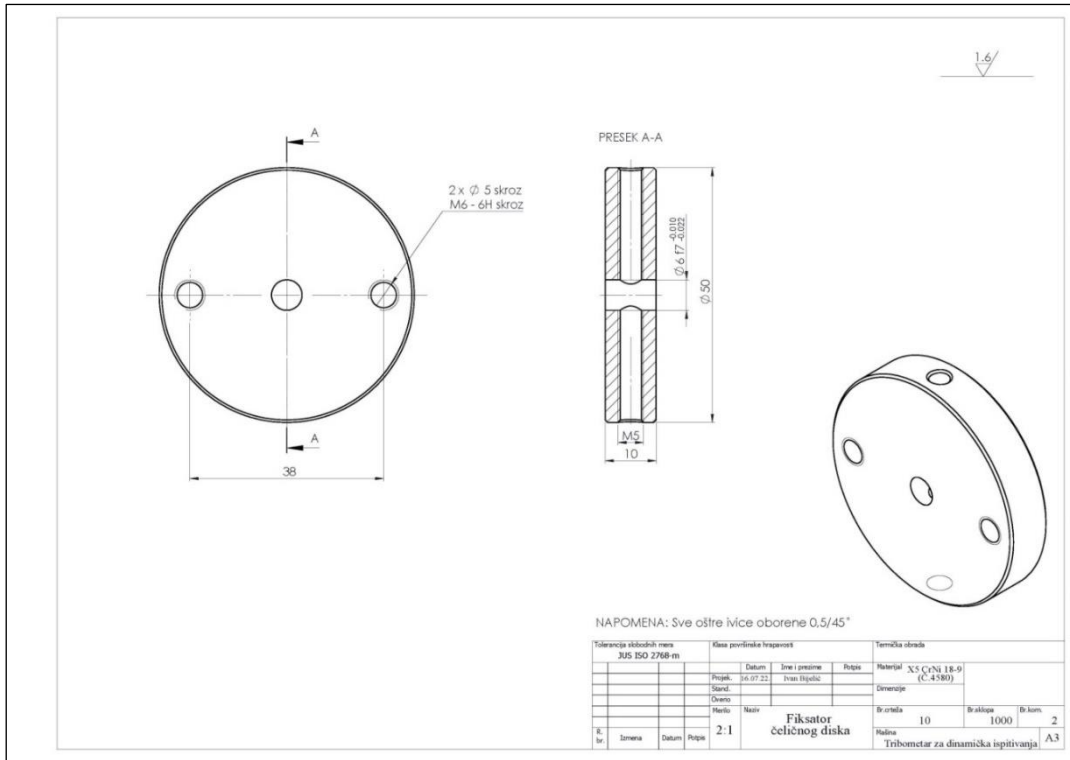
Слика 5.1.6 Фотографски приказ реализованог уређаја.



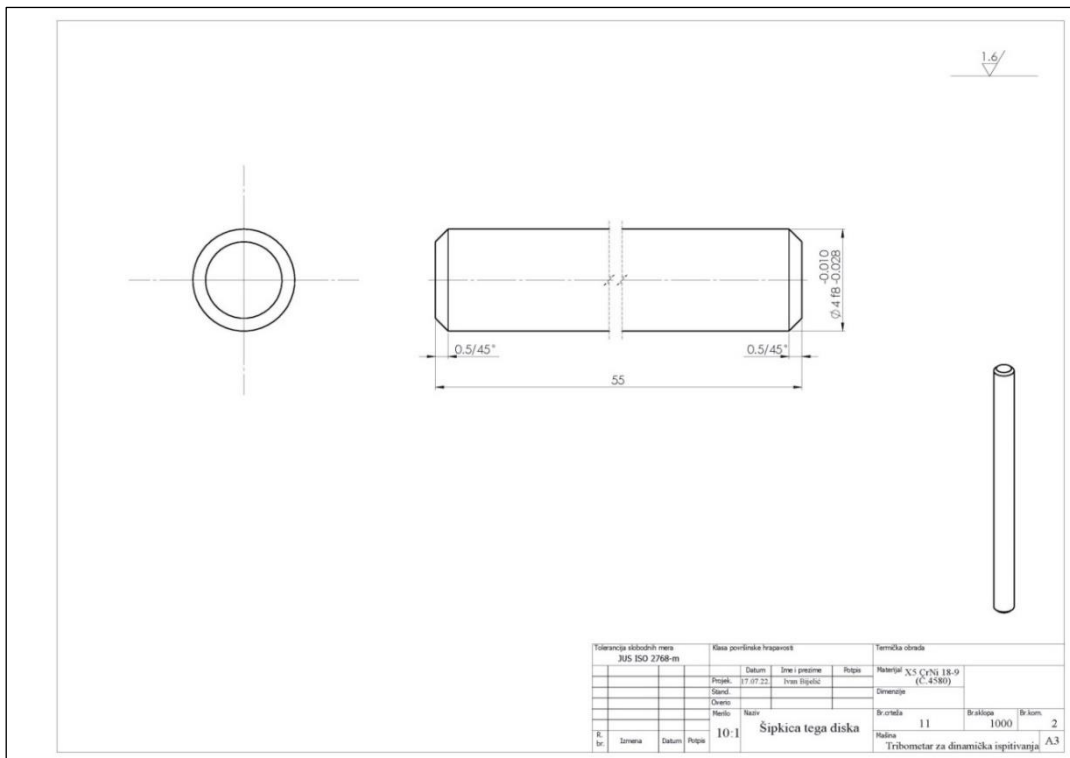
д)



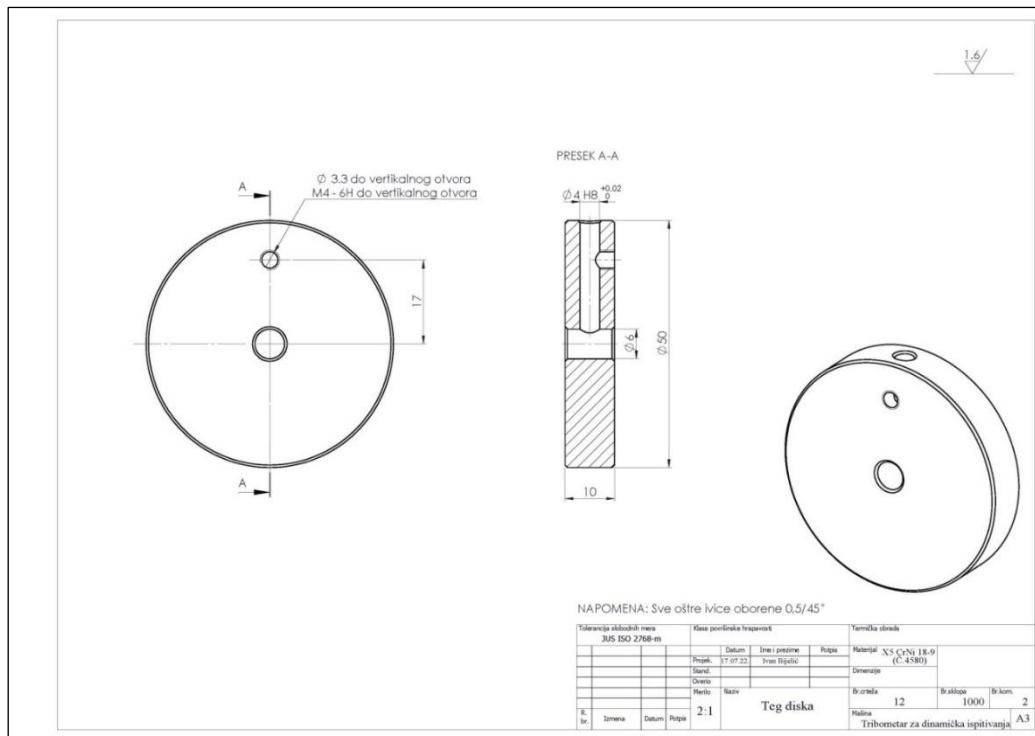
ђ)



e)



ж)

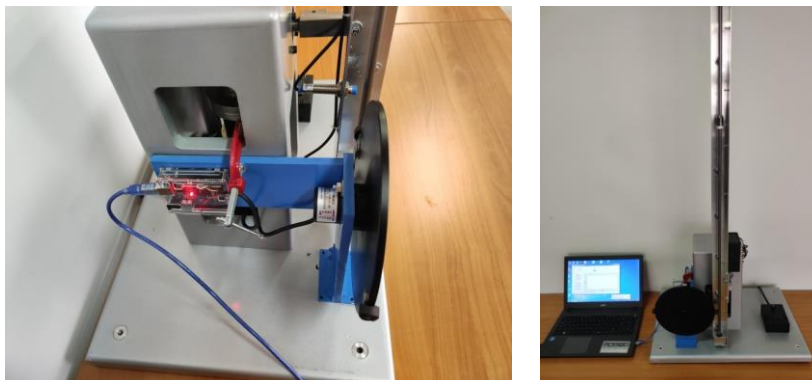


3)

Слике 5.1.7(а-з) Цртежи специјално израђених елемената.

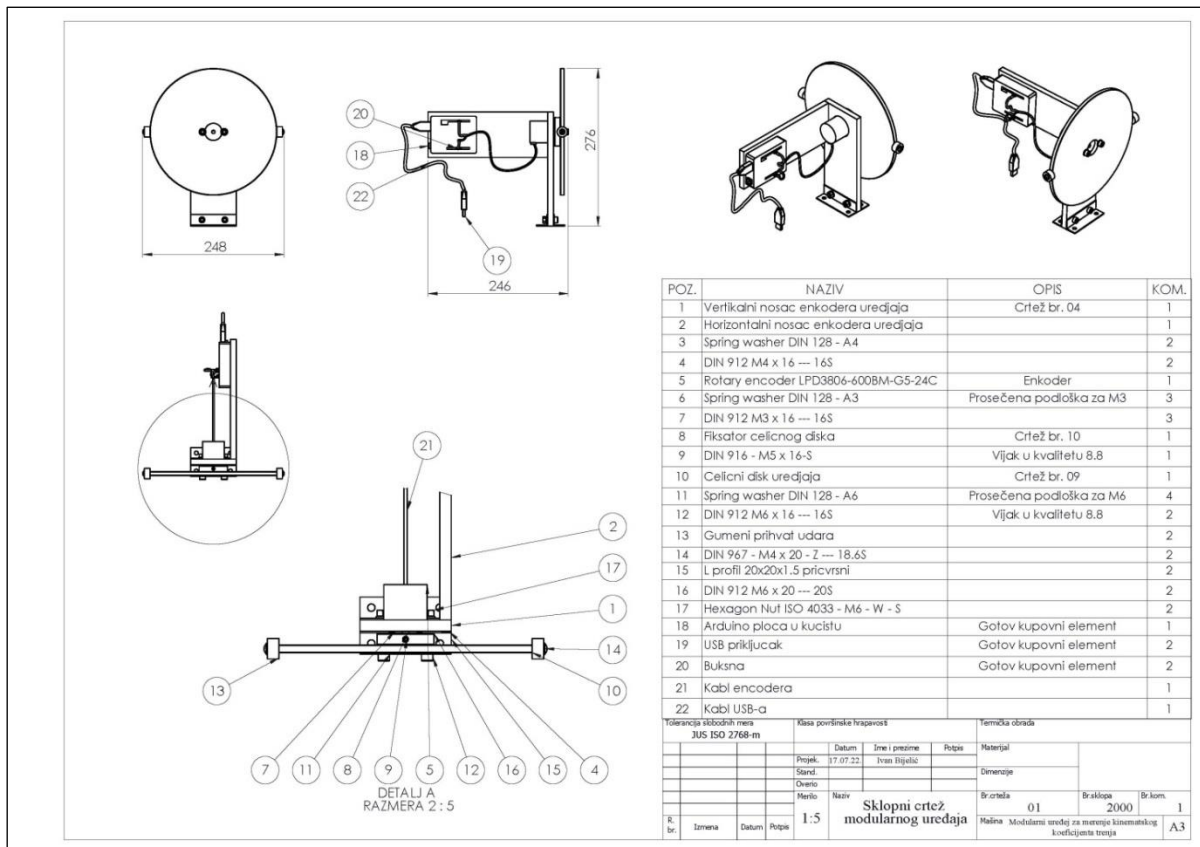
5.2 ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДРУГОГ ПРОТОТИПА УРЕЂАЈА

Други прототип уређаја реализован је за потребе експерименталног одређивања кинематског коефицијента трења у условима израженог динамичког оптерећења контаката при иницирању кретања. У овом случају иницирање кретања врши се импулсном силом удара. Уређај је креиран из подсклопа уређаја веома сличног претходно разматраном уређају и постојећег уређаја који служи за одређивање кинематског коефицијента трења по Ојлеровој методи. Комбиновањем постојећег уређаја и развојем новог подсклопа формирана је веома функционална експериментална целина (Слика 5.2.1), што је великим делом разјашњено у оквиру поглавља теоријских разматрања (Слика 3.3). Уређај функциониса по идентичном принципу као и претходно описани уређај. У овом случају нема ексцентричних маса које стварају динамичку компоненту оптерећења. Код овог уређаја константну масу побуђује импулс ударне силе, а мерни систем квантификује период трајања импулса удара.



Слика 5.2.1 Фотографски приказ функционалне експерименталне целине креиране из развијеног подсклопа уређаја и постојећег уређаја.

На слици 5.2.2 приказан је склопни цртеж развијеног уређаја - подскопа са спецификацијом свих елемената уређаја. Уређај је састављен из 22 елемената (Позиција-Табела 5.2.1) од којих је 6 специјално израђених елемената, 9 стандардних механичких елемената и 7 елемената чине стандардне мерне и електронске компоненте. На слици 5.2.2 приказан је склопни цртеж уређаја са спецификацијом свих елемената уређаја.

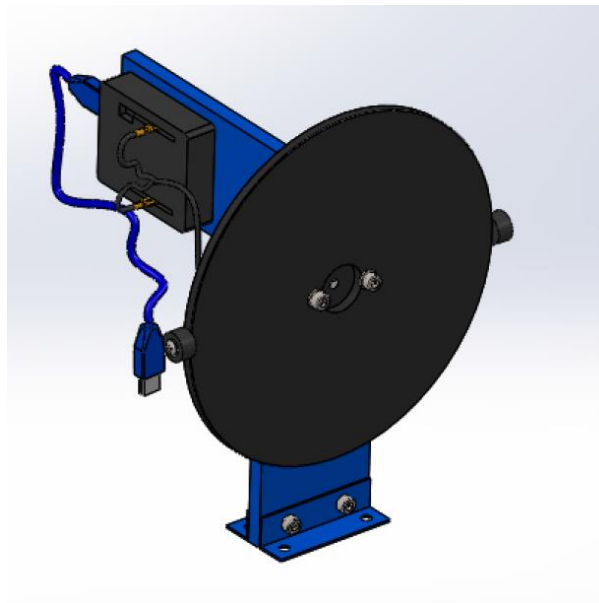


Слика 5.2.2 Склопни цртеж развијеног уређаја (Подскопа) са спецификацијом свих специјално развијених и стандардних елемената уређаја.

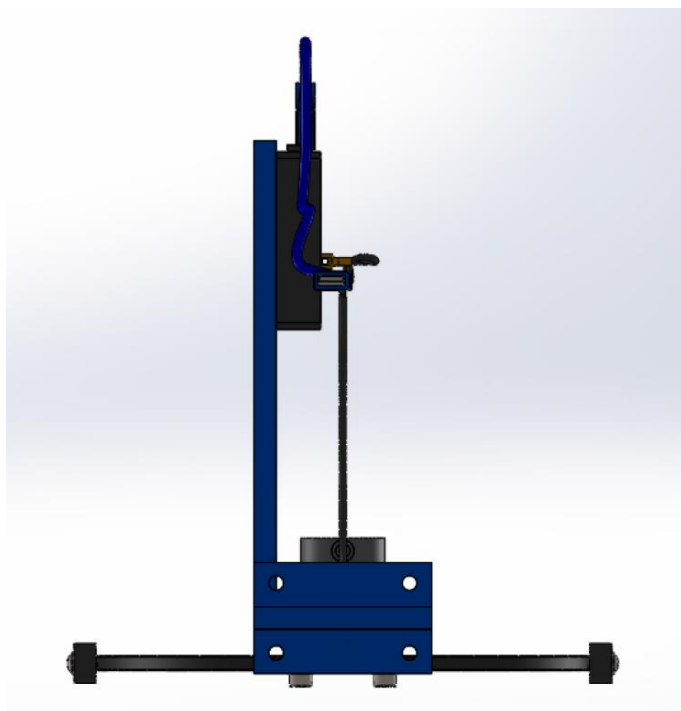
Табела 5.2.1 Спецификација специјалних, стандарних, мерних и електронских компоненти реализованог уређаја са којим се врши ручно иницирање кретања импулсном силом удара.

ПОЗ.	НАЗИВ	ОПИС	КОМ.
1	Вертикални носач енкодера уређаја	Цртеж бр. 04	1
2	Хоризонтални носач енкодера уређаја		1
3	Spring washer DIN 128 – А4		2
4	DIN 912 M4 x 16 – 16S		2
5	Rotary encoder LPD3806-600BM-G5-24C	Енкодер	1
6	Spring washer DIN 128 – А3	Просечена подлошка за М3	3
7	DIN 912 M3 x 16 – 16S		3
8	Фиксатор челичног диска	Цртеж бр. 10	1
9	DIN 912 M5 x 16 – S	Вијак у квалитету 8.8	1
10	Челични диск уређаја	Цртеж бр. 09	1
11	Spring washer DIN 128 – А6	Просечена подлошка за М6	4
12	DIN 912 M6 x 16 – 16S	Вијак у квалитету 8.8	2
13	Гумени прихват удара		2
14	DIN 967 M4 x 20 – Z – 18.6S		2
15	L профил 20 x 20 x 1.5 причврсни		2
16	DIN 912 M6 x 20 – 20S		2
17	Hexagon Nut ISO 4033 – М6 – W – S		2
18	Arduino плоча у кућишту	Готов куповни елемент	1
19	USB прикључак	Готов куповни елемент	2
20	Конектор	Готов куповни елемент	2
21	Кабл енкодера		1
22	Кабл USB-а		1

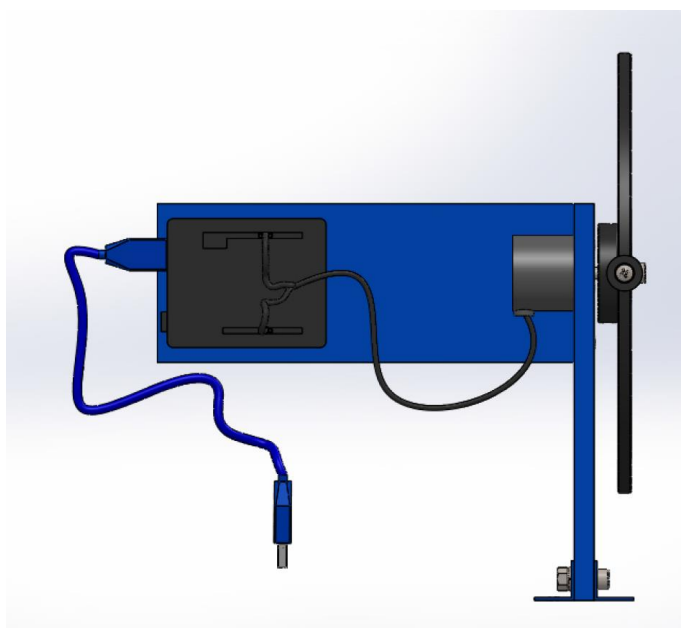
CAD модели развијеног уређаја приказани су на сликама 5.2.3 - 5.2.5.



Слика 5.2.3 CAD модел уређаја.



Слика 5.2.4 CAD модел уређаја (поглед одозго).



Слика 5.2.5 CAD модел уређаја (поглед са бочне стране).

6. РАЗВОЈ НАМЕНСКОГ СОФТВЕРА

Метода одређивања кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења контаката која се разматра заснива се на експерименталном одређивању промене угла обртања у функцији времена, у реалним условима динамичког оптерећења контаката. Читав мерни систем уређаја своди се на ротациони енкодер који у току једног обртаја, преко броја импулса, може квантификовати 360, 640 или више различитих промена угла у времену. У оквиру теоријског дела рада показано је да се преко низа нумеричких вредности прираштаја угла у времену могу одредити нумерички низови везани за промене угаоних брзина, угаоних убрзања, као и нумерички низови везани за промене коефицијента трења.

Наменски софтвер треба, посредством arduino електронике, да омогући добијање и обраду нумеричких вредност поменутих низова промене угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења у функцији услова оптерећења контаката.

6.1 АЛГОРИТАМ ТОКА СОФТВЕРСКЕ ПОДРШКЕ МЕРНОМ СИСТЕМУ УРЕЂАЈА

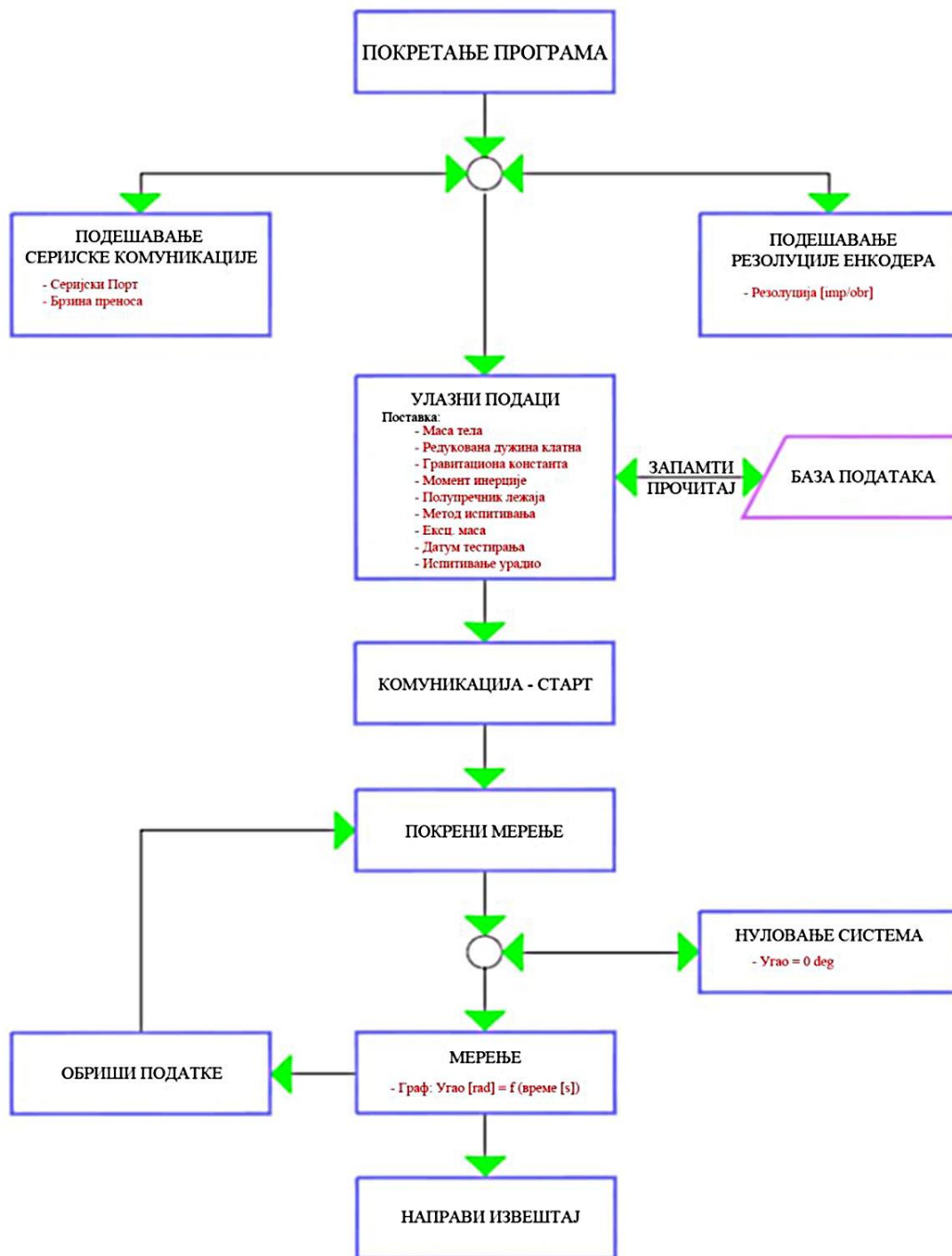
Алгоритамски ток везан за покретање програма (Слика 6.1.1) подразумева:

- подешавање серијске комуникације,
- подешавање резолуције енкодера,
- унос улазних података који дефинишу ниво оптерећења контаката.
- комуникацију - старт програма и
- покретање мерења.

Процес мерења подразумева:

- ресетовање система и
- опцију брисања података у случају евентуалне грешке или пропуста у руковању, и
- креирање извештаја и приказ добијених резултата мерења.

На слици 6.1.1 приказан је алгоритам тока софтверске подршке мерном систему уређаја.



Слика 6.1.1 Алгоритам тока софтверске подршке мерном систему уређаја.

6.2 ПОТРЕБНИ УЛАЗНИ ПОДАЦИ И КРЕИРАЊЕ ИЗВЕШТАЈА О ИСПИТИВАЊУ

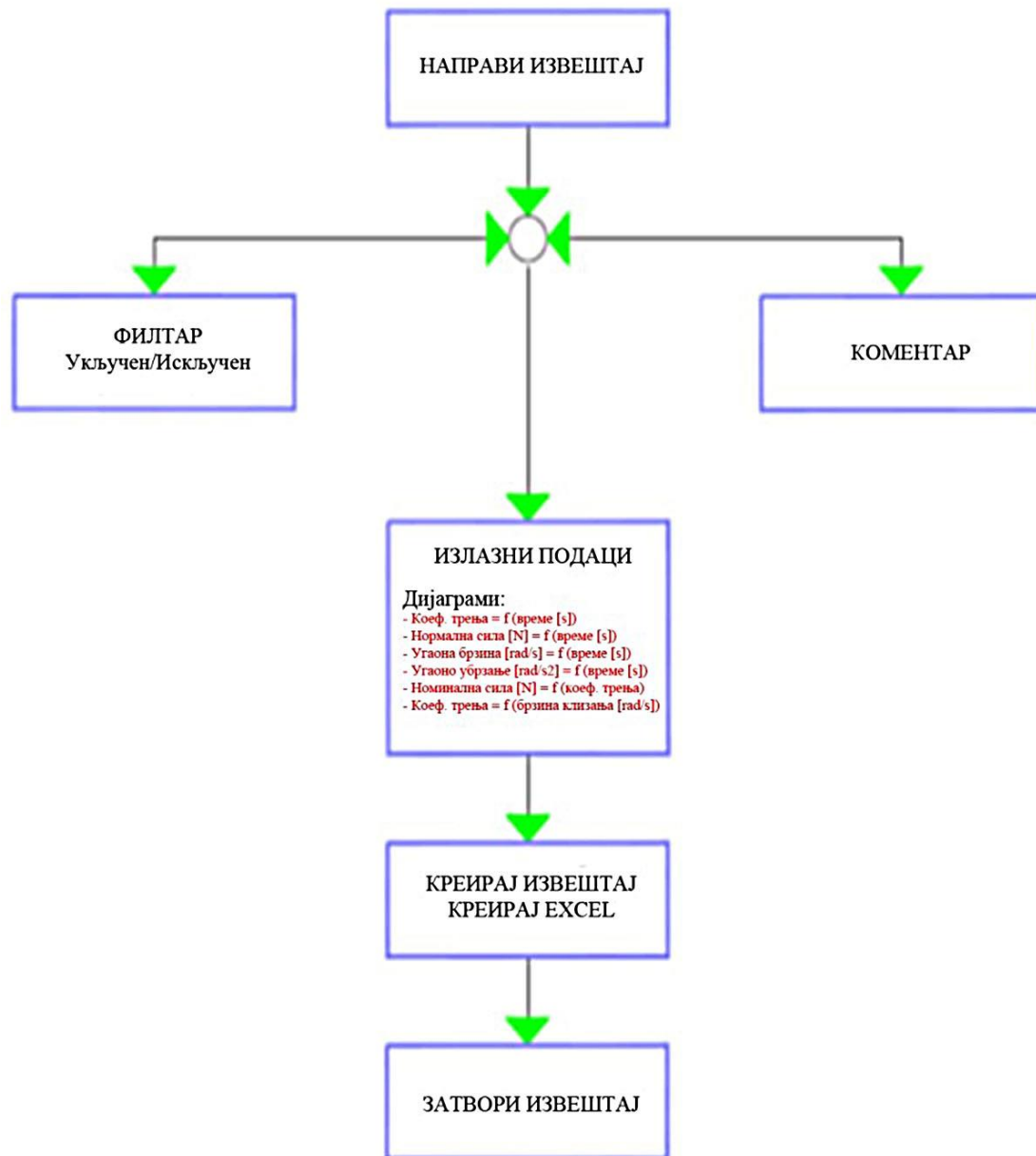
- излазни резултати -

Потребни улазни подаци дефинишу услове испитивања и односе се на масу која оптерећује лежај, ексцентричне масе које обезбеђују динамичку компоненту оптерећења лежаја, редуковану дужину "клатна" која преко квадрата угаоне брзине и ексцентричне масе у потпуности дефинише динамичку компоненту оптерећења (Слика 5.1). С' обзиром да исти програм може бити коришћен и при испитивањима без

изражене динамичке компоненте коју обезбеђује ексцентрична маса, програм опционо нуди услове испитивања („Динамички“ или „Статички“). Такође програм предвиђа унос података везаних за оператора и датум испитивања.

6.3 КРЕИРАЊЕ ИЗВЕШТАЈА О ИСПИТИВАЊУ И МОГУЋИ - ИЗЛАЗНИ РЕЗУЛТАТИ

Шемом на слици 6.3.1 приказан је алгоритамски ток везан за креирање извештаја и могуће излазне резултате које програм нуди.



Слика 6.3.1 Алгоритамски ток везан за креирање извештаја и излазне резултате које програм нуди.

У оквиру креирања извештаја програм нуди две опције: Филтер *укључен/искључен*. То подразумева приказ филтрираних или "сирових" нефилтрираних података. Такође програм нуди опцију уноса коментара и чување података у облику EXCEL фајла, при чему се ти подаци могу обрађивати различитим математичко статистичким

програмима. Програм нуди излазне резултате у облику дијаграмских приказа експериментално добијене зависности одређених физичких и триболошких величина, облика:

- промене угла обртања у функцији времена,
- промене угаоне брзине у функцији времена,
- промене угаоног убрзања у функцији времена,
- промене коефицијента трења у функцији времена,
- промене коефицијента трења у функцији динамичке силе оптерећења контакта,
- промене коефицијента трења у функцији угаоне брзине и
- промене коефицијента трења у функцији брзине клизања у зони контакта.

6.4 ПРОЦЕДУРЕ ВЕЗАНЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ УРЕЂАЈА И СОФТВЕРА

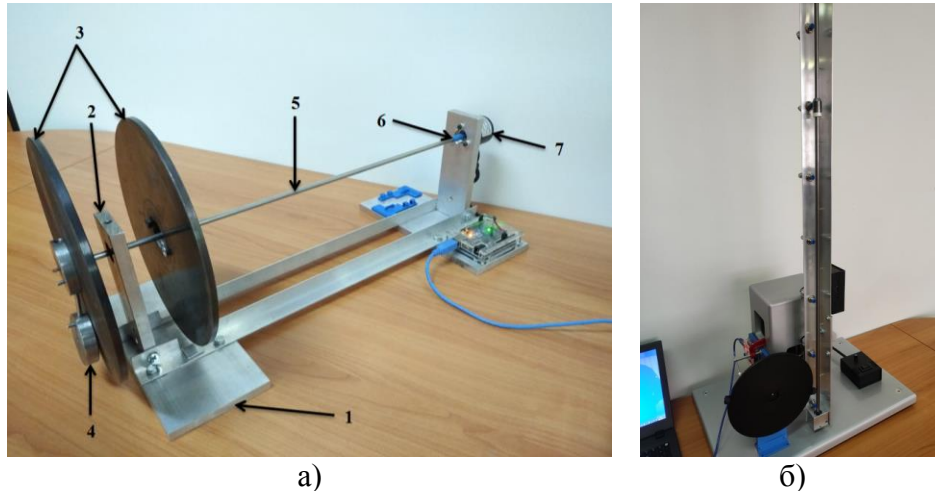
Процедуре везане за коришћење уређаја и софтвера садржане су у наведеним активностима:

1. Повезивање на USB порт рачунара
2. Покретање Windows апликације
3. Провера комуникационих параметара (comport, брзина преноса)
4. Провера резолуције коришћеног енкодера (подешавања → основна подешавања)
5. Покретање комуникације (комуникација → комуникација старт)
6. Унос улазних података и избор методе испитивања (подаци се могу сачувати у бази – улазни подаци → улазни подаци запамтити/прочитати)
7. Покренути мерење
8. Поставити угао на нулу
9. Одрадити мерење (добије се крива $\text{угао} = f(\text{време})$ на графу)
10. Заустави мерење
11. Обрисати мерење (опционо)
12. Направити извештај
13. Укључење филтра (опционо)
14. Креирање извештаја са добијеним дијаграмима
15. Креирање EXCEL фајла са добијеним подацима

7. РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Експериментална верификација теоријског модела

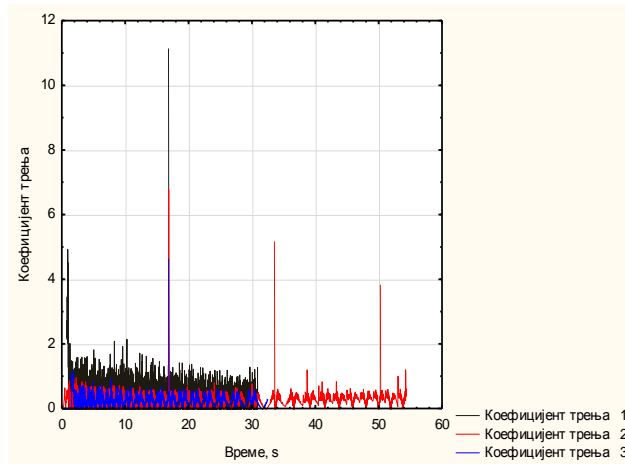
Експериментална верификација изложеног теоријског модела изведена је на реализованим уређајима чији је фотографски приказ дат на слици 7.1(а,б). Детаљи везани за функционисање и конструкцију уређаја и развијени софтвер дати су у оквиру четвртог и петог поглавља рада.



Слика 7.1(а,б) Фотографски приказ реализованих уређаја.

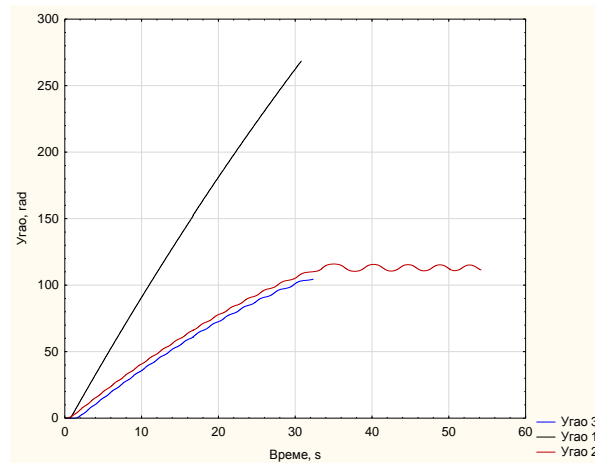
Према плану и програму експерименталних испитивања (Поглавље 4.), при реализацији прве серије од 8 експеримената на првом развијеном уређају (Слика 7.1а), као излаз из рачунарског програма обраде, за познате улазне вредности: укупне масе m , ексцентричне масе m_e , масеног момента инерције I , и радијуса лежаја r у зони настанка трења, добијене су потребне мерне и прорачунске величине. Наиме, на основу нумеричких низова вредности угла и времена (промене угла у функцији времена) према теоријском моделу успостављена је веза физичких величина, то јест, формиране експерименталне зависности и дијаграмски прикази промене коефицијента трења у функцији времена, брзине клизања, промене нормалног оптерећења контакта F_N у времену, промене угаоне брзине ω и угаоног убрзања ϵ у времену.

На слици 7.2, као пример једног од 10 изведених експеримената, при ручном иницирању кретања, дати су дијаграмски прикази промене коефицијента трења у функцији времена за три различита нивоа динамичког оптерећења контакта.

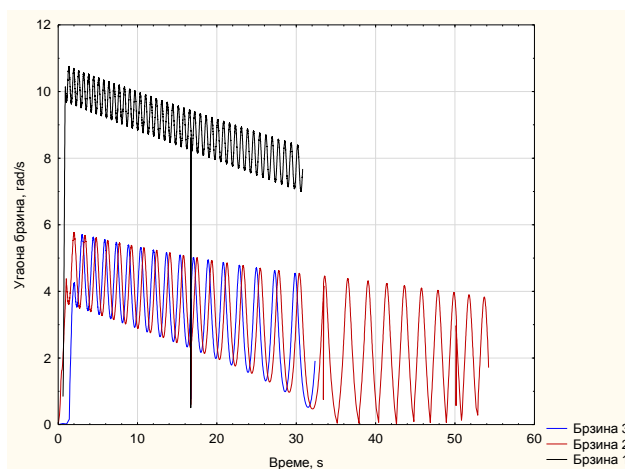


Слика 7.2 Дијаграмски приказ промене коефицијента трења у функцији времена.

Дијаграму промене коефицијента трења приказаном на слици 7.2 одговара промена угла приказана на слици 7.3а, промена угаоне брзине приказане на слици 7.3б и промена нивоа динамичког оптерећења контакта у времену приказана дијаграмом на слици 7.4.

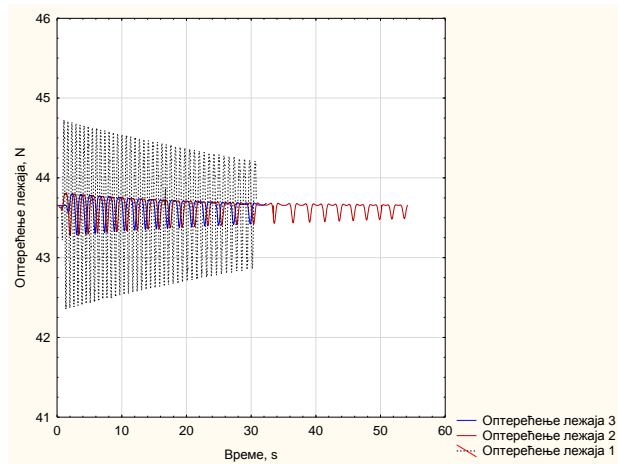


а)



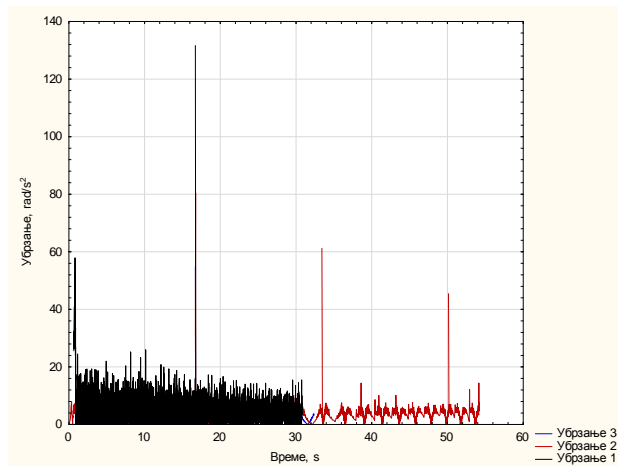
б)

Слика 7.3 Промена угла обртања (а), и угаоне брзине (б), у функцији времена.

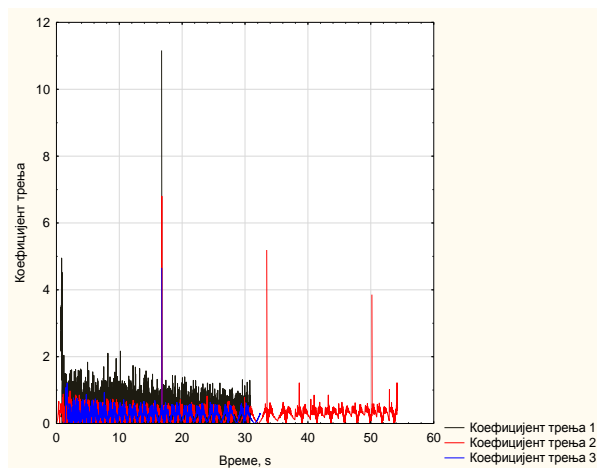


Слика 7.4 Промена нивоа динамичког оптерећења контакта у функцији времена.

Упоредни дијаграмски приказ промене угаоног убрзања и коефицијента трења у времену приказан је на слици 7.5(а,б).



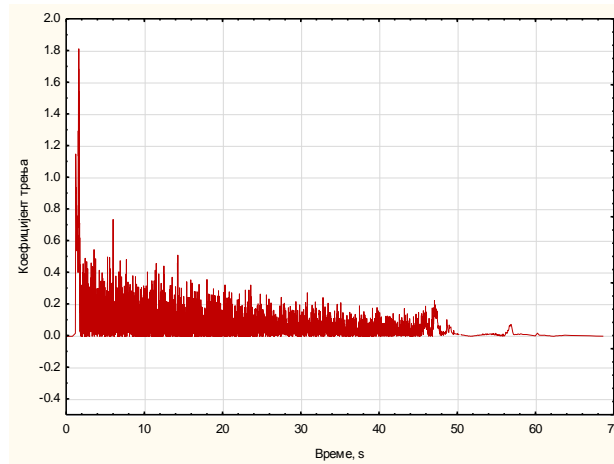
а)



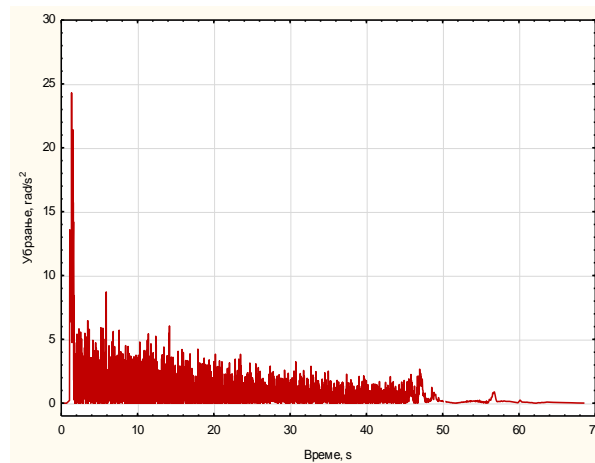
б)

Слика 7.5(а,б) Упоредни дијаграмски приказ промене угаоног убрзања и коефицијента трења у времену.

Упоредни дијаграмски приказ промене коефицијента трења у времену при елиминисању - демонтажи ексцентрично позициониране масе и елиминисању динамичке компоненте оптерећења контакта дат је на слици 7.6(а,б).



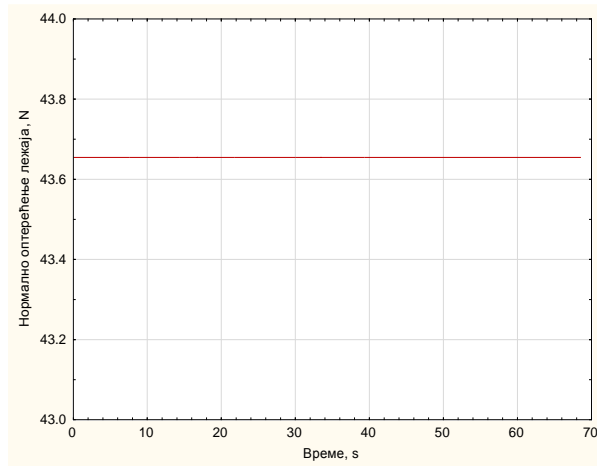
а)



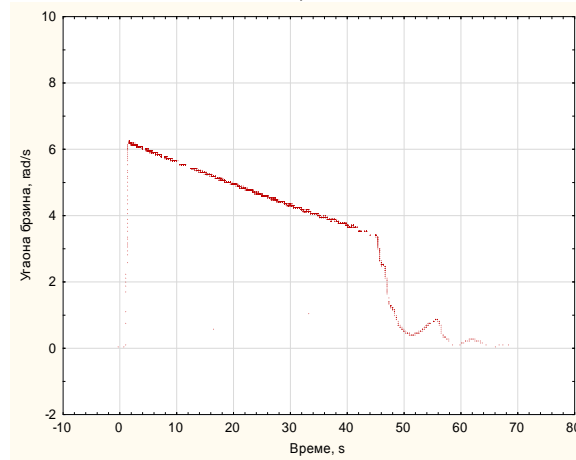
б)

Слика 7.6(а,б) Дијаграмски приказ промене коефицијента трења и угаоног убрзања у времену при елиминисању динамичке компоненте оптерећења (ексцентрично позициониране масе).

Дијаграму приказаном на слици 7.6(а,б) одговарају дијаграми помене угаоне брзине и нивоа нормалног оптерећења контакта приказани на слици 7.7(а,б).



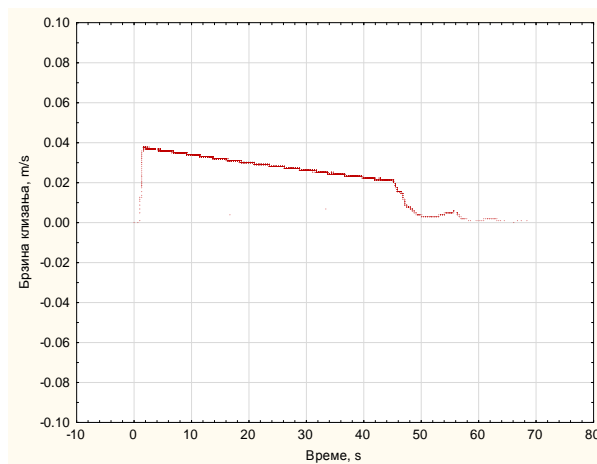
а)



б)

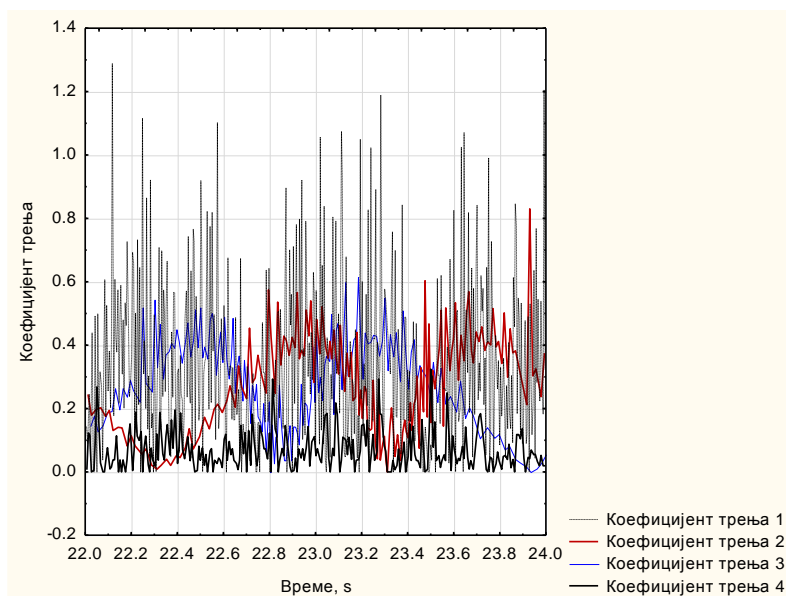
Слика 7.7(а,б) Дијаграм промене угаоне брзине, (б) и нивоа оптерећења контакта (а) у времену.

Нивои промене брзине котрљања у зони трења у котрљајном лежају приказани су дијаграмом на слици 7.8.



Слика 7.8 Нивои промене брзине котрљања у зони трења у котрљајном лежају.

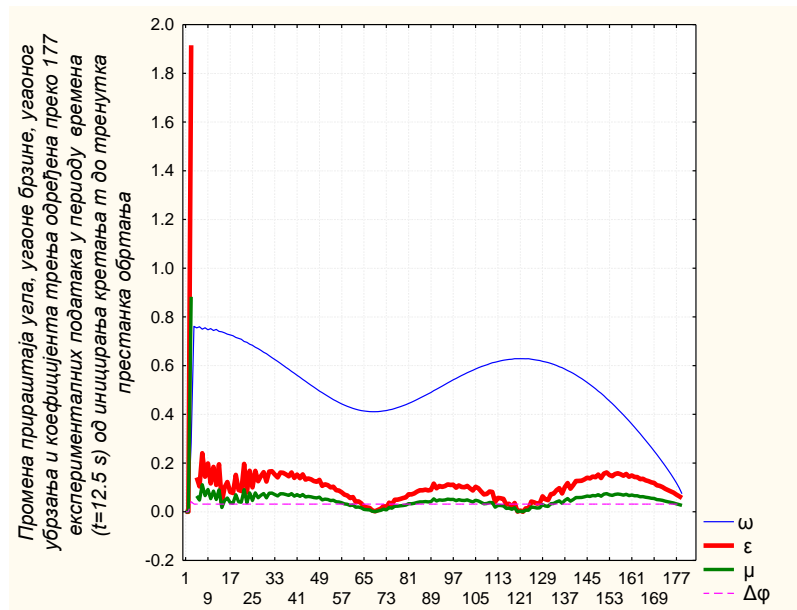
Утицај динамичке компоненте оптерећења контакта (утицај ексцентричне масе) за наведене услове испитивања илустрован је упоредним дијаграмом промене коефицијента трења у релативно кратком временском интервалу на слици 7.9.



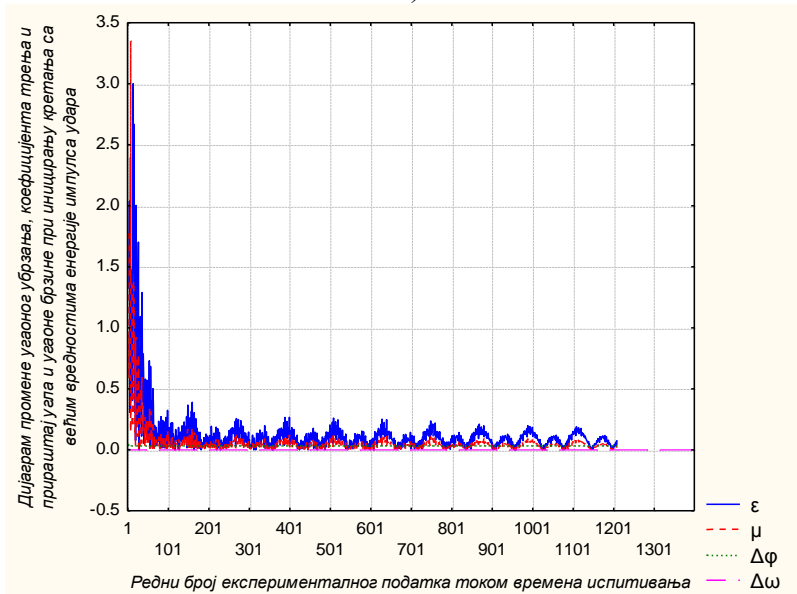
Слика 7.9 Утицај динамичке компоненте оптерећења контакта илустрован дијаграмом промене коефицијента трења у релативно кратком временском интервалу.

На другом реализованом уређају (Слика 7.1б) изведено је укупно 50 експеримената. У првој серији од 30 експеримената динамичко оптерећење иницирано је импулсном силом удара пина масе 0,0487 kg, са висине $H_1 = 0,21$ m. При реализацији друге серије од 20 експеримената оптерећење је иницирано импулсом удара исте масе са висине: $H_2 = 1,21$ m.

На слици 7.10(а,б) приказане су експериментално добијене зависности промене прираштаја угла и промене угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења у функцији времена, при реализацији једног од 30 експеримената у првој серији (7.10а), док се дијаграм приказан на слици (7.10б) односи на експерименталне податке добијене при реализацији једног од 20 експеримената изведених у другој серији. Приказ вредности промена прираштаја угла и прираштаја угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења у току времена, на истом дијаграму, даје интегралнију слику о самом процесу, што је управо и приказано на дијаграмима. Са ових дијаграма се може уочити да прираштаји угла и угаоне брзине, опадају у кратком временском периоду, након дејства ударног импулса силе која иницира кретање, и задржавају приближно константне вредности. При чему је динамика промене угаоног убрзања и коефицијента трења у потпуности идентична.



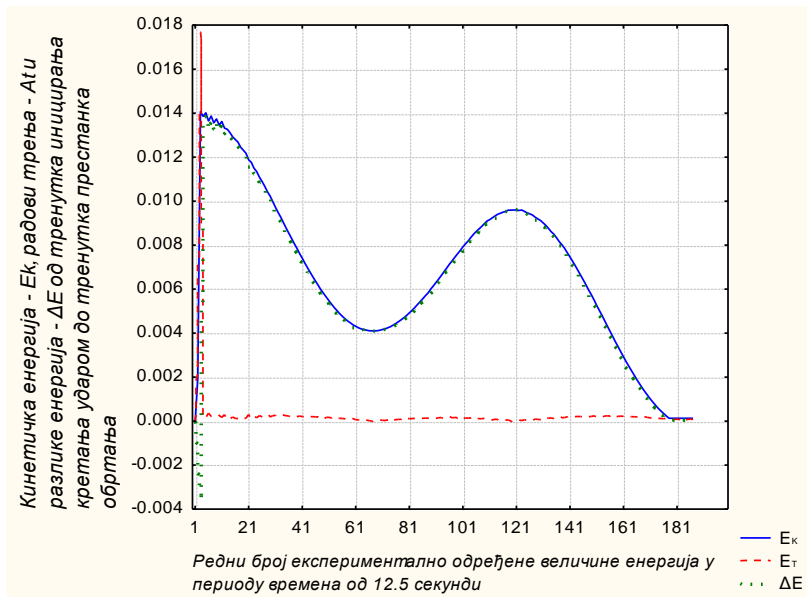
а)



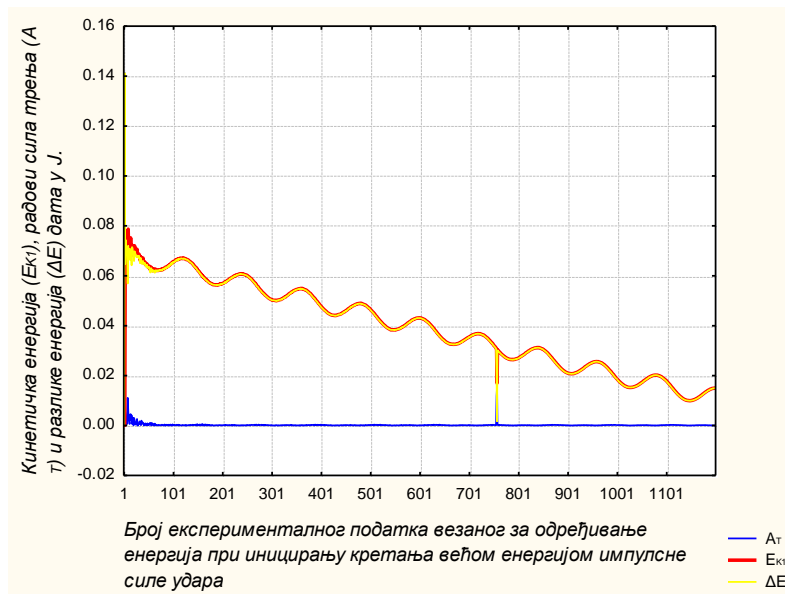
б)

Слика 7.10 Дијаграм промене прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања, при реализацији једног од изведених експеримената у првој серији (а), угаоно убрзања, коефицијент трења и прираштај угла и угаоне брзине при иницирању кретања са већим вредностима енергије импулса удара (б).

На слици 7.11(а,б) приказани су биланси енергија. Криве промене кинетичке енергије, енергије радова силе трења и разлике ових енергија. Дијаграми су добијени статистичком обрадом експерименталних података који се односе на један од 30 експеримената изведених у првој серији, при мањој енергији удара, и један од 20 експеримената изведених у другој серији, при значајно већој енергији удара.



а)



б)

Слика 7.11(а,б) Дијаграм биланса енергија при иницирању кретања различитим енергијама импулсне силе удара (а - Мала енергија; б - Значајно већа енергија).

За сваки од 184. експерименталних података, који се односе на један експеримент изведен у првој серији (Слика 7.11а) и сваки од 1406. експерименталних податка који се односе на један експеримент изведен у другој серији (Слика 7.11б) енергије су рачунате према изразима:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2, \quad (7.1)$$

$$A_t = E_t = r \cdot g[\sum M] \cdot \mu \cdot \Delta\varphi; \quad (7.2)$$

$$\Delta E = E_k - A_t \quad (7.3)$$

При чему се $\Delta\varphi$ односи на експериментално одређену вредност прираштаја угла као разлику квантификованих вредности (i+1) - податка и i-тог податка о вредности угла.

Константе које фигуришу у изразима имају следеће вредности:

при ручном иницирању кретања,

$$J = 0,0248 \text{ Kgm}^2; [\Sigma M] = 4,93 \text{ Kg}; r = 0,005 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (7.4)$$

док при иницирању кретања силом ударног импулса константе износе

$$J = 0,00486 \text{ Kgm}^2; [\Sigma M] = 2,15 \text{ Kg}; r = 0,005 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (7.5)$$

Програм експерименталних испитивања, као што је наглашено, обухватио је 10 независних експеримената изведених при ручном иницирању кретања. Скраћени приказ ових резултата мерења дат је, за три од укупно 10 реализованих експеримената, у табелама 7.1, 7.2 и табели 7.3.

Као излазни резултати наменски развијеног софтвера, упоредо са табелама на сликама 7.12(a-ћ) - 7.14(a-ћ) дати су и одговарајући дијаграмски прикази резултата мерења везаних за наведене табеле у облику извештаја о обављеним експериментима.

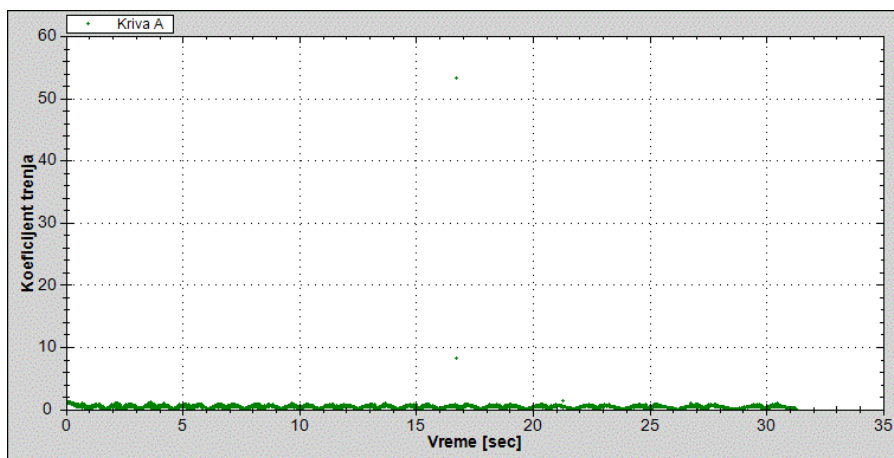
Приказ комплетних резултата мерења везаних за 60 независних експеримената (30 у првој серији при мањој енергији удара и 20 у другој серији при већој енергији удара) дат је само за по један из обе серије (Табеле 7.4 и 7.5). Као и у претходном случају, упоредо са табелама дати су на сликама 7.15 (a-ћ) и 7.16 (a-ћ) и одговарајући дијаграмски прикази резултата мерења везаних за наведене табеле у облику извештаја о обављеним експериментима.

Табела 7.1 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "мањом" енергијом.

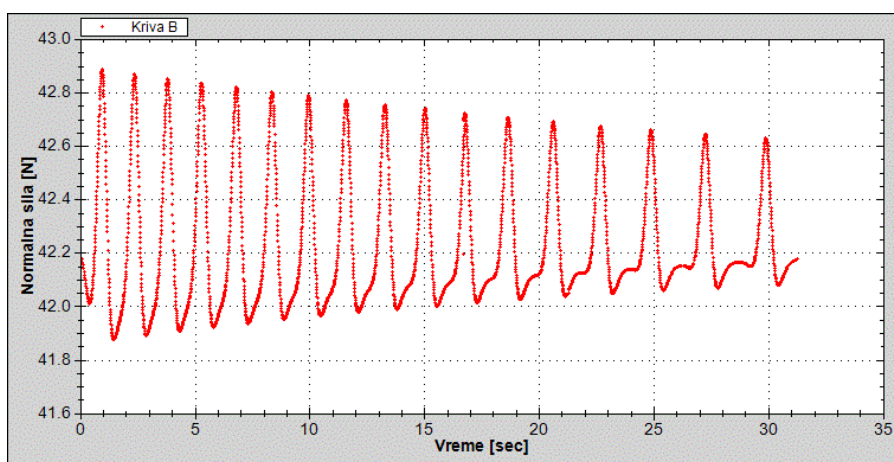
Величина	Време	Угао	Угаона брзина	Брзина клизања	Угаоно убрзање	Оптерећење лежаја	Коефицијент трења
Р. Бр.\ Јединица	t [s]	ϕ [rad]	ω [rad/s]	$\dot{\theta}_k$ [(rad/s)m]	ε [rad/s ²]	F [N]	μ
1	0	0	0	0	0	42.183	0
2	0.072192	0.0418879	0.580229	0.002901	8.037303	42.175432	0.930357
3	0.106344	0.07330383	0.919886	0.004599	9.94545	42.164012	1.151541
4	0.133388	0.10471976	1.16166	0.005808	8.940024	42.152804	1.035404
5	0.156244	0.13613568	1.374515	0.006873	9.312872	42.140884	1.078891
6	0.182716	0.17802358	1.582347	0.007912	7.851012	42.127554	0.909823
7	0.200524	0.20943951	1.764147	0.008821	10.208895	42.114505	1.183435
8	0.217048	0.24085544	1.90123	0.009506	8.295994	42.104017	0.961927
9	0.232648	0.27227136	2.013841	0.010069	7.218654	42.095111	0.837185
10	0.247408	0.30368729	2.128451	0.010642	7.764905	42.085733	0.900738
•							
•							
•							
1477	13.25008	53.3023556	4.977175	0.024886	3.482731	42.737323	0.39784
1478	13.256392	53.33377153	4.977175	0.024886	0	42.738879	0
1479	13.264788	53.37565943	4.98903	0.024945	1.411982	42.742758	0.161272
1480	13.275208	53.42801931	5.02494	0.025125	3.446257	42.751001	0.393549
1481	13.28562	53.48037918	5.0288	0.025144	0.370726	42.750471	0.042334
1482	13.298036	53.54321104	5.060556	0.025303	2.557668	42.753876	0.292058
1483	13.310444	53.60604289	5.063818	0.025319	0.262895	42.748568	0.030022
1484	13.316628	53.63745882	5.080196	0.025401	2.648448	42.748346	0.302463
1485	13.322812	53.66887474	5.080194	0.025401	0.000323	42.743902	0.000037
1486	13.328992	53.70029067	5.083484	0.025417	0.532362	42.739624	0.06081
•							
•							
•							
2956	30.886076	106.7199029	1.173287	0.005866	2.35924	42.152164	0.273243
2957	30.914384	106.7513189	1.10979	0.005549	2.243076	42.155343	0.259768
2958	30.944392	106.7827348	1.046918	0.005235	2.095175	42.158351	0.242623
2959	30.976164	106.8141507	0.988793	0.004944	1.829441	42.161001	0.21184
2960	31.010096	106.8455666	0.92585	0.004629	1.854975	42.163723	0.214782
2961	31.0852	106.9083985	0.836598	0.004183	1.188379	42.167322	0.137585
2962	31.126932	106.9398144	0.752802	0.003764	2.007956	42.17035	0.232457
2963	31.171876	106.9712304	0.699002	0.003495	1.197045	42.172142	0.138575
2964	31.220436	107.0026463	0.646951	0.003235	1.07189	42.17375	0.124082
2965	31.291112	107.0445342	0.592675	0.002963	0.767955	42.175305	0.088896

На сликама 7.12(а-ђ) - 7.14(а-ђ) дати су дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању.

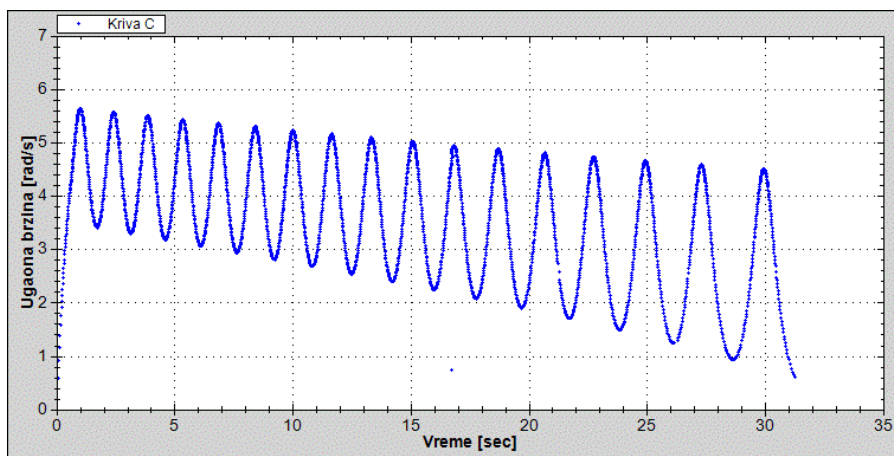
ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА У ЛЕЖАЈУ



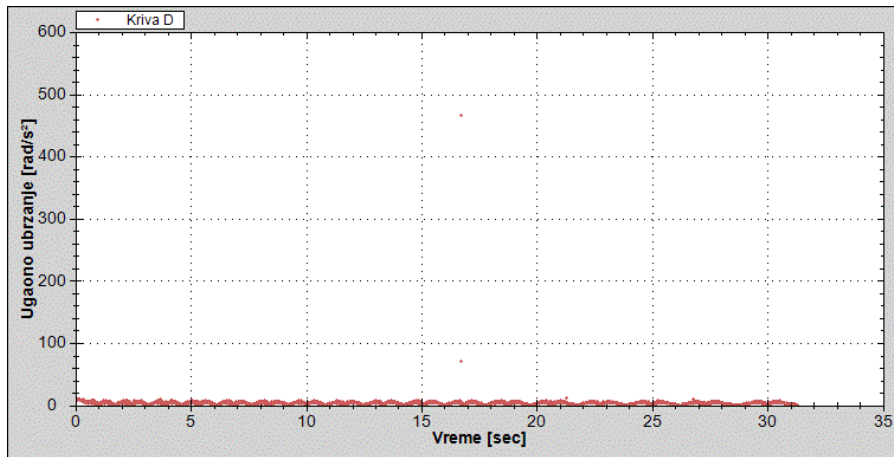
a)



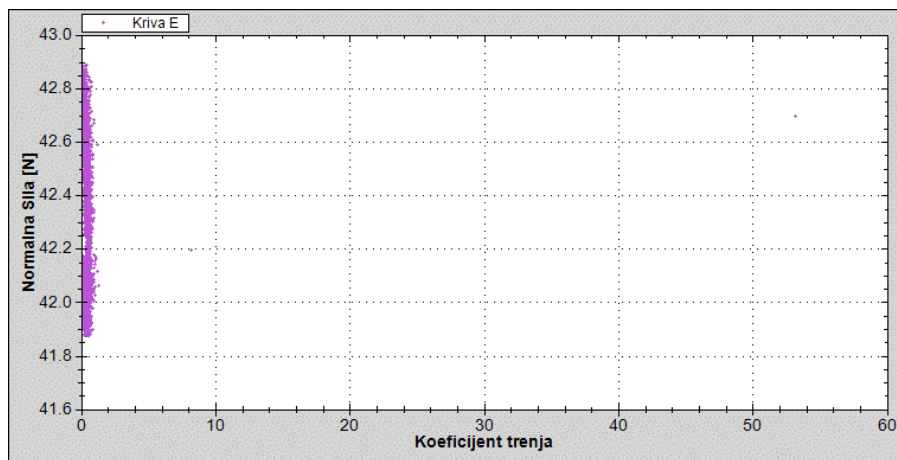
б)



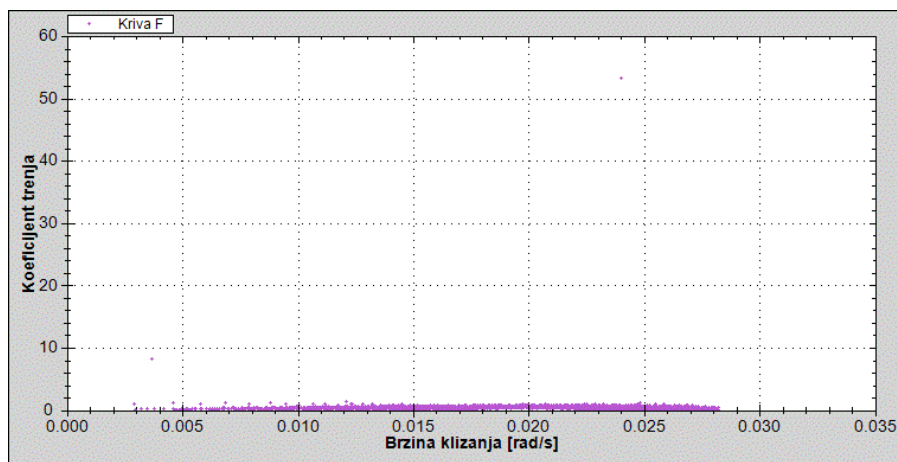
в)



Г)



Д)



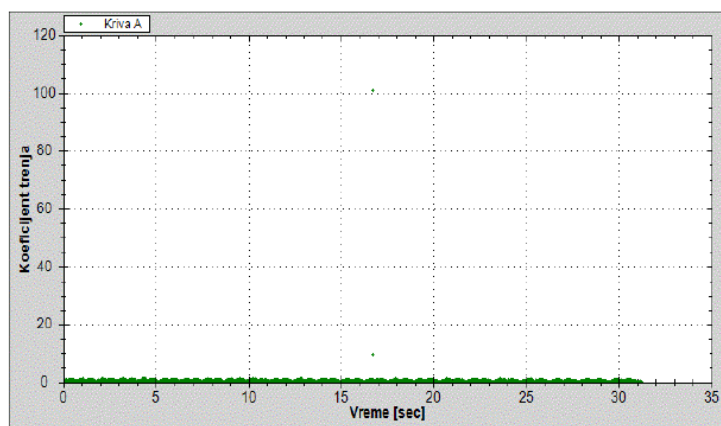
Ђ)

Слика 7.12(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања мањом енергијом.

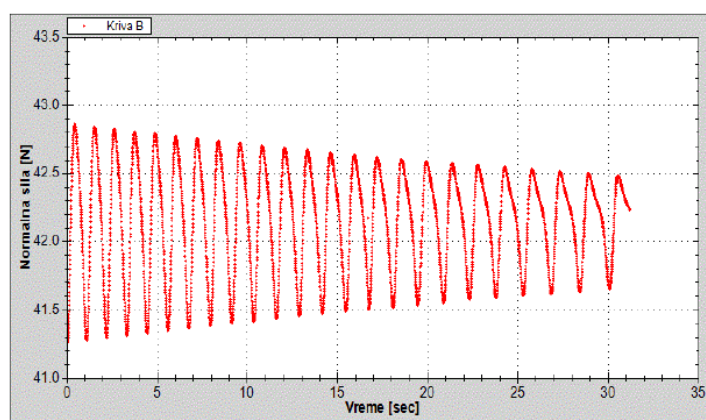
Табела 7.2 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "средњом" енергијом.

Величина	Време	Угао	Угаона брзина	Брзина клизања	Угаоно убрзање	Оптерећење лежаја	Коефицијент трења
Р. Бр./Јединица	t [s]	ϕ [rad]	ω [rad/s]	$\dot{\theta}_k$ [(rad/s)m]	ε [rad/s ²]	F [N]	μ
1	0	0	0	0	0	42.183	0
2	0.007876	0.05235988	6.648029	0.03324	844.086973	41.189946	100.044623
3	0.012764	0.0837758	6.427152	0.032136	45.187602	41.256823	5.347135
4	0.01926	0.12566371	6.448262	0.032241	3.249692	41.254825	0.384561
5	0.025736	0.16755161	6.468175	0.032341	3.074892	41.254844	0.363875
6	0.032196	0.20943951	6.484195	0.032421	2.479876	41.257665	0.293444
7	0.03702	0.24085544	6.512423	0.032562	5.851575	41.256283	0.692438
8	0.04344	0.28274334	6.524595	0.032623	1.89595	41.263199	0.224316
9	0.04824	0.31415927	6.544985	0.032725	4.247917	41.266344	0.50255
10	0.054628	0.35604717	6.557279	0.032786	1.924546	41.276224	0.227627
•							
•							
•							
1999	13.976916	74.53952204	4.786095	0.02393	3.084095	41.846226	0.359808
2000	13.983412	74.57093796	4.836195	0.024181	7.712438	41.826796	0.900193
2001	13.989868	74.60235389	4.86616	0.024331	4.641419	41.810227	0.541958
2002	13.996284	74.63376982	4.896498	0.024482	4.728491	41.793644	0.552342
2003	14.002664	74.66518574	4.924125	0.024621	4.330251	41.777572	0.506018
2004	14.013168	74.71754562	4.984756	0.024924	5.772182	41.748517	0.674989
2005	14.025684	74.78037747	5.020122	0.025101	2.825663	41.720793	0.330646
2006	14.033928	74.82226538	5.081018	0.025405	7.386705	41.695836	0.864878
2007	14.046196	74.88509723	5.121605	0.025608	3.308363	41.668815	0.387614
2008	14.058324	74.94792908	5.180726	0.025904	4.874753	41.639299	0.571542
•							
•							
•							
3999	31.09894	148.6287491	2.553309	0.012767	0.202698	42.26545	0.023414
4000	31.111248	148.6601651	2.552481	0.012762	0.067273	42.261547	0.007771
4001	31.12352	148.691581	2.559968	0.0128	0.610088	42.258059	0.070481
4002	31.135788	148.7229969	2.560802	0.012804	0.067982	42.254082	0.007852
4003	31.147976	148.7544128	2.577612	0.012888	1.379225	42.250868	0.159367
4004	31.160104	148.7858288	2.590364	0.012952	1.051451	42.247282	0.121504
4005	31.172168	148.8172447	2.604105	0.013021	1.139009	42.243597	0.131632
4006	31.204012	148.9010205	2.630819	0.013154	0.838902	42.232671	0.096977
4007	31.215816	148.9324364	2.661464	0.013307	2.596154	42.229065	0.300135
4008	31.227536	148.9638523	2.68054	0.013403	1.627645	42.224843	0.188188

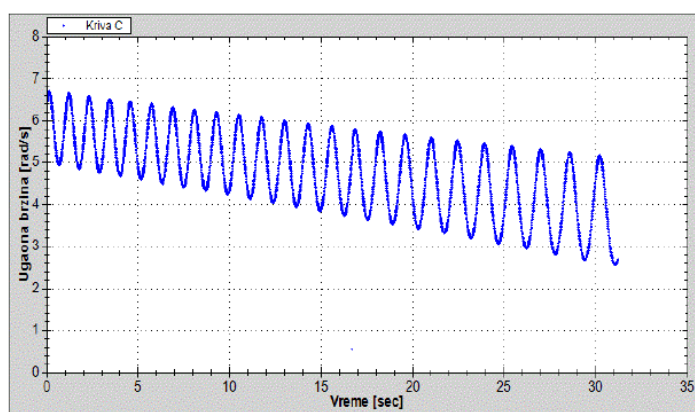
ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА У ЛЕЖАЈУ



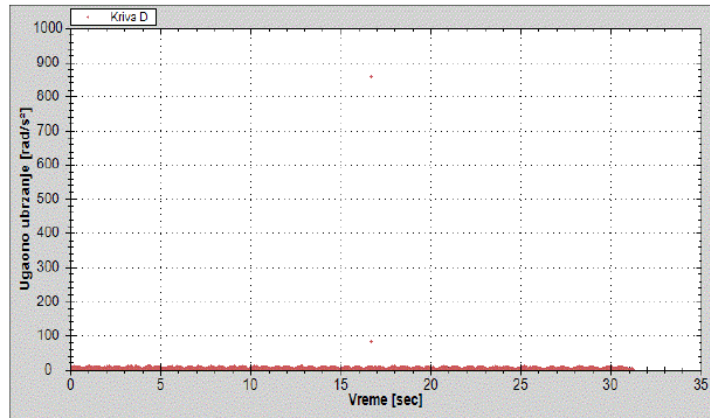
а)



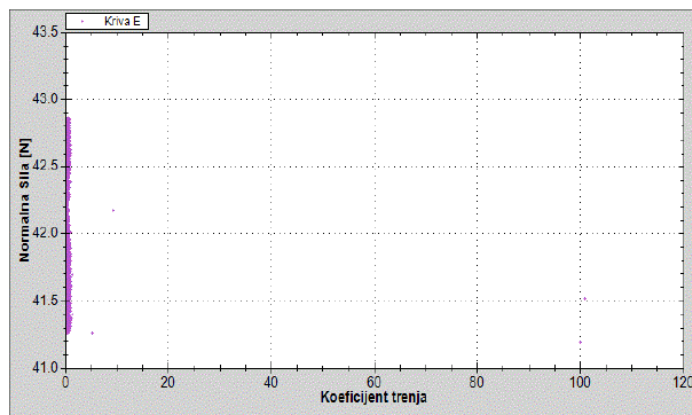
б)



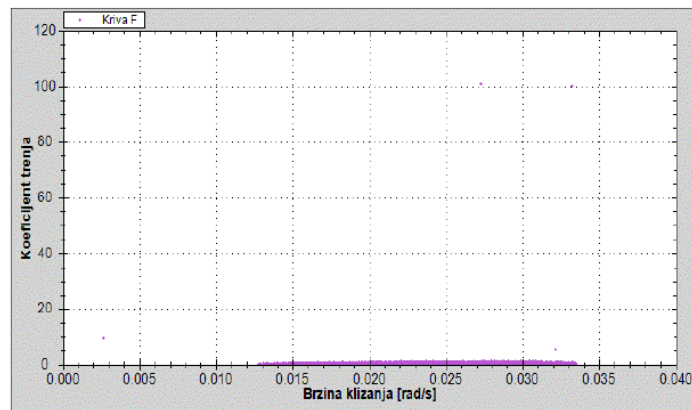
в)



Г)



Д)



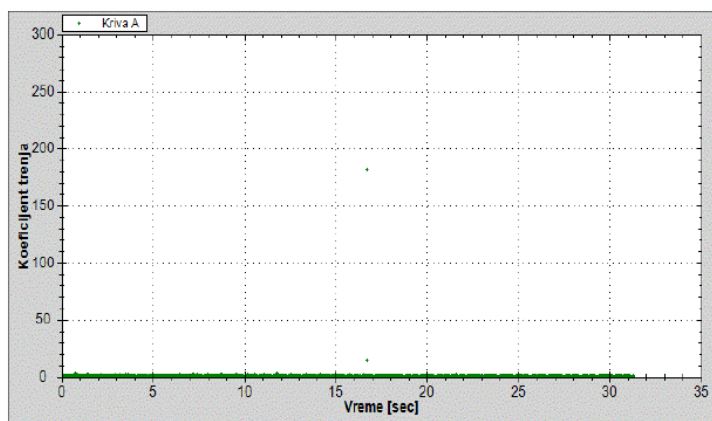
Ђ)

Слика 7.13(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања средњом енергијом.

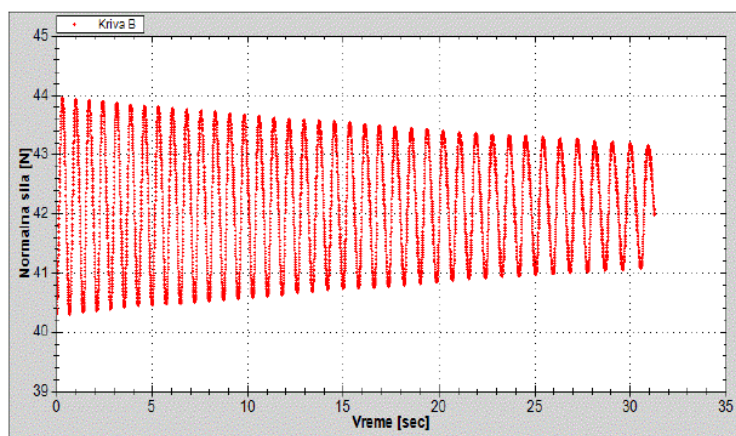
Табела 7.3 Резултати мерења при ручном иницирању кретања "већом" енергијом.

Величина	Време	Угао	Угаона брзина	Брзина клизања	Угаоно убрзање	Оптерећење лежаја	Коефицијент трења
Р. Бр.\Јединица	t [s]	ϕ [rad]	ω [rad/s]	$\dot{\theta}_k$ [(rad/s)m]	ε [rad/s ²]	F [N]	μ
1	0	0	0	0	0	42.183	0
2	0.004528	0.0418879	9.250861	0.046254	2043.034673	40.259174	247.74714
3	0.009072	0.0837758	9.218288	0.046091	7.168354	40.277727	0.868867
4	0.01362	0.12566371	9.210182	0.046051	1.782322	40.289432	0.215967
5	0.017032	0.15707963	9.207479	0.046037	0.792204	40.298987	0.095973
6	0.021576	0.19896754	9.21829	0.046091	2.379181	40.308742	0.288156
7	0.024972	0.23038346	9.25086	0.046254	9.590695	40.30836	1.16159
8	0.02836	0.26179939	9.272707	0.046364	6.448347	40.314301	0.780884
9	0.031752	0.29321532	9.261772	0.046309	3.223762	40.335316	0.390189
10	0.035128	0.32463124	9.305664	0.046528	13.001185	40.336372	1.573562
•							
•							
•							
3274	14.416656	121.2864209	8.408975	0.042045	0	42.706226	0
3275	14.422904	121.3387808	8.380261	0.041901	4.595711	42.780045	0.524455
3276	14.426656	121.3701967	8.373116	0.041866	1.904318	42.824609	0.21709
3277	14.430416	121.4016127	8.355301	0.041777	4.738032	42.866639	0.539604
3278	14.435444	121.4435006	8.330927	0.041655	4.847653	42.920935	0.551391
3279	14.44048	121.4853885	8.317693	0.041588	2.627879	42.975395	0.298529
3280	14.444264	121.5168044	8.302307	0.041512	4.066068	43.014007	0.461492
3281	14.448056	121.5482203	8.284789	0.041424	4.619726	43.051054	0.52388
3282	14.451844	121.5796363	8.29354	0.041468	2.31019	43.092665	0.261724
3283	14.456916	121.6215242	8.258655	0.041293	6.877957	43.136227	0.778422
•							
•							
•							
6549	31.23846	243.4105999	5.932011	0.02966	0.422961	42.232713	0.048891
6550	31.245504	243.4524878	5.946607	0.029733	2.072118	42.199662	0.239718
6551	31.250792	243.4839038	5.940985	0.029705	1.063162	42.174683	0.123069
6552	31.257808	243.5257917	5.970339	0.029852	4.183865	42.141025	0.484696
6553	31.263072	243.5572076	5.96807	0.02984	0.431041	42.11594	0.049967
6554	31.270084	243.5990955	5.973746	0.029869	0.809469	42.082366	0.093906
6555	31.275328	243.6305114	5.990831	0.029954	3.258009	42.056674	0.378194
6556	31.2823	243.6723993	6.008019	0.03004	2.46529	42.022468	0.286409
6557	31.287504	243.7038152	6.036879	0.030184	5.545734	41.995754	0.644689
6558	31.294452	243.7457031	6.028771	0.030144	1.166955	41.96308	0.135762

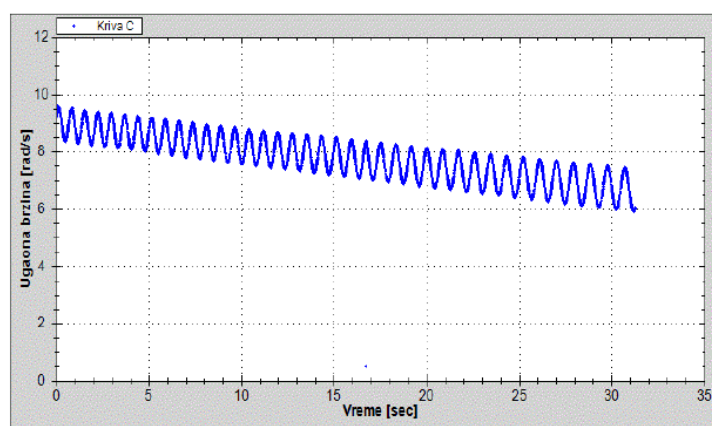
ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА У ЛЕЖАЈУ



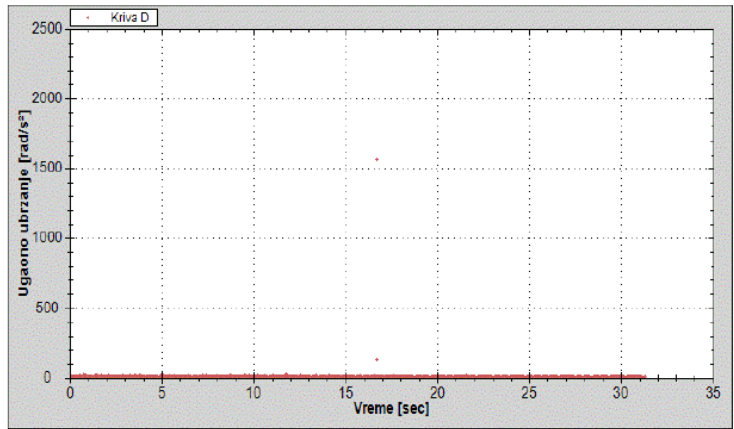
a)



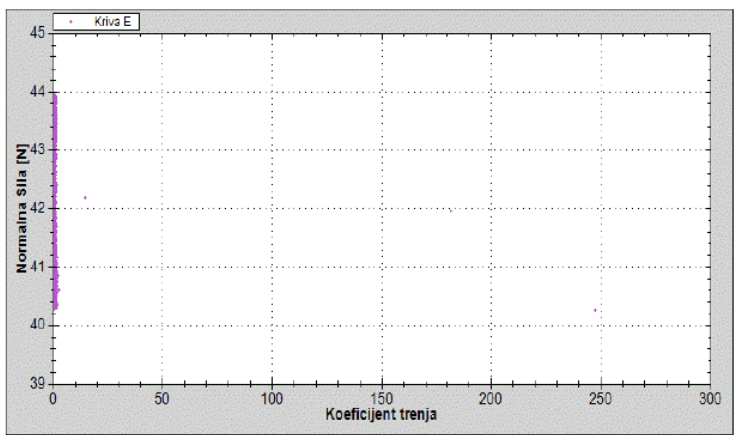
б)



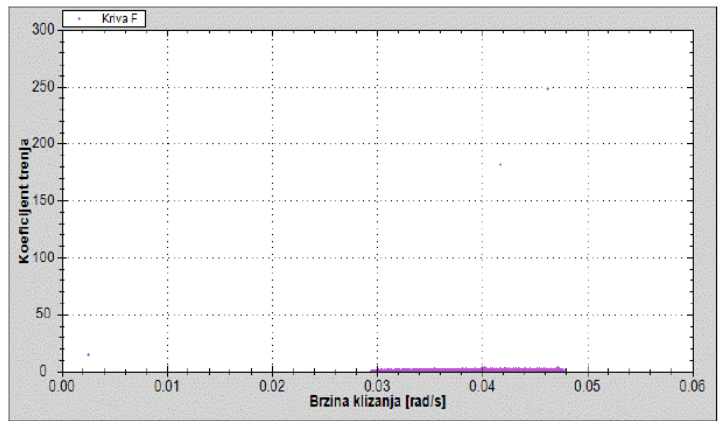
в)



Г)



Д)



Ђ)

Слика 7.14(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при ручном иницирању кретања већом енергијом.

Табела 7.4 Резултати мерења при иницирању кретања "мањом" енергијом преко импулсне силе удара (сензор 2).

Величина	Време	Угао	Угаона брзина	Брзина клизања	Угаоно убрзање	Оптерећење лежаја	Коефицијент трења
Р. Бр./Јединица	t [s]	ϕ [rad]	ω [rad/s]	$\dot{\theta}_k$ [(rad/s)m]	ε [rad/s ²]	F [N]	μ
1	0	0	0	0	0	21.0915	0
2	0.324328	0.0418879	0.129153	0.000646	0.398217	21.0915	0.183467
3	0.367248	0.07330383	0.731965	0.00366	14.045014	21.0915	6.470967
4	0.4113	0.10471976	0.713156	0.003566	0.426973	21.0915	0.196724
5	0.454248	0.13613568	0.731487	0.003657	0.426818	21.0915	0.196648
6	0.498528	0.16755161	0.709484	0.003547	0.496906	21.0915	0.228936
7	0.541748	0.19896754	0.726884	0.003634	0.402591	21.0915	0.185487
8	0.586088	0.23038346	0.708523	0.003543	0.414096	21.0915	0.190788
9	0.629716	0.26179939	0.720086	0.0036	0.265036	21.0915	0.122106
10	0.674088	0.29321532	0.708012	0.00354	0.272109	21.0915	0.125368
11	0.718324	0.32463124	0.710189	0.003551	0.049213	21.0915	0.022673
12	0.762868	0.35604717	0.705279	0.003526	0.110228	21.0915	0.050788
13	0.807688	0.3874631	0.700936	0.003505	0.096899	21.0915	0.044644
14	0.852584	0.41887902	0.699749	0.003499	0.026439	21.0915	0.012185
15	0.897924	0.45029495	0.692897	0.003464	0.151125	21.0915	0.06963
16	0.943412	0.48171088	0.690642	0.003453	0.049574	21.0915	0.022843
17	0.989356	0.5131268	0.683787	0.003419	0.149203	21.0915	0.068739
18	1.035532	0.54454273	0.680352	0.003402	0.074389	21.0915	0.03427
19	1.081956	0.57595866	0.676717	0.003384	0.0783	21.0915	0.036071
20	1.128916	0.60737458	0.668993	0.003345	0.16448	21.0915	0.075784
21	1.17616	0.63879051	0.664972	0.003325	0.085111	21.0915	0.03921
22	1.223928	0.67020644	0.657677	0.003288	0.152717	21.0915	0.07036
23	1.27214	0.70162236	0.65162	0.003258	0.125633	21.0915	0.057881
24	1.320764	0.73303829	0.646099	0.00323	0.113545	21.0915	0.052315
25	1.370008	0.76445422	0.637965	0.00319	0.165177	21.0915	0.076106
26	1.419724	0.79587014	0.631908	0.00316	0.121832	21.0915	0.056136
27	1.469948	0.82728607	0.625516	0.003128	0.12727	21.0915	0.05864
28	1.52086	0.858702	0.617063	0.003085	0.166032	21.0915	0.076495
29	1.572252	0.89011792	0.6113	0.003056	0.112138	21.0915	0.05167
30	1.624352	0.92153385	0.602993	0.003015	0.159443	21.0915	0.073461
31	1.677248	0.95294978	0.593919	0.00297	0.171544	21.0915	0.079037
32	1.730808	0.9843657	0.586556	0.002933	0.137472	21.0915	0.063334
33	1.78504	1.01578163	0.579288	0.002896	0.134017	21.0915	0.06175
34	1.840072	1.04719756	0.570867	0.002854	0.15302	21.0915	0.070502
35	1.895932	1.07861348	0.562405	0.002812	0.151486	21.0915	0.069791
36	1.952616	1.11002941	0.554229	0.002771	0.144238	21.0915	0.066453
37	2.01014	1.14144534	0.546136	0.002731	0.140689	21.0915	0.064822
38	2.068576	1.17286126	0.537612	0.002688	0.145869	21.0915	0.067202
39	2.127852	1.20427719	0.529994	0.00265	0.128517	21.0915	0.059209
40	2.18812	1.23569312	0.52127	0.002606	0.144753	21.0915	0.06669
41	2.249344	1.26710904	0.513131	0.002566	0.132938	21.0915	0.061247
42	2.311624	1.29852497	0.50443	0.002522	0.139708	21.0915	0.064367
43	2.374856	1.3299409	0.496836	0.002484	0.120097	21.0915	0.05533
44	2.439164	1.36135682	0.488523	0.002443	0.129269	21.0915	0.05956
45	2.504552	1.39277275	0.480454	0.002402	0.123402	21.0915	0.056857
46	2.571012	1.42418868	0.472704	0.002364	0.116611	21.0915	0.053728
47	2.638584	1.4556046	0.464925	0.002325	0.115122	21.0915	0.053036
48	2.707368	1.48702053	0.456733	0.002284	0.119097	21.0915	0.054875
49	2.777216	1.51843646	0.449776	0.002249	0.099602	21.0915	0.045886
50	2.84822	1.54985238	0.442453	0.002212	0.103135	21.0915	0.047517
51	2.920392	1.58126831	0.435292	0.002176	0.099221	21.0915	0.045715

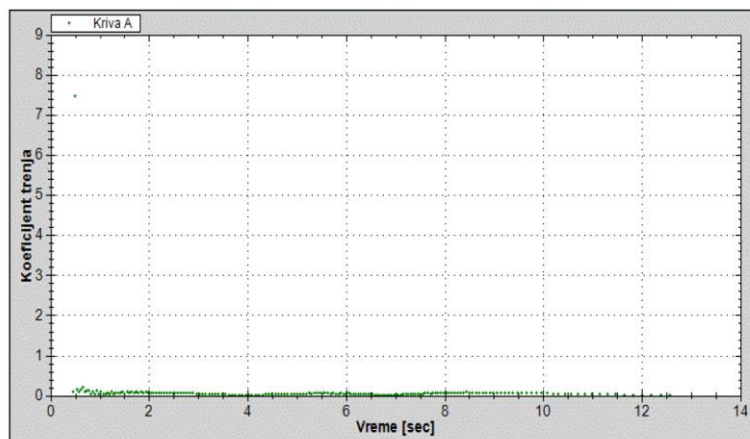
52	2.99372	1.61268424	0.42843	0.002142	0.09358	21.0915	0.043117
53	3.068272	1.64410016	0.421396	0.002107	0.09435	21.0915	0.043468
54	3.143936	1.67551609	0.415203	0.002076	0.081849	21.0915	0.037712
55	3.220764	1.70693202	0.408913	0.002045	0.081871	21.0915	0.037721
56	3.298652	1.73834794	0.403347	0.002017	0.071462	21.0915	0.032923
57	3.377548	1.76976387	0.398194	0.001991	0.065314	21.0915	0.030088
58	3.457416	1.8011798	0.393348	0.001967	0.060675	21.0915	0.027954
59	3.538148	1.83259572	0.389138	0.001946	0.052148	21.0915	0.024029
60	3.6198	1.86401165	0.384754	0.001924	0.053691	21.0915	0.02474
61	3.702188	1.89542758	0.381317	0.001907	0.041717	21.0915	0.019221
62	3.785308	1.9268435	0.377959	0.00189	0.040399	21.0915	0.018614
63	3.869072	1.95825943	0.375053	0.001875	0.034693	21.0915	0.015987
64	3.953236	1.98967536	0.37327	0.001866	0.021185	21.0915	0.009757
65	4.03778	2.02109128	0.371593	0.001858	0.019836	21.0915	0.009141
66	4.12262	2.05250721	0.370296	0.001851	0.015288	21.0915	0.007045
67	4.207616	2.08392314	0.369617	0.001848	0.007989	21.0915	0.003679
68	4.292688	2.11533906	0.369286	0.001846	0.003891	21.0915	0.001792
69	4.377668	2.14675499	0.369686	0.001848	0.004707	21.0915	0.002171
70	4.462476	2.17817092	0.370436	0.001852	0.008844	21.0915	0.004077
71	4.546944	2.20958684	0.371927	0.00186	0.017652	21.0915	0.008136
72	4.631156	2.24100277	0.373058	0.001865	0.01343	21.0915	0.006192
73	4.714792	2.2724187	0.375627	0.001878	0.030716	21.0915	0.014148
74	4.797912	2.30383462	0.377959	0.00189	0.028056	21.0915	0.012925
75	4.880272	2.33525055	0.381446	0.001907	0.042339	21.0915	0.019505
76	4.961872	2.36666648	0.384999	0.001925	0.043542	21.0915	0.020065
77	5.04268	2.3980824	0.388772	0.001944	0.046691	21.0915	0.021516
78	5.1227	2.42949833	0.392601	0.001963	0.047851	21.0915	0.022047
79	5.201864	2.46091426	0.396846	0.001984	0.053623	21.0915	0.024702
80	5.280072	2.49233018	0.401697	0.002008	0.062027	21.0915	0.02858
81	5.357324	2.52374611	0.406668	0.002033	0.064348	21.0915	0.029652
82	5.433568	2.55516204	0.412045	0.00206	0.070524	21.0915	0.032497
83	5.50876	2.58657796	0.417809	0.002089	0.076657	21.0915	0.035322
84	5.582908	2.61799389	0.423692	0.002118	0.079341	21.0915	0.036555
85	5.656044	2.64940982	0.429555	0.002148	0.080166	21.0915	0.036934
86	5.72818	2.68082574	0.43551	0.002178	0.082552	21.0915	0.038034
87	5.79938	2.71224167	0.441235	0.002206	0.080407	21.0915	0.037048
88	5.869656	2.7436576	0.447036	0.002235	0.082546	21.0915	0.038034
89	5.938836	2.77507352	0.454119	0.002271	0.102385	21.0915	0.047175
90	6.00714	2.80648945	0.459943	0.0023	0.085266	21.0915	0.039286
91	6.074516	2.83790538	0.466278	0.002331	0.094025	21.0915	0.043316
92	6.141012	2.8693213	0.472448	0.002362	0.092788	21.0915	0.042747
93	6.206672	2.90073723	0.478464	0.002392	0.091624	21.0915	0.042216
94	6.271448	2.93215316	0.484993	0.002425	0.100794	21.0915	0.046436
95	6.335388	2.96356908	0.491334	0.002457	0.099171	21.0915	0.045687
96	6.398528	2.99498501	0.49756	0.002488	0.098606	21.0915	0.045431
97	6.460988	3.02640094	0.502977	0.002515	0.086728	21.0915	0.039959
98	6.522712	3.05781686	0.508974	0.002545	0.097158	21.0915	0.044767
99	6.583812	3.08923279	0.514172	0.002571	0.085074	21.0915	0.039201
100	6.644284	3.12064872	0.519512	0.002598	0.088305	21.0915	0.040689
101	6.704116	3.15206464	0.525069	0.002625	0.092877	21.0915	0.042794
102	6.763376	3.18348057	0.530137	0.002651	0.085521	21.0915	0.0394
103	6.822144	3.2148965	0.534575	0.002673	0.075517	21.0915	0.034791
104	6.880348	3.24631242	0.539755	0.002699	0.088997	21.0915	0.041002
105	6.938052	3.27772835	0.544432	0.002722	0.081052	21.0915	0.037342
106	6.995296	3.30914428	0.548807	0.002744	0.076427	21.0915	0.035208
107	7.052204	3.3405602	0.552048	0.00276	0.056952	21.0915	0.026238
108	7.108736	3.37197613	0.555719	0.002779	0.064937	21.0915	0.029917
109	7.164868	3.40339206	0.55968	0.002798	0.070566	21.0915	0.032515

110	7.220624	3.43480798	0.563454	0.002817	0.067688	21.0915	0.031188
111	7.276176	3.46622391	0.565523	0.002828	0.037244	21.0915	0.017163
112	7.33148	3.49763984	0.568059	0.00284	0.045856	21.0915	0.021127
113	7.38652	3.52905576	0.570783	0.002854	0.049491	21.0915	0.022805
114	7.44132	3.56047169	0.573283	0.002866	0.04562	21.0915	0.021023
115	7.496008	3.59188762	0.574457	0.002872	0.021467	21.0915	0.00989
116	7.550556	3.62330354	0.575932	0.00288	0.02704	21.0915	0.01246
117	7.60502	3.65471947	0.57682	0.002884	0.016304	21.0915	0.00751
118	7.659352	3.6861354	0.578221	0.002891	0.025786	21.0915	0.011882
119	7.713672	3.71755132	0.578349	0.002892	0.002356	21.0915	0.001081
120	7.767972	3.74896725	0.578562	0.002893	0.003923	21.0915	0.001811
121	7.822284	3.78038318	0.578434	0.002892	0.002357	21.0915	0.00109
122	7.876664	3.8117991	0.577711	0.002889	0.013295	21.0915	0.006126
123	7.931016	3.84321503	0.578009	0.00289	0.005483	21.0915	0.002522
124	7.985576	3.87463096	0.575805	0.002879	0.040396	21.0915	0.018614
125	8.040324	3.90604688	0.573828	0.002869	0.036111	21.0915	0.016642
126	8.09526	3.93746281	0.571864	0.002859	0.035751	21.0915	0.016471
127	8.150396	3.96887874	0.56979	0.002849	0.037616	21.0915	0.017334
128	8.205856	4.00029466	0.566461	0.002832	0.060025	21.0915	0.027651
129	8.261612	4.03171059	0.563454	0.002817	0.053931	21.0915	0.024844
130	8.317652	4.06312652	0.560598	0.002803	0.050964	21.0915	0.023479
131	8.374092	4.09454244	0.556625	0.002783	0.070393	21.0915	0.03243
132	8.430964	4.12595837	0.552397	0.002762	0.074342	21.0915	0.034251
133	8.488352	4.1573743	0.54743	0.002737	0.086551	21.0915	0.039874
134	8.546316	4.18879022	0.54199	0.00271	0.093851	21.0915	0.04324
135	8.6048	4.22020615	0.537171	0.002686	0.082399	21.0915	0.037968
136	8.663944	4.25162208	0.531177	0.002656	0.101346	21.0915	0.046692
137	8.723844	4.283038	0.524473	0.002622	0.11192	21.0915	0.051566
138	8.784424	4.31445393	0.518586	0.002593	0.097177	21.0915	0.044776
139	8.845792	4.34586986	0.511927	0.00256	0.108509	21.0915	0.049992
140	8.908072	4.37728578	0.50443	0.002522	0.120376	21.0915	0.055463
141	8.971328	4.40870171	0.496647	0.002483	0.12304	21.0915	0.056686
142	9.03562	4.44011764	0.488644	0.002443	0.124479	21.0915	0.05735
143	9.101008	4.47153356	0.480454	0.002402	0.125252	21.0915	0.05771
144	9.167628	4.50294949	0.471569	0.002358	0.133368	21.0915	0.061447
145	9.235576	4.53436542	0.462353	0.002312	0.135633	21.0915	0.06249
146	9.304928	4.56578134	0.452992	0.002265	0.134978	21.0915	0.062186
147	9.375768	4.59719727	0.443477	0.002217	0.134317	21.0915	0.061883
148	9.44832	4.6286132	0.433013	0.002165	0.144228	21.0915	0.066453
149	9.522556	4.66002912	0.42319	0.002116	0.132321	21.0915	0.060963
150	9.598792	4.69144505	0.412088	0.00206	0.145627	21.0915	0.067098
151	9.67724	4.72286098	0.400468	0.002002	0.148124	21.0915	0.068246
152	9.757992	4.7542769	0.389042	0.001945	0.141495	21.0915	0.065192
153	9.841172	4.78569283	0.377686	0.001888	0.136523	21.0915	0.062897
154	9.927152	4.81710876	0.365386	0.001827	0.143057	21.0915	0.065913
155	10.01628	4.84852468	0.352481	0.001762	0.144792	21.0915	0.066709
156	10.108832	4.87994061	0.339441	0.001697	0.140894	21.0915	0.064917
157	10.20514	4.91135654	0.326203	0.001631	0.137455	21.0915	0.063334
158	10.305848	4.94277246	0.311951	0.00156	0.141518	21.0915	0.065202
159	10.411312	4.97418839	0.297883	0.001489	0.133391	21.0915	0.061456
160	10.52242	5.00560432	0.282751	0.001414	0.136192	21.0915	0.062746
161	10.63998	5.03702024	0.267233	0.001336	0.132001	21.0915	0.060821
162	10.765224	5.06843617	0.250838	0.001254	0.130904	21.0915	0.060309
163	10.899472	5.0998521	0.234014	0.00117	0.12532	21.0915	0.057739
164	11.044896	5.13126802	0.21603	0.00108	0.123666	21.0915	0.05698
165	11.204292	5.16268395	0.197094	0.000985	0.118798	21.0915	0.054733
166	11.382012	5.19409988	0.176772	0.000884	0.114348	21.0915	0.052685
167	11.585416	5.2255158	0.154451	0.000772	0.109737	21.0915	0.050561

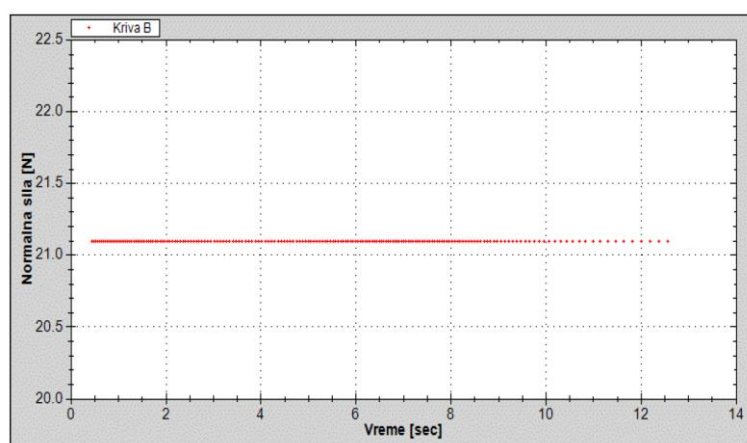
168	11.828948	5.25693173	0.129001	0.000645	0.104504	21.0915	0.048152
169	12.148128	5.28834766	0.098427	0.000492	0.095789	21.0915	0.044132

На сликама 7.15(а-ђ) и 7.16(а-ђ) дати су дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању

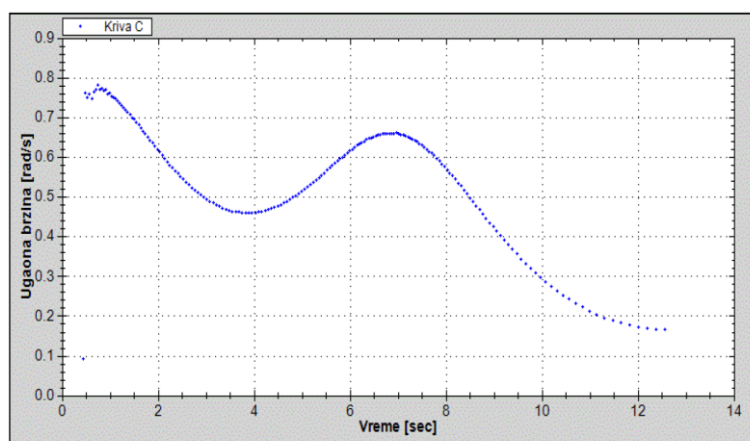
ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА У ЛЕЖАЈУ



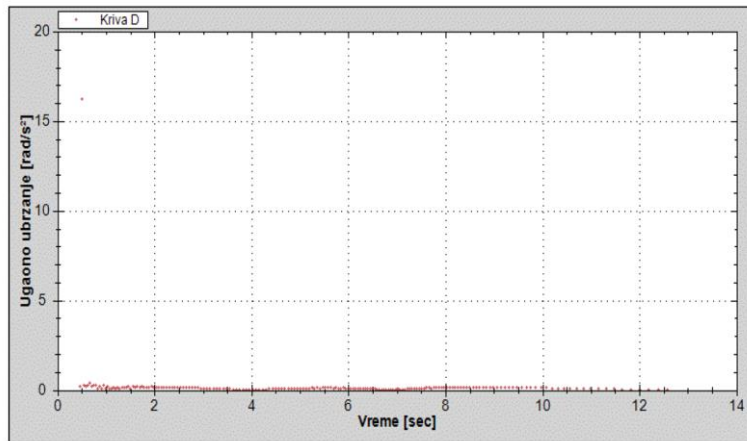
a)



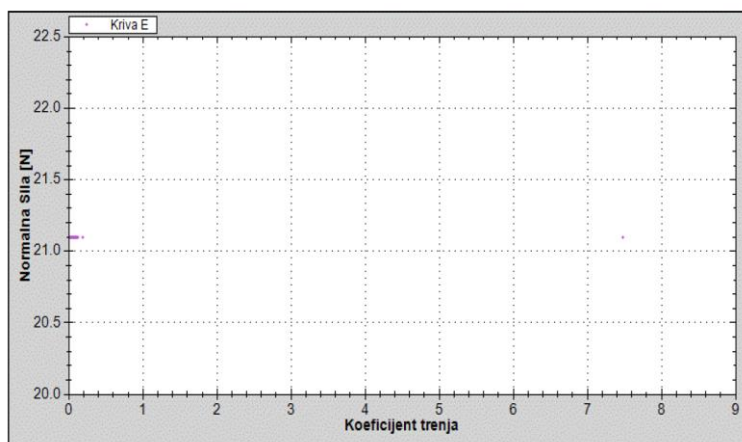
б)



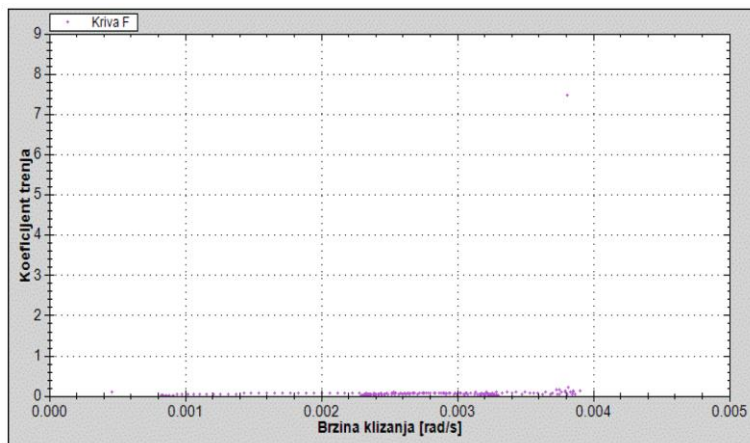
в)



Г)



Д)



Ѓ)

Слика 7.15(а-Ѓ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при иницирању кретања мањом енергијом удара (Сензор 2).

Табела 7.5 Резултати мерења при иницирању кретања "већом" енергијом преко импулсне силе удара (сензор 10).

Величина	Време	Угао	Угаона брзина	Брзина клизања	Угаоно убрзање	Оптерећење лежаја	Коефицијент трња
Р. Бр./Јединица	t [s]	φ [rad]	ω [rad/s]	ḡк [(rad/s)m]	ε [rad/s ²]	F [N]	μ
1	0	0	0	0	0	21.0915	0
2	0.753572	0.0418879	0.055586	0.000278	0.073763	21.0915	0.033985
3	0.773984	0.07330383	1.539091	0.007695	72.678082	21.0915	33.485015
4	0.794364	0.10471976	1.541508	0.007708	0.118597	21.0915	0.054638
5	0.81304	0.13613568	1.682155	0.008411	7.530895	21.0915	3.469711
6	0.833268	0.16755161	1.553091	0.007765	6.380463	21.0915	2.939677
7	0.852808	0.19896754	1.607775	0.008039	2.798567	21.0915	1.289382
8	0.87334	0.23038346	1.530095	0.00765	3.783363	21.0915	1.74311
9	0.89266	0.26179939	1.626083	0.00813	4.968323	21.0915	2.289055
10	0.911784	0.29321532	1.642749	0.008214	0.87147	21.0915	0.401517
11	0.932364	0.32463124	1.526527	0.007633	5.647328	21.0915	2.601901
12	0.952288	0.35604717	1.576788	0.007884	2.522636	21.0915	1.16226
13	0.97218	0.3874631	1.579325	0.007897	0.127539	21.0915	0.058763
14	0.991628	0.41887902	1.615381	0.008077	1.85397	21.0915	0.854183
15	1.011772	0.45029495	1.559568	0.007798	2.770701	21.0915	1.276543
16	1.032092	0.48171088	1.54606	0.00773	0.664764	21.0915	0.306275
17	1.051808	0.5131268	1.593423	0.007967	2.402262	21.0915	1.106797
18	1.07176	0.54454273	1.574575	0.007873	0.944667	21.0915	0.435237
19	1.091524	0.57595866	1.589553	0.007948	0.757843	21.0915	0.349164
20	1.112036	0.60737458	1.531587	0.007658	2.825956	21.0915	1.302003
21	1.13176	0.63879051	1.592777	0.007964	3.102312	21.0915	1.429334
22	1.15188	0.67020644	1.561428	0.007807	1.558101	21.0915	0.717863
23	1.172056	0.70162236	1.557094	0.007785	0.21481	21.0915	0.098969
24	1.192316	0.73303829	1.550638	0.007753	0.318657	21.0915	0.146817
25	1.212536	0.76445422	1.553706	0.007769	0.151731	21.0915	0.069905
26	1.232532	0.79587014	1.57111	0.007856	0.870374	21.0915	0.401005
27	1.253016	0.82728607	1.533681	0.007668	1.827231	21.0915	0.841865
28	1.273344	0.858702	1.545451	0.007727	0.579004	21.0915	0.266761
29	1.293716	0.89011792	1.542113	0.007711	0.163852	21.0915	0.07549
30	1.313984	0.92153385	1.550026	0.00775	0.390418	21.0915	0.179873
31	1.33448	0.95294978	1.532783	0.007664	0.841286	21.0915	0.387606
32	1.355064	0.9843657	1.52623	0.007631	0.318354	21.0915	0.146675
33	1.37546	1.01578163	1.540299	0.007701	0.689792	21.0915	0.317806
34	1.396044	1.04719756	1.526231	0.007631	0.683443	21.0915	0.314885
35	1.416648	1.07861348	1.524749	0.007624	0.071928	21.0915	0.033141
36	1.437424	1.11002941	1.512126	0.007561	0.607576	21.0915	0.279933
37	1.457988	1.14144534	1.527715	0.007639	0.758072	21.0915	0.349269
38	1.478784	1.17286126	1.510671	0.007553	0.819581	21.0915	0.377602
39	1.499624	1.20427719	1.507482	0.007537	0.153023	21.0915	0.070502
40	1.520444	1.23569312	1.50893	0.007545	0.069549	21.0915	0.032041
41	1.541272	1.26710904	1.50835	0.007542	0.027847	21.0915	0.01283
42	1.562184	1.29852497	1.502292	0.007511	0.28969	21.0915	0.133466
43	1.583256	1.3299409	1.490885	0.007454	0.541334	21.0915	0.249409
44	1.60418	1.36135682	1.50143	0.007507	0.503967	21.0915	0.232188
45	1.625208	1.39277275	1.494005	0.00747	0.353101	21.0915	0.162682
46	1.646292	1.42418868	1.490037	0.00745	0.1882	21.0915	0.086708
47	1.667468	1.4556046	1.483563	0.007418	0.305723	21.0915	0.140853
48	1.68854	1.48702053	1.490885	0.007454	0.347475	21.0915	0.160093
49	1.709752	1.51843646	1.481045	0.007405	0.463888	21.0915	0.213726
50	1.730972	1.54985238	1.480486	0.007402	0.026343	21.0915	0.012138
51	1.75226	1.58126831	1.475758	0.007379	0.222097	21.0915	0.102326
52	1.773472	1.61268424	1.481045	0.007405	0.249246	21.0915	0.114833
53	1.7948	1.64410016	1.472989	0.007365	0.377719	21.0915	0.174023
54	1.816204	1.67551609	1.46776	0.007339	0.2443	21.0915	0.112557
55	1.837572	1.70693202	1.470233	0.007351	0.115734	21.0915	0.05332
56	1.858972	1.73834794	1.468034	0.00734	0.102757	21.0915	0.047346
57	1.88044	1.76976387	1.463384	0.007317	0.216601	21.0915	0.099794
58	1.901928	1.8011798	1.462022	0.00731	0.063384	21.0915	0.029206
59	1.923408	1.83259572	1.462566	0.007313	0.025326	21.0915	0.011673
60	1.944876	1.86401165	1.463384	0.007317	0.038103	21.0915	0.017552
61	1.966428	1.89542758	1.45768	0.007288	0.264662	21.0915	0.121935
62	1.987984	1.9268435	1.45741	0.007287	0.012526	21.0915	0.005775
63	2.009516	1.95825943	1.459034	0.007295	0.075423	21.0915	0.034753
64	2.031104	1.98967536	1.45525	0.007276	0.175283	21.0915	0.080762
65	2.052696	2.02109128	1.45498	0.007275	0.012505	21.0915	0.005765

66	2.074272	2.05250721	1.456059	0.00728	0.050009	21.0915	0.023042
67	2.09584	2.08392314	1.456599	0.007283	0.025037	21.0915	0.011531
68	2.117448	2.11533906	1.453902	0.00727	0.124815	21.0915	0.057502
69	2.139056	2.14675499	1.453903	0.00727	0.000046	21.0915	0.000019
70	2.16064	2.17817092	1.455519	0.007278	0.07487	21.0915	0.034497
71	2.182232	2.20958684	1.45498	0.007275	0.024963	21.0915	0.011502
72	2.203816	2.24100277	1.455519	0.007278	0.024972	21.0915	0.011502
73	2.225416	2.2724187	1.454441	0.007272	0.049907	21.0915	0.022995
74	2.246992	2.30383462	1.456059	0.00728	0.074991	21.0915	0.034554
75	2.268564	2.33525055	1.456329	0.007282	0.012516	21.0915	0.005765
76	2.290128	2.36666648	1.456869	0.007284	0.025042	21.0915	0.01154
77	2.311656	2.3980824	1.459305	0.007297	0.113155	21.0915	0.052135
78	2.333176	2.42949833	1.459848	0.007299	0.025232	21.0915	0.011626
79	2.354704	2.46091426	1.459306	0.007297	0.025177	21.0915	0.011597
80	2.376236	2.49233018	1.459034	0.007295	0.012632	21.0915	0.005822
81	2.397736	2.52374611	1.461206	0.007306	0.101023	21.0915	0.04654
82	2.419216	2.55516204	1.462567	0.007313	0.063361	21.0915	0.029197
83	2.440688	2.58657796	1.463111	0.007316	0.025335	21.0915	0.011673
84	2.46214	2.61799389	1.464476	0.007322	0.06363	21.0915	0.02932
85	2.48354	2.64940982	1.468034	0.00734	0.166262	21.0915	0.0766
86	2.504928	2.68082574	1.468857	0.007344	0.03848	21.0915	0.017732
87	2.526296	2.71224167	1.470233	0.007351	0.064395	21.0915	0.029671
88	2.547664	2.7436576	1.470233	0.007351	0	21.0915	0
89	2.569016	2.77507352	1.471334	0.007357	0.051564	21.0915	0.023754
90	2.590296	2.80648945	1.476313	0.007382	0.233976	21.0915	0.107797
91	2.61158	2.83790538	1.476035	0.00738	0.013061	21.0915	0.006021
92	2.632832	2.8693213	1.478257	0.007391	0.104555	21.0915	0.048171
93	2.65404	2.90073723	1.481325	0.007407	0.144662	21.0915	0.066652
94	2.67522	2.93215316	1.483283	0.007416	0.092446	21.0915	0.042595
95	2.696372	2.96356908	1.485246	0.007426	0.092804	21.0915	0.042757
96	2.71748	2.99498501	1.488342	0.007442	0.146674	21.0915	0.067582
97	2.73854	3.02640094	1.491735	0.007459	0.161111	21.0915	0.074229
98	2.759592	3.05781686	1.492301	0.007462	0.026886	21.0915	0.012384
99	2.78062	3.08923279	1.494005	0.00747	0.081035	21.0915	0.037333
100	2.80162	3.12064872	1.495997	0.00748	0.094857	21.0915	0.043705
101	2.822588	3.15206464	1.498279	0.007491	0.108833	21.0915	0.050143
102	2.843528	3.18348057	1.500283	0.007501	0.095702	21.0915	0.044094
103	2.864452	3.2148965	1.50143	0.007507	0.054817	21.0915	0.025252
104	2.885356	3.24631242	1.502866	0.007514	0.068695	21.0915	0.031653
105	2.90622	3.27772835	1.505748	0.007529	0.138133	21.0915	0.063646
106	2.927064	3.30914428	1.507193	0.007536	0.069325	21.0915	0.031937
107	2.947884	3.3405602	1.50893	0.007545	0.083429	21.0915	0.038442
108	2.968692	3.37197613	1.509801	0.007549	0.041859	21.0915	0.019287
109	2.989492	3.40339206	1.510381	0.007552	0.027885	21.0915	0.012849
110	3.010264	3.43480798	1.512417	0.007562	0.098017	21.0915	0.045156
111	3.030996	3.46622391	1.515335	0.007577	0.140749	21.0915	0.064851
112	3.051736	3.49763984	1.514751	0.007574	0.028158	21.0915	0.012972
113	3.072468	3.52905576	1.515335	0.007577	0.028169	21.0915	0.012982
114	3.093184	3.56047169	1.516506	0.007583	0.056526	21.0915	0.026039
115	3.113868	3.59188762	1.518852	0.007594	0.113421	21.0915	0.052258
116	3.134556	3.62330354	1.518558	0.007593	0.014211	21.0915	0.006543
117	3.15524	3.65471947	1.518852	0.007594	0.014214	21.0915	0.006552
118	3.175928	3.6861354	1.518558	0.007593	0.014211	21.0915	0.006543
119	3.196576	3.71755132	1.521499	0.007607	0.142435	21.0915	0.065628
120	3.21724	3.74896725	1.520322	0.007602	0.056959	21.0915	0.026238
121	3.237908	3.78038318	1.520028	0.0076	0.014225	21.0915	0.006552
122	3.25858	3.8117991	1.519733	0.007599	0.014271	21.0915	0.006571
123	3.279256	3.84321503	1.519439	0.007597	0.014219	21.0915	0.006552
124	3.299892	3.87463096	1.522385	0.007612	0.14276	21.0915	0.065771
125	3.320576	3.90604688	1.518851	0.007594	0.170857	21.0915	0.078724
126	3.341272	3.93746281	1.517971	0.00759	0.04252	21.0915	0.019591
127	3.361976	3.96887874	1.517385	0.007587	0.028304	21.0915	0.013038
128	3.382684	4.00029466	1.517091	0.007585	0.014197	21.0915	0.006543
129	3.403432	4.03171059	1.514167	0.007571	0.140929	21.0915	0.064927
130	3.42418	4.06312652	1.514167	0.007571	0	21.0915	0
131	3.44492	4.09454244	1.51475	0.007574	0.02811	21.0915	0.012953
132	3.46568	4.12595837	1.513291	0.007566	0.070279	21.0915	0.032383
133	3.48646	4.1573743	1.511835	0.007559	0.070067	21.0915	0.032278
134	3.507276	4.18879022	1.50922	0.007546	0.125625	21.0915	0.057881
135	3.528128	4.22020615	1.506615	0.007533	0.124928	21.0915	0.057559
136	3.548988	4.25162208	1.506037	0.00753	0.027709	21.0915	0.012763
137	3.56988	4.283038	1.50373	0.007519	0.110425	21.0915	0.050874

138	3.590828	4.31445393	1.49971	0.007499	0.191904	21.0915	0.088415
139	3.61178	4.34586986	1.499424	0.007497	0.01365	21.0915	0.006287
140	3.632756	4.37728578	1.497708	0.007489	0.081808	21.0915	0.037693
141	3.653776	4.40870171	1.494573	0.007473	0.149144	21.0915	0.06872
142	3.67484	4.44011764	1.491451	0.007457	0.148215	21.0915	0.068283
143	3.695948	4.47153356	1.488342	0.007442	0.14729	21.0915	0.067857
144	3.717084	4.50294949	1.486371	0.007432	0.093253	21.0915	0.042965
145	3.738272	4.53436542	1.482723	0.007414	0.172173	21.0915	0.079321
146	3.759504	4.56578134	1.47965	0.007398	0.144734	21.0915	0.066681
147	3.780784	4.59719727	1.476312	0.007382	0.156861	21.0915	0.072266
148	3.802092	4.6286132	1.474373	0.007372	0.090999	21.0915	0.041922
149	3.823464	4.66002912	1.469957	0.00735	0.206625	21.0915	0.095195
150	3.844848	4.69144505	1.469133	0.007346	0.038533	21.0915	0.017751
151	3.8663	4.72286098	1.464476	0.007322	0.217089	21.0915	0.100021
152	3.887824	4.7542769	1.459576	0.007298	0.227653	21.0915	0.104886
153	3.909396	4.78569283	1.456329	0.007282	0.150519	21.0915	0.069345
154	3.930992	4.81710876	1.454711	0.007274	0.074921	21.0915	0.034516
155	3.95264	4.84852468	1.451216	0.007256	0.161447	21.0915	0.074381
156	3.97436	4.87994061	1.446406	0.007232	0.221455	21.0915	0.102032
157	3.996132	4.91135654	1.442951	0.007215	0.15869	21.0915	0.07311
158	4.017936	4.94277246	1.440833	0.007204	0.097138	21.0915	0.044757
159	4.039816	4.97418839	1.435829	0.007179	0.228702	21.0915	0.105369
160	4.061728	5.00560432	1.433732	0.007169	0.095701	21.0915	0.044094
161	4.083692	5.03702024	1.430337	0.007152	0.154571	21.0915	0.071214
162	4.1057	5.06843617	1.427478	0.007137	0.129907	21.0915	0.059853
163	4.127768	5.0998521	1.423597	0.007118	0.175866	21.0915	0.081028
164	4.149868	5.13126802	1.421535	0.007108	0.093303	21.0915	0.042984
165	4.172016	5.16268395	1.418454	0.007092	0.13911	21.0915	0.064092
166	4.194212	5.19409988	1.415387	0.007077	0.138178	21.0915	0.063665
167	4.21644	5.2255158	1.413349	0.007067	0.091686	21.0915	0.042245
168	4.238716	5.25693173	1.410304	0.007052	0.136694	21.0915	0.062983
169	4.261052	5.28834766	1.406515	0.007033	0.169636	21.0915	0.078155
170	4.283404	5.31976358	1.405508	0.007028	0.045052	21.0915	0.020757
171	4.3058	5.35117951	1.402747	0.007014	0.123281	21.0915	0.0568
172	4.328232	5.38259544	1.400496	0.007002	0.100348	21.0915	0.046237
173	4.350704	5.41401136	1.398003	0.00699	0.110938	21.0915	0.051111
174	4.373232	5.44542729	1.394528	0.006973	0.154252	21.0915	0.071071
175	4.395784	5.47684322	1.393044	0.006965	0.065803	21.0915	0.030316
176	4.41838	5.50825914	1.390331	0.006952	0.120065	21.0915	0.055321
177	4.441008	5.53967507	1.388365	0.006942	0.086884	21.0915	0.040026
178	4.463664	5.571091	1.386649	0.006933	0.075742	21.0915	0.034896
179	4.48634	5.60250692	1.385426	0.006927	0.053934	21.0915	0.024854
180	4.509028	5.63392285	1.384694	0.006923	0.032264	21.0915	0.014869
181	4.531756	5.66533878	1.382257	0.006911	0.107225	21.0915	0.049404
182	4.554492	5.6967547	1.38177	0.006909	0.02142	21.0915	0.009871
183	4.57726	5.72817063	1.379828	0.006899	0.085295	21.0915	0.039295
184	4.600048	5.75958656	1.378617	0.006893	0.053142	21.0915	0.024484
185	4.622828	5.79100248	1.379101	0.006896	0.021247	21.0915	0.009786
186	4.645616	5.82241841	1.378617	0.006893	0.021239	21.0915	0.009786
187	4.668412	5.85383434	1.378133	0.006891	0.021232	21.0915	0.009786
188	4.69122	5.88525026	1.377408	0.006887	0.031787	21.0915	0.014641
189	4.714032	5.91666619	1.377167	0.006886	0.010565	21.0915	0.004865
190	4.73684	5.94808212	1.377408	0.006887	0.010566	21.0915	0.004865
191	4.759652	5.97949804	1.377166	0.006886	0.010608	21.0915	0.004883
192	4.78244	6.01091397	1.378617	0.006893	0.063674	21.0915	0.029339
193	4.80526	6.0423299	1.376684	0.006883	0.084706	21.0915	0.03903
194	4.828048	6.07374582	1.378617	0.006893	0.084825	21.0915	0.039077
195	4.850852	6.10516175	1.37765	0.006888	0.042405	21.0915	0.019534
196	4.87362	6.13657768	1.379828	0.006899	0.095661	21.0915	0.044075
197	4.896364	6.1679936	1.381284	0.006906	0.064017	21.0915	0.029491
198	4.9191	6.19940953	1.38177	0.006909	0.021376	21.0915	0.009852
199	4.941836	6.23082546	1.38177	0.006909	0	21.0915	0
200	4.964564	6.26224138	1.382256	0.006911	0.021383	21.0915	0.009852
201	4.987268	6.29365731	1.383718	0.006919	0.064394	21.0915	0.029671
202	5.00996	6.32507324	1.38445	0.006922	0.032258	21.0915	0.014859
203	5.032628	6.35648916	1.385915	0.00693	0.064629	21.0915	0.029775
204	5.055252	6.38790509	1.388611	0.006943	0.119165	21.0915	0.054904
205	5.07784	6.41932102	1.390824	0.006954	0.097972	21.0915	0.045137
206	5.100404	6.45073694	1.392303	0.006962	0.065547	21.0915	0.030202
207	5.12294	6.48215287	1.394033	0.00697	0.076766	21.0915	0.03537
208	5.145468	6.5135688	1.394528	0.006973	0.021973	21.0915	0.010127
209	5.167988	6.54498472	1.395023	0.006975	0.02198	21.0915	0.010127

210	5.190436	6.57640065	1.399498	0.006997	0.19935	21.0915	0.091847
211	5.212872	6.60781658	1.400246	0.007001	0.033339	21.0915	0.015362
212	5.235276	6.63923251	1.402246	0.007011	0.08927	21.0915	0.041126
213	5.257652	6.67064843	1.404001	0.00702	0.078432	21.0915	0.036138
214	5.28	6.70206436	1.40576	0.007029	0.07871	21.0915	0.036261
215	5.3023	6.73348029	1.408786	0.007044	0.135695	21.0915	0.062518
216	5.324564	6.76489621	1.411064	0.007055	0.102318	21.0915	0.047137
217	5.346776	6.79631214	1.414367	0.007072	0.148703	21.0915	0.068511
218	5.368972	6.82772807	1.415387	0.007077	0.045954	21.0915	0.021174
219	5.391128	6.85914399	1.417942	0.00709	0.115319	21.0915	0.05313
220	5.413272	6.89055992	1.418711	0.007094	0.034727	21.0915	0.015997
221	5.435384	6.92197585	1.420764	0.007104	0.092846	21.0915	0.042776
222	5.457452	6.95339177	1.423596	0.007118	0.128331	21.0915	0.059123
223	5.479504	6.9848077	1.42463	0.007123	0.046889	21.0915	0.021601
224	5.501536	7.01622363	1.425923	0.00713	0.058687	21.0915	0.027035
225	5.523524	7.04763955	1.428776	0.007144	0.129753	21.0915	0.059778
226	5.54548	7.07905548	1.430859	0.007154	0.094872	21.0915	0.043714
227	5.567412	7.11047141	1.432424	0.007162	0.071357	21.0915	0.032876
228	5.58934	7.14188733	1.432685	0.007163	0.011903	21.0915	0.005481
229	5.611256	7.17330326	1.43347	0.007167	0.035819	21.0915	0.0165
230	5.633128	7.20471919	1.436354	0.007182	0.131858	21.0915	0.060754
231	5.654964	7.23613511	1.438721	0.007194	0.108399	21.0915	0.049944
232	5.676812	7.26755104	1.437932	0.00719	0.036113	21.0915	0.016642
233	5.698652	7.29896697	1.438458	0.007192	0.024084	21.0915	0.011095
234	5.720464	7.33038289	1.440304	0.007202	0.084632	21.0915	0.038992
235	5.742248	7.36179882	1.442156	0.007211	0.085017	21.0915	0.039172
236	5.76404	7.39321475	1.441627	0.007208	0.024275	21.0915	0.01118
237	5.78582	7.42463067	1.442421	0.007212	0.036455	21.0915	0.016793
238	5.807604	7.4560466	1.442156	0.007211	0.012165	21.0915	0.005604
239	5.829356	7.48746253	1.444278	0.007221	0.097554	21.0915	0.044947
240	5.851128	7.51887845	1.442951	0.007215	0.06095	21.0915	0.028078
241	5.8729	7.55029438	1.442951	0.007215	0	21.0915	0
242	5.894664	7.58171031	1.443481	0.007217	0.024352	21.0915	0.011218
243	5.916436	7.61312623	1.442951	0.007215	0.024343	21.0915	0.011218
244	5.938164	7.64454216	1.445873	0.007229	0.134481	21.0915	0.061959
245	5.95994	7.67595809	1.442686	0.007213	0.146354	21.0915	0.06743
246	5.981732	7.70737401	1.441626	0.007208	0.048642	21.0915	0.022407
247	6.003536	7.73878994	1.440833	0.007204	0.036369	21.0915	0.016756
248	6.02534	7.77020587	1.440833	0.007204	0	21.0915	0
249	6.047188	7.80162179	1.437931	0.00719	0.132827	21.0915	0.0612
250	6.069048	7.83303772	1.437142	0.007186	0.036093	21.0915	0.016632
251	6.0909	7.86445365	1.437668	0.007188	0.024071	21.0915	0.011095
252	6.11278	7.89586957	1.435828	0.007179	0.084095	21.0915	0.038745
253	6.134688	7.9272855	1.433994	0.00717	0.083714	21.0915	0.038565
254	6.156632	7.95870143	1.431641	0.007158	0.107227	21.0915	0.049404
255	6.178624	7.99011735	1.428516	0.007143	0.142097	21.0915	0.065467
256	6.200624	8.02153328	1.427997	0.00714	0.023591	21.0915	0.010867
257	6.222668	8.05294921	1.425147	0.007126	0.129287	21.0915	0.059569
258	6.244768	8.08436513	1.421535	0.007108	0.163439	21.0915	0.0753
259	6.26688	8.11578106	1.420764	0.007104	0.034868	21.0915	0.016063
260	6.289024	8.14719699	1.418711	0.007094	0.092711	21.0915	0.042719
261	6.311122	8.17861291	1.415387	0.007077	0.149757	21.0915	0.068995
262	6.333468	8.21002884	1.412079	0.00706	0.148688	21.0915	0.068502
263	6.35576	8.24144477	1.409292	0.007046	0.125022	21.0915	0.057606
264	6.378096	8.27286069	1.406515	0.007033	0.124328	21.0915	0.057284
265	6.400492	8.30427662	1.402747	0.007014	0.168244	21.0915	0.077519
266	6.42294	8.33569255	1.399498	0.006997	0.144734	21.0915	0.066681
267	6.44544	8.36710847	1.396263	0.006981	0.143778	21.0915	0.066245
268	6.467976	8.3985244	1.394033	0.00697	0.098953	21.0915	0.045592
269	6.490588	8.42994033	1.389348	0.006947	0.207191	21.0915	0.09546
270	6.513216	8.46135625	1.388365	0.006942	0.043442	21.0915	0.020018
271	6.535924	8.49277218	1.383474	0.006917	0.215387	21.0915	0.099234
272	6.558716	8.52418811	1.378375	0.006892	0.223719	21.0915	0.103075
273	6.58156	8.55560403	1.375237	0.006876	0.137366	21.0915	0.063286
274	6.60444	8.58701996	1.373074	0.006865	0.094537	21.0915	0.043553
275	6.627376	8.61843589	1.369721	0.006849	0.146189	21.0915	0.067354
276	6.650392	8.64985181	1.36496	0.006825	0.206856	21.0915	0.095309
277	6.673468	8.68126774	1.361411	0.006807	0.153796	21.0915	0.070863
278	6.696592	8.71268367	1.358585	0.006793	0.122211	21.0915	0.056307
279	6.719792	8.74409959	1.354134	0.006771	0.191853	21.0915	0.088396
280	6.743028	8.77551552	1.352037	0.00676	0.090248	21.0915	0.041581
281	6.766336	8.80693145	1.34786	0.006739	0.179209	21.0915	0.082564

282	6.7897	8.83834737	1.344629	0.006723	0.13829	21.0915	0.063713
283	6.813136	8.8697633	1.340499	0.006702	0.176225	21.0915	0.081189
284	6.836604	8.90117923	1.338671	0.006693	0.077893	21.0915	0.035891
285	6.86014	8.93259515	1.334803	0.006674	0.164344	21.0915	0.075718
286	6.883732	8.96401108	1.331635	0.006658	0.134283	21.0915	0.061864
287	6.907372	8.99542701	1.328931	0.006645	0.114382	21.0915	0.052704
288	6.931064	9.02684293	1.326014	0.00663	0.123122	21.0915	0.056724
289	6.954832	9.05825886	1.321774	0.006609	0.178391	21.0915	0.082194
290	6.97862	9.08967479	1.320663	0.006603	0.046704	21.0915	0.021516
291	7.002456	9.12109071	1.318003	0.00659	0.111596	21.0915	0.051414
292	7.026348	9.15250664	1.314914	0.006575	0.12929	21.0915	0.059569
293	7.050276	9.18392257	1.312936	0.006565	0.082665	21.0915	0.038082
294	7.074276	9.21533849	1.308997	0.006545	0.164125	21.0915	0.075613
295	7.098308	9.24675442	1.307254	0.006536	0.072528	21.0915	0.033416
296	7.122396	9.27817035	1.304215	0.006521	0.126162	21.0915	0.058128
297	7.146516	9.30958627	1.302484	0.006512	0.071766	21.0915	0.033065
298	7.17066	9.3410022	1.30119	0.006506	0.053595	21.0915	0.024692
299	7.19484	9.37241813	1.299253	0.006496	0.080108	21.0915	0.036906
300	7.219036	9.40383405	1.298393	0.006492	0.035543	21.0915	0.016376
301	7.243284	9.43524998	1.295609	0.006478	0.114814	21.0915	0.052903
302	7.267544	9.46666591	1.294968	0.006475	0.026422	21.0915	0.012176
303	7.291844	9.49808183	1.292836	0.006464	0.087737	21.0915	0.040424
304	7.316168	9.52949776	1.291561	0.006458	0.052417	21.0915	0.024152
305	7.340484	9.56091369	1.291986	0.00646	0.017478	21.0915	0.008051
306	7.364808	9.59232961	1.291561	0.006458	0.017472	21.0915	0.008051
307	7.389148	9.62374554	1.290712	0.006454	0.034881	21.0915	0.016073
308	7.4135	9.65516147	1.290076	0.00645	0.026117	21.0915	0.012033
309	7.437864	9.68657739	1.28944	0.006447	0.026104	21.0915	0.012024
310	7.462216	9.71799332	1.290076	0.00645	0.026117	21.0915	0.012033
311	7.486572	9.74940925	1.289864	0.006449	0.008704	21.0915	0.004011
312	7.510904	9.78082517	1.291136	0.006456	0.052277	21.0915	0.024086
313	7.535276	9.8122411	1.289017	0.006445	0.086944	21.0915	0.040054
314	7.5596	9.84365703	1.291561	0.006458	0.104588	21.0915	0.04819
315	7.58394	9.87507295	1.290712	0.006454	0.034881	21.0915	0.016073
316	7.608244	9.90648888	1.292624	0.006463	0.07867	21.0915	0.036242
317	7.632512	9.93790481	1.294541	0.006473	0.078993	21.0915	0.036394
318	7.656756	9.96932073	1.295822	0.006479	0.052838	21.0915	0.024342
319	7.681004	10.00073666	1.295609	0.006478	0.008784	21.0915	0.004049
320	7.705236	10.03215259	1.296465	0.006482	0.035325	21.0915	0.016272
321	7.729428	10.06356851	1.298608	0.006493	0.088583	21.0915	0.040813
322	7.7536	10.09498444	1.299683	0.006498	0.044473	21.0915	0.020492
323	7.777748	10.12640037	1.300974	0.006505	0.053462	21.0915	0.024636
324	7.801856	10.15781629	1.303133	0.006516	0.089555	21.0915	0.041258
325	7.825928	10.18923222	1.305082	0.006525	0.080965	21.0915	0.037304
326	7.849964	10.22064815	1.307037	0.006535	0.081336	21.0915	0.037475
327	7.873956	10.25206407	1.309433	0.006547	0.099867	21.0915	0.046009
328	7.897944	10.28348	1.309652	0.006548	0.00913	21.0915	0.00421
329	7.921908	10.31489593	1.310964	0.006555	0.054749	21.0915	0.025223
330	7.945796	10.34631185	1.315134	0.006576	0.174565	21.0915	0.080431
331	7.969664	10.37772778	1.316236	0.006581	0.046171	21.0915	0.021269
332	7.993492	10.40914371	1.318446	0.006592	0.092748	21.0915	0.042728
333	8.017284	10.44055963	1.32044	0.006602	0.08381	21.0915	0.038613
334	8.04104	10.47197556	1.322442	0.006612	0.084273	21.0915	0.038831
335	8.06474	10.50339149	1.325567	0.006628	0.131857	21.0915	0.060754
336	8.088384	10.53480741	1.328706	0.006644	0.132761	21.0915	0.061172
337	8.11198	10.56622334	1.331409	0.006657	0.114553	21.0915	0.05278
338	8.135556	10.59763927	1.332539	0.006663	0.04793	21.0915	0.022085
339	8.159088	10.62905519	1.33503	0.006675	0.105856	21.0915	0.048768
340	8.182588	10.66047112	1.336848	0.006684	0.077362	21.0915	0.035645
341	8.206064	10.69188705	1.338215	0.006691	0.05823	21.0915	0.026826
342	8.229488	10.72330297	1.341185	0.006706	0.126793	21.0915	0.058422
343	8.25288	10.7547189	1.34302	0.006715	0.078446	21.0915	0.036138
344	8.27626	10.78613483	1.34371	0.006719	0.029512	21.0915	0.013598
345	8.299588	10.81755075	1.346704	0.006734	0.128344	21.0915	0.059133
346	8.322876	10.84896668	1.349018	0.006745	0.099364	21.0915	0.045781
347	8.346128	10.88038261	1.351107	0.006756	0.089842	21.0915	0.041391
348	8.369388	10.91179853	1.350641	0.006753	0.020034	21.0915	0.009226
349	8.392624	10.94321446	1.352037	0.00676	0.060079	21.0915	0.027679
350	8.415812	10.97463039	1.354836	0.006774	0.120709	21.0915	0.055615
351	8.438956	11.00604631	1.357411	0.006787	0.11126	21.0915	0.051262
352	8.46212	11.03746224	1.356239	0.006781	0.050596	21.0915	0.023308
353	8.485268	11.06887817	1.357177	0.006786	0.040522	21.0915	0.018671

354	8.508384	11.10029409	1.359055	0.006795	0.081242	21.0915	0.037427
355	8.531464	11.13171002	1.361175	0.006806	0.091854	21.0915	0.04232
356	8.55454	11.16312595	1.361411	0.006807	0.010227	21.0915	0.004713
357	8.577604	11.19454187	1.362119	0.006811	0.030697	21.0915	0.014138
358	8.600672	11.2259578	1.361884	0.006809	0.010187	21.0915	0.004694
359	8.6237	11.25737373	1.364249	0.006821	0.102701	21.0915	0.047318
360	8.646744	11.28878965	1.363302	0.006817	0.041095	21.0915	0.018937
361	8.669784	11.32020558	1.363539	0.006818	0.010286	21.0915	0.004741
362	8.692832	11.35162151	1.363065	0.006815	0.020566	21.0915	0.009473
363	8.715884	11.38303743	1.362828	0.006814	0.010281	21.0915	0.004741
364	8.738892	11.41445336	1.365435	0.006827	0.113308	21.0915	0.052201
365	8.761952	11.44586929	1.362356	0.006812	0.133521	21.0915	0.061513
366	8.785036	11.47728521	1.360939	0.006805	0.061385	21.0915	0.028286
367	8.808128	11.50870114	1.360468	0.006802	0.020397	21.0915	0.009397
368	8.831224	11.54011707	1.360233	0.006801	0.010175	21.0915	0.004684
369	8.854368	11.57153299	1.357411	0.006787	0.121932	21.0915	0.056174
370	8.877524	11.60294892	1.356708	0.006784	0.030359	21.0915	0.013987
371	8.900684	11.63436485	1.356474	0.006782	0.010104	21.0915	0.004656
372	8.923872	11.66578077	1.354835	0.006774	0.070683	21.0915	0.032563
373	8.947092	11.6971967	1.352969	0.006765	0.080362	21.0915	0.037029
374	8.970352	11.72861263	1.350642	0.006753	0.100043	21.0915	0.046094
375	8.993676	11.76002855	1.346935	0.006735	0.158935	21.0915	0.073224
376	9.017004	11.79144448	1.346705	0.006734	0.009859	21.0915	0.004542
377	9.04038	11.82286041	1.34394	0.00672	0.118284	21.0915	0.054496
378	9.063828	11.85427633	1.339812	0.006699	0.176049	21.0915	0.081113
379	9.087296	11.88569226	1.338671	0.006693	0.048619	21.0915	0.022398
380	9.110792	11.91710819	1.337076	0.006685	0.067884	21.0915	0.031273
381	9.134352	11.94852411	1.333443	0.006667	0.154202	21.0915	0.071043
382	9.157976	11.97994004	1.329831	0.006649	0.152895	21.0915	0.070445
383	9.181652	12.01135597	1.32691	0.006635	0.123374	21.0915	0.056838
384	9.205384	12.04277189	1.323779	0.006619	0.131932	21.0915	0.060783
385	9.229176	12.07418782	1.320441	0.006602	0.140299	21.0915	0.064642
386	9.253036	12.10560375	1.316678	0.006583	0.157712	21.0915	0.072664
387	9.276948	12.13701967	1.313814	0.006569	0.119772	21.0915	0.055179
388	9.300912	12.1684356	1.310964	0.006555	0.118928	21.0915	0.05479
389	9.32496	12.19985153	1.306384	0.006532	0.190452	21.0915	0.087751
390	9.349028	12.23126745	1.305298	0.006526	0.045122	21.0915	0.020786
391	9.373184	12.26268338	1.300544	0.006503	0.196804	21.0915	0.090672
392	9.39744	12.29409931	1.295182	0.006476	0.221059	21.0915	0.101851
393	9.421176	12.32551523	1.291773	0.006459	0.140173	21.0915	0.064585
394	9.446112	12.35693116	1.290076	0.00645	0.069686	21.0915	0.032108
395	9.470548	12.38834709	1.285641	0.006428	0.181495	21.0915	0.083617
396	9.495072	12.41976301	1.281028	0.006405	0.188101	21.0915	0.086661
397	9.519668	12.45117894	1.277278	0.006386	0.152464	21.0915	0.070246
398	9.544324	12.48259487	1.27417	0.006371	0.126055	21.0915	0.05808
399	9.56908	12.51401079	1.269022	0.006345	0.20795	21.0915	0.095811
400	9.593868	12.54542672	1.267385	0.006337	0.06604	21.0915	0.030429
401	9.618756	12.57684265	1.262292	0.006311	0.204637	21.0915	0.094284
402	9.643712	12.60825857	1.258852	0.006294	0.137843	21.0915	0.063504
403	9.668752	12.6396745	1.25463	0.006273	0.16861	21.0915	0.077681
404	9.693844	12.67109043	1.25203	0.00626	0.103619	21.0915	0.047744
405	9.719008	12.70250635	1.248447	0.006242	0.142386	21.0915	0.0656
406	9.744248	12.73392228	1.244688	0.006223	0.14893	21.0915	0.068615
407	9.769536	12.76533821	1.242326	0.006212	0.093404	21.0915	0.043032
408	9.794892	12.79675413	1.238994	0.006195	0.131409	21.0915	0.060546
409	9.820332	12.82817006	1.234903	0.006175	0.16081	21.0915	0.074087
410	9.845808	12.85958599	1.233158	0.006166	0.068496	21.0915	0.031558
411	9.871344	12.89100191	1.23026	0.006151	0.113487	21.0915	0.052286
412	9.89694	12.92241784	1.227377	0.006137	0.112635	21.0915	0.051898
413	9.922588	12.95383377	1.224888	0.006124	0.097045	21.0915	0.04471
414	9.948316	12.98524969	1.221079	0.006105	0.148049	21.0915	0.068208
415	9.974084	13.01666562	1.219184	0.006096	0.073541	21.0915	0.033881
416	9.999916	13.04808155	1.216163	0.006081	0.116948	21.0915	0.05388
417	10.025792	13.07949747	1.214095	0.00607	0.07992	21.0915	0.036821
418	10.051708	13.1109134	1.212221	0.006061	0.072311	21.0915	0.033312
419	10.077656	13.14232933	1.210726	0.006054	0.057615	21.0915	0.026541
420	10.103632	13.17374525	1.209421	0.006047	0.050239	21.0915	0.023147
421	10.129672	13.20516118	1.206449	0.006032	0.114132	21.0915	0.05258
422	10.155724	13.23657711	1.205893	0.006029	0.021342	21.0915	0.009833
423	10.181828	13.26799303	1.203491	0.006017	0.092017	21.0915	0.042396
424	10.207964	13.29940896	1.202018	0.00601	0.056359	21.0915	0.025963
425	10.234092	13.33082489	1.202386	0.006012	0.014085	21.0915	0.006486

426	10.260232	13.36224081	1.201833	0.006009	0.021155	21.0915	0.009748
427	10.286388	13.39365674	1.201098	0.006005	0.028101	21.0915	0.012944
428	10.312548	13.42507267	1.200915	0.006005	0.006995	21.0915	0.003224
429	10.338716	13.45648859	1.200547	0.006003	0.014063	21.0915	0.006477
430	10.364868	13.48790452	1.201282	0.006006	0.028105	21.0915	0.012953
431	10.39102	13.51932045	1.201282	0.006006	0	21.0915	0
432	10.417144	13.55073637	1.202569	0.006013	0.049265	21.0915	0.022701
433	10.443304	13.5821523	1.200915	0.006005	0.063226	21.0915	0.02913
434	10.46942	13.61356823	1.202938	0.006015	0.077462	21.0915	0.035692
435	10.49554	13.64498415	1.202753	0.006014	0.007083	21.0915	0.003262
436	10.521616	13.67640008	1.204783	0.006024	0.077849	21.0915	0.035863
437	10.547664	13.70781601	1.206078	0.00603	0.049716	21.0915	0.02291
438	10.573692	13.73923193	1.207005	0.006035	0.035615	21.0915	0.016405
439	10.599712	13.77064786	1.207376	0.006037	0.014258	21.0915	0.006571
440	10.625716	13.80206379	1.208119	0.006041	0.028573	21.0915	0.013162
441	10.651684	13.83347971	1.209794	0.006049	0.064502	21.0915	0.029718
442	10.67762	13.86489564	1.211287	0.006056	0.057565	21.0915	0.026523
443	10.703528	13.89631157	1.212596	0.006063	0.050525	21.0915	0.02328
444	10.729388	13.92772749	1.214846	0.006074	0.087007	21.0915	0.040082
445	10.7552	13.95914342	1.217106	0.006086	0.087556	21.0915	0.040339
446	10.780968	13.99055935	1.219184	0.006096	0.080643	21.0915	0.037152
447	10.8067	14.02197527	1.220889	0.006104	0.06626	21.0915	0.030524
448	10.832408	14.0533912	1.222029	0.00611	0.044344	21.0915	0.020435
449	10.858092	14.08480713	1.223171	0.006116	0.044463	21.0915	0.020482
450	10.883684	14.11622305	1.227568	0.006138	0.171812	21.0915	0.07916
451	10.909252	14.14763898	1.228721	0.006144	0.045095	21.0915	0.020776
452	10.93476	14.17905491	1.231611	0.006158	0.113298	21.0915	0.052201
453	10.960228	14.21047083	1.233545	0.006168	0.075938	21.0915	0.03499
454	10.985652	14.24188676	1.23568	0.006178	0.083976	21.0915	0.038689
455	11.011012	14.27330269	1.238799	0.006194	0.122989	21.0915	0.056667
456	11.036308	14.30471861	1.241932	0.00621	0.123854	21.0915	0.057066
457	11.061544	14.33613454	1.244885	0.006224	0.117015	21.0915	0.053908
458	11.086756	14.36755047	1.246071	0.00623	0.047041	21.0915	0.021677
459	11.111912	14.3989664	1.248844	0.006244	0.110232	21.0915	0.050788
460	11.137036	14.43038232	1.250435	0.006252	0.063326	21.0915	0.029178
461	11.16212	14.46179825	1.252429	0.006262	0.079493	21.0915	0.036621
462	11.187144	14.49321418	1.255432	0.006277	0.120005	21.0915	0.055292
463	11.212136	14.5246301	1.257039	0.006285	0.064301	21.0915	0.029623
464	11.237104	14.55604603	1.258248	0.006291	0.048422	21.0915	0.022312
465	11.262008	14.58746196	1.261481	0.006307	0.129819	21.0915	0.059816
466	11.286856	14.61887788	1.264324	0.006322	0.114416	21.0915	0.052713
467	11.311664	14.65029381	1.266363	0.006332	0.082191	21.0915	0.037864
468	11.336468	14.68170974	1.266567	0.006333	0.008224	21.0915	0.003793
469	11.36124	14.71312566	1.268203	0.006341	0.066042	21.0915	0.030429
470	11.38596	14.74454159	1.270871	0.006354	0.107929	21.0915	0.049726
471	11.410628	14.77595752	1.27355	0.006368	0.108602	21.0915	0.050039
472	11.435308	14.80737344	1.27293	0.006365	0.025122	21.0915	0.011578
473	11.459968	14.83878937	1.273963	0.00637	0.04189	21.0915	0.019297
474	11.484592	14.8702053	1.275826	0.006379	0.075658	21.0915	0.034858
475	11.509176	14.90162122	1.277901	0.00639	0.084404	21.0915	0.038888
476	11.533772	14.93303715	1.277278	0.006386	0.025329	21.0915	0.011673
477	11.558348	14.96445308	1.278317	0.006392	0.042277	21.0915	0.019477
478	11.582924	14.995869	1.278317	0.006392	0	21.0915	0
479	11.607456	15.02728493	1.28061	0.006403	0.09347	21.0915	0.04306
480	11.632004	15.05870086	1.279776	0.006399	0.033974	21.0915	0.015656
481	11.656556	15.09011678	1.279567	0.006398	0.008513	21.0915	0.003926
482	11.681108	15.12153271	1.279567	0.006398	0	21.0915	0
483	11.705672	15.15294864	1.278942	0.006395	0.025444	21.0915	0.01172
484	11.730192	15.18436456	1.281237	0.006406	0.093597	21.0915	0.043126
485	11.75476	15.21578049	1.278734	0.006394	0.10188	21.0915	0.046938
486	11.77936	15.24719642	1.27707	0.006385	0.067642	21.0915	0.031169
487	11.80398	15.27861234	1.276032	0.00638	0.042161	21.0915	0.01942
488	11.828596	15.31002827	1.27624	0.006381	0.00845	21.0915	0.003897
489	11.853268	15.3414442	1.273343	0.006367	0.117421	21.0915	0.054098
490	11.877964	15.37286012	1.272106	0.006361	0.050089	21.0915	0.02308
491	11.902664	15.40427605	1.2719	0.00636	0.00834	21.0915	0.00384
492	11.927396	15.43569198	1.270254	0.006351	0.066553	21.0915	0.030666
493	11.952168	15.4671079	1.268203	0.006341	0.082795	21.0915	0.038148
494	11.976988	15.49852383	1.265751	0.006329	0.098791	21.0915	0.045516
495	12.001872	15.52993976	1.262495	0.006312	0.130847	21.0915	0.06029
496	12.02678	15.56135568	1.261278	0.006306	0.04886	21.0915	0.022511
497	12.05174	15.59277161	1.258651	0.006293	0.105248	21.0915	0.048493

498	12.076776	15.62418754	1.25483	0.006274	0.15262	21.0915	0.070313
499	12.10184	15.65560346	1.253428	0.006267	0.055937	21.0915	0.025773
500	12.126944	15.68701939	1.251431	0.006257	0.079549	21.0915	0.03665
501	12.152112	15.71843532	1.248249	0.006241	0.12643	21.0915	0.058251
502	12.177356	15.74985124	1.244491	0.006222	0.148867	21.0915	0.068587
503	12.202664	15.78126717	1.241344	0.006207	0.124348	21.0915	0.057293
504	12.228032	15.8126831	1.238408	0.006192	0.115736	21.0915	0.05332
505	12.253476	15.84409902	1.234708	0.006174	0.145417	21.0915	0.066994
506	12.279008	15.87551495	1.230453	0.006152	0.166654	21.0915	0.07678
507	12.304596	15.90693088	1.22776	0.006139	0.105245	21.0915	0.048493
508	12.33026	15.9383468	1.224124	0.006121	0.141677	21.0915	0.065277
509	12.356016	15.96976273	1.219752	0.006099	0.169747	21.0915	0.078212
510	12.381812	16.00117866	1.217861	0.006089	0.073306	21.0915	0.033777
511	12.407716	16.03259458	1.212783	0.006064	0.196032	21.0915	0.090321
512	12.43374	16.06401051	1.207191	0.006036	0.214879	21.0915	0.098997
513	12.45984	16.09542644	1.203675	0.006018	0.134713	21.0915	0.062063
514	12.486	16.12684236	1.200914	0.006005	0.105543	21.0915	0.048626
515	12.512264	16.15825829	1.196159	0.005981	0.181046	21.0915	0.083417
516	12.53862	16.18967422	1.191984	0.00596	0.158408	21.0915	0.072987
517	12.565084	16.22109014	1.187119	0.005936	0.183835	21.0915	0.084698
518	12.59162	16.25250607	1.183898	0.005919	0.121382	21.0915	0.055928
519	12.618264	16.283922	1.1791	0.005896	0.180078	21.0915	0.082972
520	12.64498	16.31533792	1.175922	0.00588	0.118955	21.0915	0.054809
521	12.6718	16.34675385	1.171362	0.005857	0.170022	21.0915	0.078335
522	12.698712	16.37816978	1.167358	0.005837	0.148781	21.0915	0.068549
523	12.725728	16.4095857	1.162863	0.005814	0.166383	21.0915	0.076656
524	12.752808	16.44100163	1.160116	0.005801	0.10144	21.0915	0.046739
525	12.779976	16.47241756	1.156358	0.005782	0.138324	21.0915	0.063732
526	12.80724	16.50383348	1.152286	0.005761	0.149354	21.0915	0.068814
527	12.834572	16.53524941	1.149419	0.005747	0.104895	21.0915	0.048332
528	12.86198	16.56666534	1.146232	0.005731	0.11628	21.0915	0.053576
529	12.8895	16.59808126	1.141567	0.005708	0.169513	21.0915	0.078098
530	12.917064	16.62949719	1.139745	0.005699	0.066101	21.0915	0.030458
531	12.944696	16.66091312	1.13694	0.005685	0.101513	21.0915	0.046768
532	12.972412	16.69232904	1.133494	0.005667	0.124333	21.0915	0.057284
533	13.000192	16.72374497	1.130883	0.005654	0.093988	21.0915	0.043307
534	13.02806	16.7551609	1.127312	0.005637	0.12814	21.0915	0.059038
535	13.055992	16.78657682	1.124729	0.005624	0.092475	21.0915	0.042605
536	13.083996	16.81799275	1.121837	0.005609	0.103271	21.0915	0.047583
537	13.112064	16.84940868	1.119279	0.005596	0.091136	21.0915	0.041988
538	13.140184	16.8808246	1.117209	0.005586	0.073613	21.0915	0.033919
539	13.168336	16.91224053	1.11594	0.00558	0.045077	21.0915	0.020767
540	13.19652	16.94365646	1.114673	0.005573	0.044955	21.0915	0.02071
541	13.224776	16.97507238	1.111832	0.005559	0.100545	21.0915	0.046322
542	13.253052	17.00648831	1.111046	0.005555	0.027797	21.0915	0.012811
543	13.28138	17.03790424	1.109006	0.005545	0.072014	21.0915	0.033179
544	13.309752	17.06932016	1.107286	0.005536	0.060623	21.0915	0.027935
545	13.338108	17.10073609	1.107911	0.00554	0.022041	21.0915	0.010156
546	13.366492	17.13215202	1.106818	0.005534	0.038508	21.0915	0.017742
547	13.394892	17.16356794	1.106194	0.005531	0.021972	21.0915	0.010127
548	13.4233	17.19498387	1.105883	0.005529	0.010948	21.0915	0.005045
549	13.451728	17.2263998	1.105105	0.005526	0.027367	21.0915	0.012612
550	13.48014	17.25781572	1.105727	0.005529	0.021892	21.0915	0.010089
551	13.50856	17.28923165	1.105416	0.005527	0.010943	21.0915	0.005045
552	13.536952	17.32064758	1.106506	0.005533	0.038391	21.0915	0.017685
553	13.565372	17.3520635	1.105416	0.005527	0.038353	21.0915	0.017666
554	13.593752	17.38347943	1.106974	0.005535	0.054898	21.0915	0.02529
555	13.622132	17.41489536	1.106974	0.005535	0	21.0915	0
556	13.65046	17.44631128	1.109006	0.005545	0.071731	21.0915	0.033046
557	13.67876	17.47772721	1.110104	0.005551	0.038799	21.0915	0.017874
558	13.707036	17.50914314	1.111046	0.005555	0.033314	21.0915	0.015352
559	13.735292	17.54055906	1.111832	0.005559	0.027817	21.0915	0.01282
560	13.763536	17.57197499	1.112305	0.005562	0.016747	21.0915	0.007719
561	13.791728	17.60339092	1.114356	0.005572	0.072751	21.0915	0.033521
562	13.819888	17.63480684	1.115622	0.005578	0.044957	21.0915	0.02071
563	13.848004	17.66622277	1.117368	0.005587	0.0621	21.0915	0.028609
564	13.876064	17.6976387	1.119598	0.005598	0.079473	21.0915	0.036612
565	13.904068	17.72905462	1.121837	0.005609	0.079953	21.0915	0.036839
566	13.932024	17.76047055	1.123763	0.005619	0.068894	21.0915	0.031738
567	13.959924	17.79188648	1.126019	0.00563	0.08086	21.0915	0.037257
568	13.987792	17.8233024	1.127312	0.005637	0.046397	21.0915	0.021374
569	14.015624	17.85471833	1.12877	0.005644	0.052386	21.0915	0.024133

570	14.043356	17.88613426	1.13284	0.005664	0.146762	21.0915	0.06762
571	14.07104	17.91755018	1.134804	0.005674	0.070944	21.0915	0.032686
572	14.098664	17.94896611	1.137269	0.005686	0.089234	21.0915	0.041116
573	14.126228	17.98038204	1.139745	0.005699	0.089827	21.0915	0.041382
574	14.153748	18.01179796	1.141567	0.005708	0.066206	21.0915	0.030505
575	14.181184	18.04321389	1.145062	0.005725	0.127387	21.0915	0.058687
576	14.208544	18.07462982	1.148243	0.005741	0.116265	21.0915	0.053567
577	14.23582	18.10604574	1.151779	0.005759	0.129638	21.0915	0.05973
578	14.263056	18.13746167	1.153471	0.005767	0.062124	21.0915	0.028618
579	14.29022	18.1688776	1.156528	0.005783	0.112539	21.0915	0.05185
580	14.31734	18.20029352	1.158404	0.005792	0.069174	21.0915	0.031871
581	14.344412	18.23170945	1.160458	0.005802	0.075872	21.0915	0.034952
582	14.371412	18.26312538	1.163553	0.005818	0.11463	21.0915	0.052817
583	14.398368	18.2945413	1.165452	0.005827	0.070448	21.0915	0.032459
584	14.425292	18.32595723	1.166837	0.005834	0.051441	21.0915	0.023697
585	14.452144	18.35737316	1.169966	0.00585	0.116528	21.0915	0.05369
586	14.47894	18.38878908	1.172411	0.005862	0.091245	21.0915	0.042036
587	14.505684	18.42020501	1.174691	0.005873	0.085253	21.0915	0.039276
588	14.532424	18.45162094	1.174866	0.005874	0.006545	21.0915	0.003015
589	14.559124	18.48303686	1.176626	0.005883	0.065918	21.0915	0.030372
590	14.585764	18.51445279	1.179277	0.005896	0.099512	21.0915	0.045848
591	14.612348	18.54586872	1.181761	0.005909	0.09344	21.0915	0.043051
592	14.638928	18.57728464	1.181938	0.00591	0.006659	21.0915	0.003072
593	14.6655	18.60870057	1.182295	0.005911	0.013435	21.0915	0.006192
594	14.69202	18.6401165	1.184613	0.005923	0.087406	21.0915	0.040272
595	14.718504	18.67153242	1.186223	0.005931	0.060791	21.0915	0.028011
596	14.744988	18.70294835	1.186223	0.005931	0	21.0915	0
597	14.77146	18.73436428	1.186761	0.005934	0.020323	21.0915	0.009359
598	14.79792	18.7657802	1.187299	0.005936	0.020333	21.0915	0.009369
599	14.824348	18.79719613	1.188737	0.005944	0.054412	21.0915	0.025072
600	14.850788	18.82861206	1.188197	0.005941	0.020424	21.0915	0.009407
601	14.877232	18.86002798	1.188017	0.00594	0.006807	21.0915	0.003139
602	14.903676	18.89144391	1.188017	0.00594	0	21.0915	0
603	14.930136	18.92285984	1.187299	0.005936	0.027135	21.0915	0.012498
604	14.956552	18.95427576	1.189276	0.005946	0.074841	21.0915	0.034478
605	14.983028	18.98569169	1.186581	0.005933	0.10179	21.0915	0.0469
606	15.009536	19.01710762	1.185149	0.005926	0.054021	21.0915	0.024892
607	15.036064	19.04852354	1.184255	0.005921	0.0337	21.0915	0.015523
608	15.062604	19.07993947	1.18372	0.005919	0.020158	21.0915	0.009283
609	15.089208	19.11133554	1.180872	0.005904	0.107052	21.0915	0.049318
610	15.115836	19.14277132	1.179808	0.005899	0.039958	21.0915	0.018406
611	15.142476	19.17418725	1.179277	0.005896	0.019932	21.0915	0.009179
612	15.16916	19.20560318	1.177332	0.005887	0.07289	21.0915	0.033587
613	15.195888	19.2370191	1.175394	0.005877	0.072508	21.0915	0.033407
614	15.22268	19.26843503	1.172586	0.005863	0.104807	21.0915	0.048285
615	15.24954	19.29985096	1.169618	0.005848	0.110499	21.0915	0.050912
616	15.276424	19.33126688	1.168573	0.005843	0.038871	21.0915	0.017912
617	15.30338	19.36268281	1.165452	0.005827	0.115781	21.0915	0.053349
618	15.330428	19.39409874	1.161488	0.005807	0.146554	21.0915	0.067525
619	15.35752	19.42551466	1.159601	0.005798	0.069652	21.0915	0.032089
620	15.38466	19.45693059	1.157551	0.005788	0.075534	21.0915	0.034801
621	15.411896	19.48834652	1.153471	0.005767	0.149802	21.0915	0.069023
622	15.43922	19.51976244	1.149756	0.005749	0.135961	21.0915	0.062641
623	15.466628	19.55117837	1.146232	0.005731	0.128576	21.0915	0.059237
624	15.494116	19.5825943	1.142896	0.005714	0.121362	21.0915	0.055918
625	15.5217	19.61401022	1.138918	0.005695	0.144214	21.0915	0.066444
626	15.54938	19.64542615	1.134969	0.005675	0.142666	21.0915	0.065733
627	15.577156	19.67684208	1.131046	0.005655	0.141237	21.0915	0.065069
628	15.605012	19.708258	1.127797	0.005639	0.116636	21.0915	0.053737
629	15.632988	19.73967393	1.12296	0.005615	0.172898	21.0915	0.079662
630	15.661036	19.77108986	1.120077	0.0056	0.102788	21.0915	0.047356
631	15.6892	19.80250578	1.115464	0.005577	0.163791	21.0915	0.075462
632	15.717516	19.83392171	1.109476	0.005547	0.211471	21.0915	0.097433
633	15.745936	19.86533764	1.105416	0.005527	0.142857	21.0915	0.065818
634	15.774436	19.89675356	1.102313	0.005512	0.108877	21.0915	0.050162
635	15.803056	19.92816949	1.097691	0.005488	0.161495	21.0915	0.074409
636	15.831816	19.95958542	1.092348	0.005462	0.185779	21.0915	0.085598
637	15.860692	19.99100134	1.08796	0.00544	0.15196	21.0915	0.070009
638	15.889672	20.02241727	1.084056	0.00542	0.134714	21.0915	0.062063
639	15.918796	20.0538332	1.078696	0.005393	0.184041	21.0915	0.084792
640	15.948012	20.08524912	1.075298	0.005376	0.116306	21.0915	0.053586
641	15.977364	20.11666505	1.070317	0.005352	0.169699	21.0915	0.078183

642	16.006824	20.14808098	1.066393	0.005332	0.133198	21.0915	0.061371
643	16.036424	20.1794969	1.061349	0.005307	0.170405	21.0915	0.078515
644	16.066112	20.21091283	1.058203	0.005291	0.105969	21.0915	0.048825
645	16.095908	20.24232876	1.054367	0.005272	0.128742	21.0915	0.059313
646	16.12582	20.27374468	1.050278	0.005251	0.136701	21.0915	0.062983
647	16.155836	20.30516061	1.046639	0.005233	0.121235	21.0915	0.055861
648	16.185948	20.33657654	1.043303	0.005217	0.110786	21.0915	0.051044
649	16.216196	20.36799246	1.038611	0.005193	0.155118	21.0915	0.07147
650	16.246512	20.39940839	1.036282	0.005181	0.076824	21.0915	0.035398
651	16.276924	20.43082432	1.033011	0.005165	0.107556	21.0915	0.049556
652	16.30744	20.46224024	1.02949	0.005147	0.115382	21.0915	0.053159
653	16.338048	20.49365617	1.026396	0.005132	0.101085	21.0915	0.046569
654	16.368764	20.5250721	1.022787	0.005114	0.117496	21.0915	0.054136
655	16.399552	20.55648802	1.020395	0.005102	0.077693	21.0915	0.035796
656	16.430444	20.58790395	1.01696	0.005085	0.111194	21.0915	0.051234
657	16.4614	20.61931988	1.014858	0.005074	0.067903	21.0915	0.031283
658	16.49242	20.6507358	1.012763	0.005064	0.067537	21.0915	0.031112
659	16.523504	20.68215173	1.010678	0.005053	0.067076	21.0915	0.030903
660	16.554636	20.71356766	1.00912	0.005046	0.050045	21.0915	0.023061
661	16.585852	20.74498358	1.006404	0.005032	0.087007	21.0915	0.040082
662	16.617104	20.77639951	1.005245	0.005026	0.037086	21.0915	0.017087
663	16.648416	20.80781544	1.003319	0.005017	0.06151	21.0915	0.028343
664	16.679784	20.83923136	1.001528	0.005008	0.057096	21.0915	0.026304
665	16.711148	20.87064729	1.001656	0.005008	0.004081	21.0915	0.001878
666	16.742536	20.90206322	1.00089	0.005004	0.024404	21.0915	0.011246
667	16.773952	20.93347914	0.999997	0.005	0.028425	21.0915	0.013095
668	16.739848	20.96489507	0.92118	0.004606	2.311078	21.0915	1.064789
669	16.771296	20.996311	0.99898	0.004995	2.473925	21.0915	1.139815
670	16.80274	21.02772692	0.999107	0.004996	0.004039	21.0915	0.001859
671	16.83418	21.05914285	0.999234	0.004996	0.004039	21.0915	0.001859
672	16.865588	21.09055878	1.000252	0.005001	0.032412	21.0915	0.014935
673	16.897028	21.1219747	0.999234	0.004996	0.032379	21.0915	0.014916
674	16.928416	21.15339063	1.00089	0.005004	0.052759	21.0915	0.024304
675	16.959808	21.18480656	1.000762	0.005004	0.004077	21.0915	0.001878
676	16.99114	21.21622248	1.002678	0.005013	0.061152	21.0915	0.028172
677	17.022428	21.24763841	1.004089	0.00502	0.045097	21.0915	0.020776
678	17.05368	21.27905434	1.005245	0.005026	0.03699	21.0915	0.01704
679	17.084912	21.31047026	1.005889	0.005029	0.02062	21.0915	0.009501
680	17.116116	21.34188619	1.006792	0.005034	0.028939	21.0915	0.013332
681	17.147248	21.37330212	1.00912	0.005046	0.074778	21.0915	0.034445
682	17.178332	21.40471804	1.010678	0.005053	0.050122	21.0915	0.02309
683	17.209364	21.43613397	1.012372	0.005062	0.054589	21.0915	0.025148
684	17.240316	21.4675499	1.014989	0.005075	0.08455	21.0915	0.038954
685	17.271192	21.49896582	1.017487	0.005087	0.080904	21.0915	0.037276
686	17.301996	21.53038175	1.019865	0.005099	0.077198	21.0915	0.035569
687	17.332728	21.56179768	1.022255	0.005111	0.077769	21.0915	0.035834
688	17.363412	21.5932136	1.023853	0.005119	0.052079	21.0915	0.023991
689	17.39404	21.62462953	1.025726	0.005129	0.061153	21.0915	0.028172
690	17.424516	21.65604546	1.030842	0.005154	0.16787	21.0915	0.077339
691	17.454944	21.68746138	1.032467	0.005162	0.053405	21.0915	0.024607
692	17.48528	21.71887731	1.035599	0.005178	0.103244	21.0915	0.047564
693	17.515532	21.75029324	1.038474	0.005192	0.095035	21.0915	0.04379
694	17.545716	21.78170916	1.040814	0.005204	0.077525	21.0915	0.035721
695	17.575788	21.81312509	1.04469	0.005223	0.128891	21.0915	0.059379
696	17.605776	21.84454102	1.047617	0.005238	0.097606	21.0915	0.044966
697	17.635652	21.87595694	1.051544	0.005258	0.131443	21.0915	0.060555
698	17.66548	21.90737287	1.053236	0.005266	0.056725	21.0915	0.026134
699	17.69522	21.9387888	1.056353	0.005282	0.104808	21.0915	0.048285
700	17.724888	21.97020472	1.058916	0.005295	0.086389	21.0915	0.039798
701	17.7545	22.00162065	1.060919	0.005305	0.067641	21.0915	0.031169
702	17.784016	22.03303658	1.064369	0.005322	0.116886	21.0915	0.053851
703	17.813468	22.0644525	1.066682	0.005333	0.078535	21.0915	0.036185
704	17.842876	22.09586843	1.068278	0.005341	0.054271	21.0915	0.025005
705	17.872192	22.12728436	1.071631	0.005358	0.114374	21.0915	0.052694
706	17.90144	22.15870028	1.074122	0.005371	0.085168	21.0915	0.039239
707	17.93062	22.19011621	1.076625	0.005383	0.085778	21.0915	0.039523
708	17.95978	22.22153214	1.077364	0.005387	0.025343	21.0915	0.011673
709	17.988896	22.25294806	1.078992	0.005395	0.055914	21.0915	0.025764
710	18.01794	22.28436399	1.081667	0.005408	0.092102	21.0915	0.042434
711	18.0469	22.31577992	1.084804	0.005424	0.108322	21.0915	0.049906
712	18.075864	22.34719585	1.084654	0.005423	0.005179	21.0915	0.00239
713	18.1048	22.37861177	1.085704	0.005429	0.036287	21.0915	0.016718

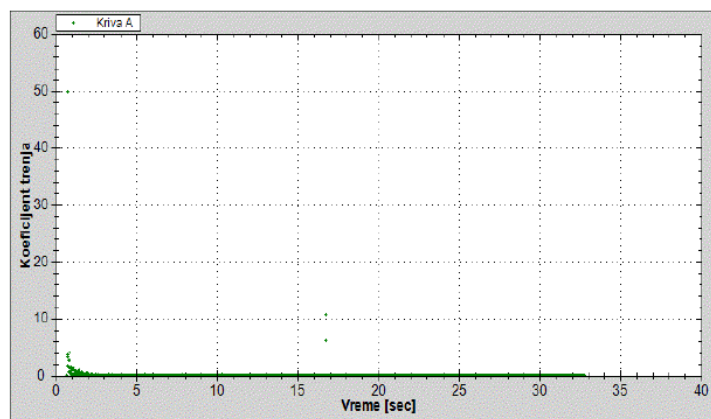
714	18.133688	22.4100277	1.087508	0.005438	0.062448	21.0915	0.02877
715	18.162512	22.44144363	1.089923	0.00545	0.083784	21.0915	0.038603
716	18.191344	22.47285955	1.08962	0.005448	0.010509	21.0915	0.004846
717	18.220152	22.50427548	1.090528	0.005453	0.031519	21.0915	0.014518
718	18.248948	22.53569141	1.090982	0.005455	0.015766	21.0915	0.007264
719	18.2777	22.56710733	1.092652	0.005463	0.058083	21.0915	0.02676
720	18.306468	22.59852326	1.092044	0.00546	0.021135	21.0915	0.009739
721	18.335232	22.62993919	1.092196	0.005461	0.005284	21.0915	0.002437
722	18.364	22.66135511	1.092044	0.00546	0.005284	21.0915	0.002437
723	18.392788	22.69277104	1.091286	0.005456	0.02663	21.0915	0.012128
724	18.42152	22.72418697	1.093413	0.005467	0.074029	21.0915	0.034109
725	18.450328	22.75560289	1.090528	0.005453	0.100146	21.0915	0.046142
726	18.479168	22.78701882	1.089318	0.005447	0.041956	21.0915	0.019335
727	18.508028	22.81843475	1.088563	0.005443	0.026161	21.0915	0.012052
728	18.5369	22.84985067	1.08811	0.005441	0.01569	21.0915	0.007226
729	18.565836	22.8812666	1.085704	0.005429	0.083149	21.0915	0.038309
730	18.594804	22.91268253	1.084505	0.005423	0.04139	21.0915	0.019069
731	18.623792	22.94409845	1.083756	0.005419	0.025838	21.0915	0.011901
732	18.652832	22.97551438	1.081816	0.005409	0.066804	21.0915	0.03078
733	18.681932	23.00693031	1.079585	0.005398	0.076667	21.0915	0.035322
734	18.711108	23.03834623	1.076773	0.005384	0.096381	21.0915	0.044407
735	18.740376	23.06976216	1.073388	0.005367	0.115655	21.0915	0.053282
736	18.76968	23.10117809	1.07207	0.00536	0.044977	21.0915	0.020719
737	18.79908	23.13259401	1.068569	0.005343	0.119082	21.0915	0.054866
738	18.828592	23.16400994	1.064514	0.005323	0.137402	21.0915	0.063305
739	18.858156	23.19542587	1.062641	0.005313	0.063354	21.0915	0.029187
740	18.8878	23.22684179	1.059773	0.005299	0.096748	21.0915	0.044577
741	18.91756	23.25825772	1.055643	0.005278	0.138777	21.0915	0.06394
742	18.947428	23.28967365	1.051826	0.005259	0.127796	21.0915	0.058877
743	18.977412	23.32108957	1.047756	0.005239	0.135739	21.0915	0.062537
744	19.007496	23.3525055	1.044274	0.005221	0.115743	21.0915	0.05333
745	19.037708	23.38392143	1.039849	0.005199	0.146465	21.0915	0.067477
746	19.068048	23.41533735	1.035462	0.005177	0.144595	21.0915	0.066624
747	19.098512	23.44675328	1.031248	0.005156	0.138327	21.0915	0.063732
748	19.129092	23.47816921	1.027336	0.005137	0.127927	21.0915	0.058943
749	19.159824	23.50958513	1.022254	0.005111	0.165365	21.0915	0.076192
750	19.190648	23.54100106	1.019204	0.005096	0.098949	21.0915	0.045592
751	19.22164	23.57241699	1.013679	0.005068	0.178272	21.0915	0.082137
752	19.252816	23.60383291	1.007696	0.005038	0.19191	21.0915	0.088415
753	19.284132	23.63524884	1.003191	0.005016	0.143856	21.0915	0.066283
754	19.315564	23.66666477	0.999489	0.004997	0.117778	21.0915	0.054268
755	19.347148	23.69808069	0.994678	0.004973	0.152324	21.0915	0.07018
756	19.378916	23.72949662	0.988917	0.004945	0.181346	21.0915	0.08355
757	19.41084	23.76091255	0.984085	0.00492	0.151359	21.0915	0.069734
758	19.442896	23.79232847	0.980032	0.0049	0.126435	21.0915	0.058251
759	19.475144	23.8237444	0.974198	0.004871	0.18091	21.0915	0.083351
760	19.507512	23.85516033	0.970586	0.004853	0.111592	21.0915	0.051414
761	19.540056	23.88657625	0.965337	0.004827	0.161289	21.0915	0.074314
762	19.572752	23.91799218	0.960849	0.004804	0.137264	21.0915	0.063239
763	19.605624	23.94940811	0.955705	0.004779	0.156486	21.0915	0.072095
764	19.638616	23.98082403	0.952228	0.004761	0.105389	21.0915	0.04856
765	19.671768	24.01223996	0.947633	0.004738	0.138604	21.0915	0.063855
766	19.705076	24.04365589	0.943195	0.004716	0.133241	21.0915	0.06139
767	19.738516	24.07507181	0.939471	0.004697	0.111364	21.0915	0.05131
768	19.772104	24.10648774	0.935332	0.004677	0.123229	21.0915	0.056772
769	19.805876	24.13790367	0.930236	0.004651	0.150894	21.0915	0.069526
770	19.839748	24.16931959	0.927489	0.004637	0.081099	21.0915	0.037361
771	19.873752	24.20073552	0.923889	0.004619	0.10587	21.0915	0.048778
772	19.907892	24.23215145	0.920209	0.004601	0.107791	21.0915	0.04966
773	19.942156	24.26356737	0.916878	0.004584	0.097216	21.0915	0.044786
774	19.976576	24.2949833	0.912723	0.004564	0.120715	21.0915	0.055615
775	20.011104	24.32639923	0.909868	0.004549	0.082687	21.0915	0.038101
776	20.045772	24.35781515	0.906194	0.004531	0.105977	21.0915	0.048825
777	20.080544	24.38923108	0.903484	0.004517	0.077936	21.0915	0.03591
778	20.115404	24.42064701	0.901203	0.004506	0.065433	21.0915	0.030145
779	20.150364	24.45206293	0.898625	0.004493	0.073741	21.0915	0.033976
780	20.185388	24.48347886	0.896983	0.004485	0.046882	21.0915	0.021601
781	20.220524	24.51489479	0.894124	0.004471	0.08137	21.0915	0.037494
782	20.255716	24.54631071	0.892701	0.004464	0.040435	21.0915	0.018633
783	20.290992	24.57772664	0.890575	0.004453	0.060268	21.0915	0.027765
784	20.32634	24.60914257	0.888761	0.004444	0.051318	21.0915	0.02364
785	20.361688	24.64055849	0.888761	0.004444	0	21.0915	0

786	20.397072	24.67197442	0.887857	0.004439	0.025548	21.0915	0.011768
787	20.432488	24.70339035	0.887055	0.004435	0.022645	21.0915	0.010431
788	20.467924	24.73480627	0.886554	0.004433	0.014138	21.0915	0.006514
789	20.50338	24.7662222	0.886054	0.00443	0.014102	21.0915	0.006496
790	20.538828	24.79763813	0.886254	0.004431	0.005642	21.0915	0.002598
791	20.57428	24.82905405	0.886154	0.004431	0.002821	21.0915	0.001299
792	20.609696	24.86046998	0.887055	0.004435	0.02544	21.0915	0.01172
793	20.645136	24.89188591	0.886454	0.004432	0.016958	21.0915	0.007814
794	20.680508	24.92330183	0.888158	0.004441	0.048174	21.0915	0.022199
795	20.715876	24.95471776	0.888259	0.004441	0.002856	21.0915	0.001318
796	20.75116	24.98613369	0.890373	0.004452	0.059914	21.0915	0.027604
797	20.78638	25.01754961	0.891991	0.00446	0.04594	21.0915	0.021165
798	20.821544	25.04896554	0.893412	0.004467	0.040411	21.0915	0.018614
799	20.85668	25.08038147	0.894124	0.004471	0.020264	21.0915	0.00934
800	20.891748	25.11179739	0.895857	0.004479	0.049418	21.0915	0.022767
801	20.926708	25.14321332	0.898625	0.004493	0.079176	21.0915	0.036479
802	20.9616	25.17462925	0.900376	0.004502	0.050183	21.0915	0.023118
803	20.996408	25.20604517	0.902549	0.004513	0.062428	21.0915	0.02876
804	21.031104	25.2374611	0.905463	0.004527	0.083987	21.0915	0.038698
805	21.065692	25.26887703	0.90829	0.004541	0.081734	21.0915	0.037655
806	21.100176	25.30029295	0.911029	0.004555	0.079428	21.0915	0.036593
807	21.13456	25.33170888	0.913679	0.004568	0.077071	21.0915	0.035512
808	21.168868	25.36312481	0.915703	0.004579	0.058995	21.0915	0.027177
809	21.203092	25.39454073	0.91795	0.00459	0.065656	21.0915	0.030249
810	21.237148	25.42595666	0.922479	0.004612	0.132987	21.0915	0.061276
811	21.271116	25.45737259	0.924868	0.004624	0.070331	21.0915	0.032402
812	21.304968	25.48878851	0.928037	0.00464	0.093613	21.0915	0.043126
813	21.338704	25.52020444	0.931229	0.004656	0.094617	21.0915	0.043591
814	21.372344	25.55162037	0.933886	0.004669	0.078983	21.0915	0.036394
815	21.40584	25.58303629	0.937901	0.00469	0.119865	21.0915	0.055226
816	21.439208	25.61445222	0.941499	0.004707	0.107828	21.0915	0.049679
817	21.472444	25.64586815	0.945238	0.004726	0.112498	21.0915	0.051831
818	21.505596	25.67728407	0.947633	0.004738	0.072243	21.0915	0.033284
819	21.538632	25.7087	0.95096	0.004755	0.100708	21.0915	0.046398
820	21.571576	25.74011593	0.953616	0.004768	0.080622	21.0915	0.037143
821	21.604428	25.77153185	0.956286	0.004781	0.081274	21.0915	0.037446
822	21.637156	25.80294778	0.95991	0.0048	0.110731	21.0915	0.051016
823	21.669808	25.83436371	0.962144	0.004811	0.068418	21.0915	0.03152
824	21.70238	25.86577963	0.964507	0.004823	0.072547	21.0915	0.033426
825	21.734844	25.89719556	0.967716	0.004839	0.098848	21.0915	0.045544
826	21.767212	25.92861149	0.970586	0.004853	0.088668	21.0915	0.040851
827	21.799488	25.96002741	0.973352	0.004867	0.085698	21.0915	0.039485
828	21.831732	25.99144334	0.974319	0.004872	0.02999	21.0915	0.013816
829	21.863908	26.02285927	0.976378	0.004882	0.063992	21.0915	0.029481
830	21.895992	26.05427519	0.979177	0.004896	0.08724	21.0915	0.040196
831	21.927984	26.08569112	0.981993	0.00491	0.088022	21.0915	0.040557
832	21.959964	26.11710705	0.982362	0.004912	0.011538	21.0915	0.00532
833	21.991908	26.14852297	0.983469	0.004917	0.034654	21.0915	0.015969
834	22.023788	26.1799389	0.985443	0.004927	0.06192	21.0915	0.028533
835	22.055604	26.21135483	0.987426	0.004937	0.062327	21.0915	0.028713
836	22.087416	26.24277075	0.987549	0.004938	0.003866	21.0915	0.001783
837	22.119188	26.27418668	0.988793	0.004944	0.039154	21.0915	0.018036
838	22.150932	26.30560261	0.989665	0.004948	0.02747	21.0915	0.012659
839	22.182628	26.33701853	0.991164	0.004956	0.047293	21.0915	0.021791
840	22.214332	26.36843446	0.990914	0.004955	0.007885	21.0915	0.003632
841	22.246032	26.39985039	0.991039	0.004955	0.003943	21.0915	0.001821
842	22.277736	26.43126631	0.990913	0.004955	0.003974	21.0915	0.00183
843	22.309456	26.46268224	0.990414	0.004952	0.015731	21.0915	0.007245
844	22.341124	26.49409817	0.99204	0.00496	0.051345	21.0915	0.023659
845	22.372868	26.52551409	0.989665	0.004948	0.074817	21.0915	0.034469
846	22.40466	26.55693002	0.988171	0.004941	0.046993	21.0915	0.021649
847	22.436484	26.58834595	0.987177	0.004936	0.031234	21.0915	0.014394
848	22.468332	26.61976187	0.986433	0.004932	0.023361	21.0915	0.010763
849	22.500264	26.6511778	0.983838	0.004919	0.081266	21.0915	0.037446
850	22.532248	26.68259373	0.982239	0.004911	0.049994	21.0915	0.023033
851	22.56426	26.71400965	0.981379	0.004907	0.026865	21.0915	0.012375
852	22.596352	26.74542558	0.978933	0.004895	0.076218	21.0915	0.035114
853	22.62852	26.77684151	0.976621	0.004883	0.071873	21.0915	0.033113
854	22.660792	26.80825743	0.973473	0.004867	0.097546	21.0915	0.044947
855	22.69318	26.83967336	0.969987	0.00485	0.107632	21.0915	0.049593
856	22.725628	26.87108929	0.968193	0.004841	0.055288	21.0915	0.02547
857	22.758196	26.90250521	0.964625	0.004823	0.109555	21.0915	0.050475

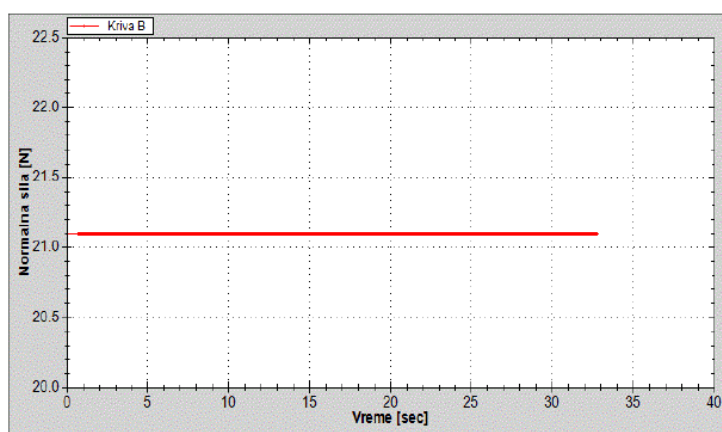
858	22.790916	26.93392114	0.960145	0.004801	0.136919	21.0915	0.063087
859	22.823712	26.96533707	0.95792	0.00479	0.067844	21.0915	0.031254
860	22.856624	26.99675299	0.954543	0.004773	0.102607	21.0915	0.04727
861	22.889684	27.02816892	0.95027	0.004751	0.12925	21.0915	0.05955
862	22.922896	27.05958485	0.945921	0.00473	0.130947	21.0915	0.060328
863	22.95626	27.09100077	0.941611	0.004708	0.129181	21.0915	0.059522
864	22.989768	27.1224167	0.937565	0.004688	0.120747	21.0915	0.055634
865	23.023448	27.15383263	0.932777	0.004664	0.142162	21.0915	0.065496
866	23.0573	27.18524855	0.928037	0.00464	0.140021	21.0915	0.064509
867	23.09132	27.21666448	0.923455	0.004617	0.134685	21.0915	0.062053
868	23.125504	27.24808041	0.919024	0.004595	0.129622	21.0915	0.059721
869	23.159896	27.27949633	0.913466	0.004567	0.161607	21.0915	0.074457
870	23.194416	27.31091226	0.910079	0.00455	0.098117	21.0915	0.045203
871	23.229156	27.34232819	0.904316	0.004522	0.165889	21.0915	0.076429
872	23.264144	27.37374411	0.897906	0.00449	0.183206	21.0915	0.084413
873	23.29932	27.40516004	0.893107	0.004466	0.136428	21.0915	0.062859
874	23.334672	27.43657597	0.888661	0.004443	0.125764	21.0915	0.057948
875	23.370236	27.46799189	0.883363	0.004417	0.148971	21.0915	0.068634
876	23.406044	27.49940782	0.877344	0.004387	0.168091	21.0915	0.077444
877	23.442084	27.53082375	0.871696	0.004358	0.156715	21.0915	0.0722
878	23.47832	27.56223967	0.866981	0.004335	0.130119	21.0915	0.059948
879	23.51482	27.5936556	0.86071	0.004304	0.171808	21.0915	0.07916
880	23.551512	27.62507153	0.856207	0.004281	0.122724	21.0915	0.056544
881	23.58846	27.65648745	0.850274	0.004251	0.160577	21.0915	0.073982
882	23.625628	27.68790338	0.845241	0.004226	0.135412	21.0915	0.062385
883	23.663056	27.71931931	0.83937	0.004197	0.156861	21.0915	0.072266
884	23.700676	27.75073523	0.835086	0.004175	0.113876	21.0915	0.052467
885	23.738536	27.78215116	0.829792	0.004149	0.139831	21.0915	0.064424
886	23.776628	27.81356709	0.824738	0.004124	0.132679	21.0915	0.061134
887	23.814932	27.84498301	0.820173	0.004101	0.119178	21.0915	0.054913
888	23.853452	27.87639894	0.815575	0.004078	0.119367	21.0915	0.054998
889	23.892228	27.90781487	0.81019	0.004051	0.138875	21.0915	0.063988
890	23.931172	27.93923079	0.806695	0.004033	0.089744	21.0915	0.041344
891	23.970324	27.97064672	0.802409	0.004012	0.109471	21.0915	0.050437
892	24.009692	28.00206265	0.798007	0.00399	0.111817	21.0915	0.051518
893	24.049256	28.03347857	0.794053	0.00397	0.099939	21.0915	0.046047
894	24.089044	28.0648945	0.789583	0.003948	0.112345	21.0915	0.051765
895	24.129012	28.09631043	0.786027	0.00393	0.088971	21.0915	0.040993
896	24.16918	28.12772635	0.782113	0.003911	0.097441	21.0915	0.04489
897	24.209512	28.15914228	0.778933	0.003895	0.078846	21.0915	0.036327
898	24.249992	28.19055821	0.776085	0.00388	0.070356	21.0915	0.032411
899	24.290624	28.22197413	0.773182	0.003866	0.071446	21.0915	0.032914
900	24.331368	28.25339006	0.771057	0.003855	0.052155	21.0915	0.024029
901	24.37228	28.28480599	0.76789	0.003839	0.07741	21.0915	0.035664
902	24.413288	28.31622191	0.766092	0.00383	0.043845	21.0915	0.020198
903	24.45442	28.34763784	0.763783	0.003819	0.056136	21.0915	0.025868
904	24.49566	28.37905377	0.761783	0.003809	0.048497	21.0915	0.022341
905	24.536944	28.41046969	0.760971	0.003805	0.019669	21.0915	0.009065
906	24.578276	28.44188562	0.760087	0.0038	0.021388	21.0915	0.009852
907	24.619664	28.47330155	0.759059	0.003795	0.024838	21.0915	0.011445
908	24.66108	28.50471747	0.758545	0.003793	0.012411	21.0915	0.005718
909	24.702528	28.5361334	0.75796	0.00379	0.014114	21.0915	0.006505
910	24.743972	28.56754933	0.758033	0.00379	0.001761	21.0915	0.000815
911	24.785412	28.59896525	0.758106	0.003791	0.001762	21.0915	0.000815
912	24.82678	28.63038118	0.759426	0.003797	0.031909	21.0915	0.014698
913	24.868172	28.66179711	0.758986	0.003795	0.01063	21.0915	0.004893
914	24.909468	28.69321303	0.76075	0.003804	0.042716	21.0915	0.019676
915	24.950732	28.72462896	0.76134	0.003807	0.014298	21.0915	0.00659
916	24.991884	28.75604489	0.763412	0.003817	0.05035	21.0915	0.023194
917	25.03294	28.78746081	0.765197	0.003826	0.043477	21.0915	0.020027
918	25.073904	28.81887674	0.766916	0.003835	0.041964	21.0915	0.019335
919	25.114788	28.85029267	0.768416	0.003842	0.036689	21.0915	0.016907
920	25.155592	28.88170859	0.769923	0.00385	0.036933	21.0915	0.017012
921	25.196252	28.91312452	0.77265	0.003863	0.067068	21.0915	0.030903
922	25.236792	28.94454045	0.774937	0.003875	0.056413	21.0915	0.025992
923	25.277204	28.97595637	0.777391	0.003887	0.060725	21.0915	0.027973
924	25.317448	29.0073723	0.780636	0.003903	0.080633	21.0915	0.037152
925	25.357532	29.03878823	0.783752	0.003919	0.077737	21.0915	0.035815
926	25.39746	29.07020415	0.786814	0.003934	0.076688	21.0915	0.035332
927	25.437236	29.10162008	0.789821	0.003949	0.075598	21.0915	0.034829
928	25.476884	29.13303601	0.792371	0.003962	0.064316	21.0915	0.029633
929	25.516392	29.16445193	0.795179	0.003976	0.071074	21.0915	0.032743

930	25.55566	29.19586786	0.800039	0.004	0.123765	21.0915	0.057018
931	25.594796	29.22728379	0.802737	0.004014	0.068939	21.0915	0.031766
932	25.633748	29.25869971	0.806529	0.004033	0.097351	21.0915	0.044852
933	25.672536	29.29011564	0.809939	0.00405	0.087914	21.0915	0.040509
934	25.711164	29.32153157	0.813294	0.004066	0.086854	21.0915	0.040016
935	25.7496	29.35294749	0.817357	0.004087	0.105708	21.0915	0.048702
936	25.78784	29.38436342	0.821546	0.004108	0.109545	21.0915	0.050475
937	25.825892	29.41577935	0.825605	0.004128	0.10667	21.0915	0.049148
938	25.86382	29.44719527	0.828304	0.004142	0.071161	21.0915	0.03279
939	25.901564	29.4786112	0.832342	0.004162	0.106984	21.0915	0.04929
940	25.939188	29.51002713	0.834997	0.004175	0.070567	21.0915	0.032515
941	25.976664	29.54144305	0.838294	0.004191	0.087976	21.0915	0.040538
942	26.013976	29.57285898	0.841979	0.00421	0.098762	21.0915	0.045506
943	26.05116	29.60427491	0.844878	0.004224	0.077964	21.0915	0.03592
944	26.088228	29.63569083	0.847521	0.004238	0.071301	21.0915	0.032847
945	26.125144	29.66710676	0.851011	0.004255	0.094539	21.0915	0.043553
946	26.16192	29.69852269	0.854251	0.004271	0.088101	21.0915	0.040595
947	26.198568	29.72993861	0.857234	0.004286	0.081396	21.0915	0.037503

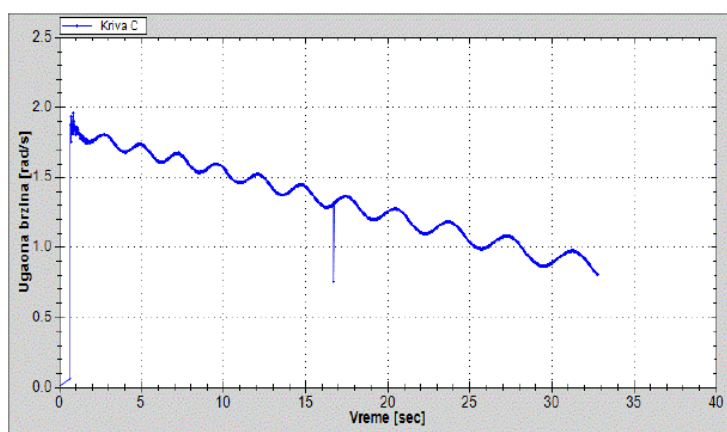
ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА У ЛЕЖАЈУ



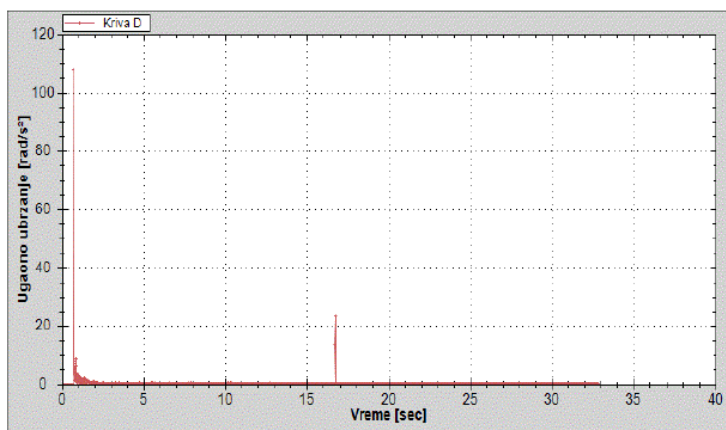
a)



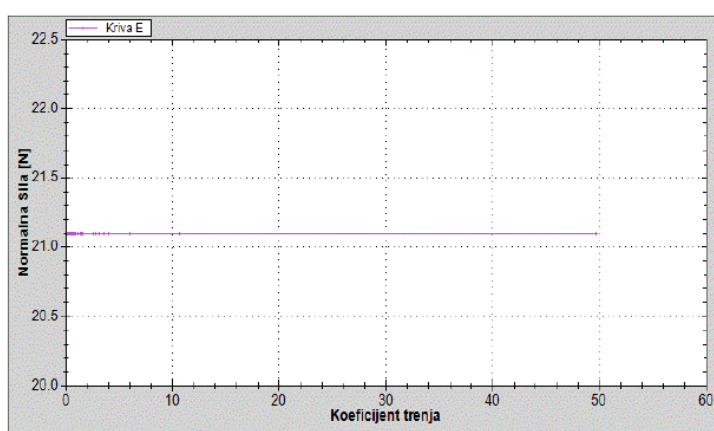
б)



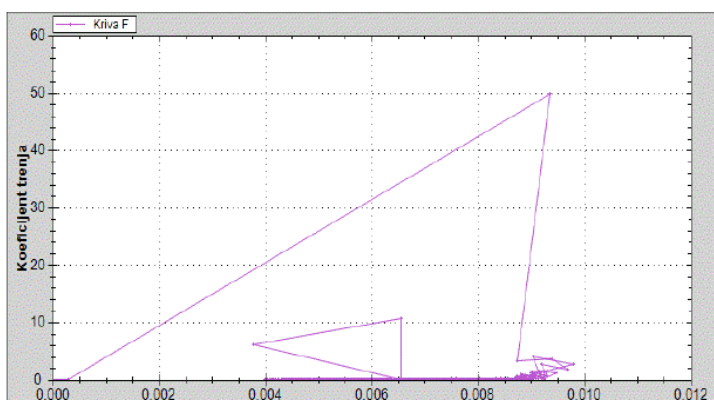
в)



г)



д)



ђ)

Слика 7.16(а-ђ) Дијаграмски прикази из извештаја о обављеном испитивању при иницирању кретања "већом" енергијом удара (сензор 10).

8. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Пројектовани уређаји и софтверска подршка мерном систему омогућили су реализацију веома обимног програма експерименталних испитивања. Добијена је велика статистичка маса података која се односи на измерене и сачуване нумеричке низове вредности промене угла у времену, које је било могуће накнадно обрађивати и анализирати. Реализовани софтвер (Поглавље 6.) омогућио је праћење процеса трења и омогућио да се у тренутку завршетка експеримента добије комплетан извештај о извршеном испитивању. Извештај о испитивању дат у облику дијаграмских зависности праћених физичких величина (угла, времена, угаоне брзине и угаоног убрзања, коефицијента трења) омогућио је:

- да се визуелно уочи изузетно поклапање тренда промене коефицијента трења са трендом промене угаоног убрзања,
- поклапање наведених трендова односило се, без иједног изузетка, на све реализоване експерименте,
- реализовано је укупно 70 независних експеримената при чему се не броје експерименти реализовани у циљу тестирања уређаја и софтвера.

При реализацији независних експеримената, број нумеричких вредности везан за одређену физичку величину (време, угао, убрзање, коефицијент трења, итд.) кретао се, у зависности од акумулиране енергије при иницирању кретања, у широком распону и некада је превазилазио број од 6.000 експерименталних података.

Дијаграмски прикази праћених физичких величина (угла, времена, угаоне брзине и угаоног убрзања, коефицијента трења) које генерише развијена апликација или софтвер представљали су логичну експерименталну целину која наилази на апсолутну подршку теоријског модела изложеног у оквиру трећег поглавља. Теоријски део разматрања изложениху оквиру поглавља дискусије рада, највећим делом је инициран уоченим поклапањем трендова промене угаоног убрзања и коефицијента трења. У том циљу у програму "STATISTIKA" извршена је регресиона анализа експерименталних података, при чему је коефицијент трења, преко базне функције, приказан као производ константе и угаоног убрзања, односно функцијом облика:

$$\mu = C \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (8.1)$$

Вредности добијених константи при извођењу серије од 10. експеримената на првом реализованом уређају при ручном иницирању кретања приказани су у табели 8.1.

Табела 8.1 Константе (C_i) и коефицијенти корелације (R_i) добијени статистичком обрадом експерименталних података при ручном иницирању кретања.

C1	R1	C2	R2	C3	R3	C4	R4
0,115926	0,981814	0,117954	0,994588	0,116542	0,997536	0,120049	0,998734
C5	R5	C6	R6	C7	R7	C8	R8
0,119398	0,998579	0,121907	0,996801	0,119719	0,999539	0,118923	0,998521
C9	R9	C10	R10				
0,121851	0,999216	0,117611	0,998082				

Из табеле 8.1 се може уочити да су вредности коефицијената корелације веома високи и крећу се у распону од $R=0,9945$ до вредности $R=0,9995$. При чему се границе растурања вредности константи крећу у распону од 0,116 до вредности 0,1218 што представља максимални распон растурања од свега 5%.

При иницирању кретања силом удара изведене су две серије експеримената, У првој серији, при већој енергији удара, изведено је 20 експеримената, док је у другој серији, при мањој енергији удара изведено 30 експеримената. Статистичком обрадом експерименталних података који се односе на иницирање кретања већом енергијом удара добијене су вредности константи и коефицијената корелације које су дате у табели 8.2.

Табела 8.2 Константе (C_i) и коефицијенти корелације (R_i) добијени статистичком обрадом експерименталних података при иницирању кретања већом енергијом удара (сензор 10).

C1	R1	C2	R2	C3	R3	C4	R4
0,422004	0,988175	0,414678	0,983463	0,423094	0,999504	0,424585	0,998856
C5	R5	C6	R6	C7	R7	C8	R8
0,419688	0,987162	0,421437	0,989236	0,417001	0,985583	0,386464	0,961979
C9	R9	C10	R10	C11	R11	C12	R12
0,408183	0,9783	0,460730	0,999997	0,4153526	0,97365294	0,379139	0,969022
C13	R13	C14	R14	C15	R15	C16	R16
0,400628	0,976967	0,429296	0,987734	0,385018	0,989164	0,396170	0,986103
C17	R17	C18	R18	C19	R19	C20	R20
0,388654	0,982336	0,386182	0,984069	0,389048	0,978138	0,4187	0,9896

Из дате табеле 8.2 се може видети да су вредности коефицијената корелације високе и крећу се у распону од $R=0,984$ до вредности $R=0,9999$, при чему се границе растурања вредности константи крећу у распону од 0,385 до вредности 0,460, што представља максимални распон растурања од приближно 16%.

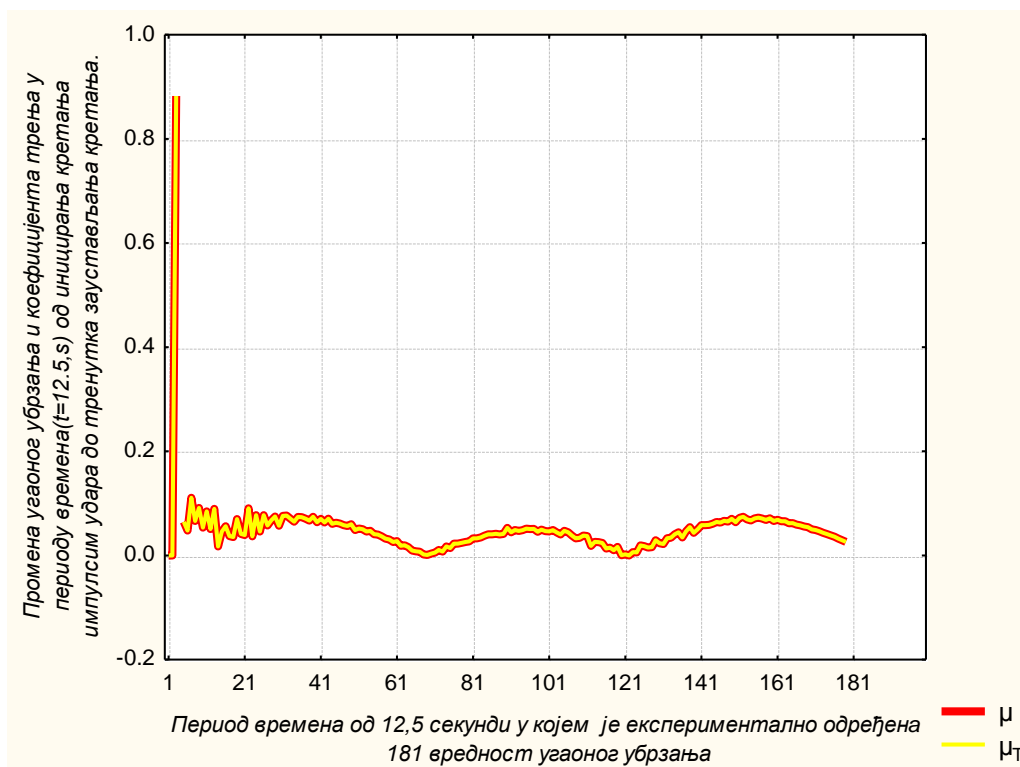
При иницирању кретања мањом енергијом импулсне силе удара вредности коефицијената корелације имали су јединичну вредност ($R=1$) у свих 30 изведених независних експеримената. При чему експериментално одређене константе, у свих 30 експеримената износе: $C=0,46073$, што је идентично са константом коју дефинише изложени теоријски модел, односно:

$$C = \frac{I}{r \cdot g \cdot [\Sigma M]} = \frac{0,0485875}{0,005 \cdot 9,81 \cdot [2,15]} = 0,46073. \quad (8.2)$$

Из табеле 8.2 која се односи на иницирање кретања већом енергијом ударног импулса силе, у једном од реализованих експеримената добијени су: вредност константе блиска теоријској вредности и коефицијент корелације веома близак јединичној вредности ($C_{10}=0,4160730$; $R_{21}=0,999997$). Такође се на основу података из исте табеле може закључити да пораст вредности експериментално одређене константе и њено приближавање теоријској вредности (Константе C_1 , C_{15} , C_{16} - Табела 8.2) прати пораст коефицијента корелације који асимптотски тежи јединичној вредности).

По мишљењу аутора, очигледно је да настале мале разлике вредности добијених константи и занемарљиво мало одступање експерименталних резултата у односу на теоријске вредности константи може бити само последица, мале стабилности механичког система при дејству већих импулсних сила (Момената) при иницирању кретања.

При иницирању кретања мањом енергијом (слика 7.10a) ударне силе криве промене експериментално добијене вредности коефицијента трења и његове теоријске вредности одређене регресионом анализом, са базном функцијом коју дефинише теоријски модел као производ константе и угаоног убрзања, су фактички истоветне. Да би се уочиле разлике на слици 8.1 крива теоријског обртања је максимално задебљана па црвене линије попримају облик обвојница кривама експериментално одређеног убрзања, мада разлике у вредности, у принципу, и не постоје.



Слика 8.1 Дијаграм промене, прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања.

9. ДИСКУСИЈА

Анализом литературних извора може се закључити да енергетски губици и феномен трења представља веома актуелну проблематику у сфери истраживања и развоја савремене трибодијагностичке опреме. Кинематско трење настаје при релативном кретању два тела у контакту, при дејству силе или момента силе који обезбеђује кретање.

Кинематски коефицијент трења се, у свим условима оптерећења контакта, може одредити потпуно другачијим методама у односу на постојеће методе које се заснивају на мерењу нивоа оптерећења контакта и мерењу силе трења. Прва публикована теоријска истраживања везана за одређивање кинематског коефицијента трења преко динамичке једначине кретања тела низ стрму раван објавио је Ојлер 1750. године [11]. Ова метода, нажалост, ни после 275 година у сфери науке, а посебно у сфери технологије пројектовања савремене трибодијагностичке опреме, није доживела ширу експанзију. У сфери науке, мањи број публикованих истраживања (претежно у часописима који покривају област едукације из области физике, базира или је тангентан са Ојлеровим истраживањима.

Пратећи Ојлерову идеју, група аутора [12] публиковала је резултате истраживања који представљају једну од ретких публикованих експерименталних верификација Ојлерове методе за одређивање кинематског коефицијента трења. У теоријском смислу и кроз експерименталну верификацију модела група аутора [12, 13] надградила је Ојлеров теоријски модел. Теоријски посматрано, модел је надграђен додавањем и анализом утицаја реално постојеће силе отпора ваздуха. Сила отпора ваздуха се, са аспекта грешака мерења мора узети у обзир, у условима кретања тела низ стрму раван при већим брзинама кретања и/или малим вредностима коефицијента трења. Истраживања изложена у литературном наводу [48], преко диференцијалне једначине кретања кванификују веома мале енергетске губитке настале услед трења, и на својеврстан начин указују на велики потенцијал Ојлерове методе.

Један од ретких радова који се не базира, на стрмој равни, већ на Ојлеровој идеји да се преко диференцијалне једначине кретања одреди кинематски коефицијент трења објављен је у тематском часопису из области трибологије [1]. На сликама 2.2.15(а-в) приказан је реализовани уређај, широког спектра могућности, који симулра рад вибрационе платформе (2.2.15а), механички модел распореда сила на вибрационој платформи (2.2.15б) и фотографски приказ грануле песка на ситу (2.2.15в). На основу теоријских разматрања изложених у литературном наводу [1] коефицијент трења је одређен на основу диференцијалне једначине кретања грануле песка по ситу. У наведеном раду изложен је веома комплексан теоријски модел који математички презентира услове динамичке равнотеже грануле песка и ефекте преносног и релативног кретања на промену убрзања грануле песка на ситу у функцији времена. За прорачун су коришћени експериментално добијени подаци који су дати у табели 2.2.1. Резултати ових истраживања су у корелацији са литературним изворима који конвенционалним методама третирају проблематику трења на вибрационим платформама [14, 15, 16, 17].

Наглашено је, да су аутори рада [1] и већи број компетентних истраживача, са високошколских институција, већ дужи низ година укључени у истраживања везана за разматрање могућности методе, то јест, анализе теоријског и технолошког потенцијала методе одређивања кинематског коефицијента трења преко диференцијалних једначина кретања тела, што представља претечу предметне докторске дисертације.

Сматра се, да предложена метода има велики потенцијал у теоријском експерименталном и технолошком смислу, као и, "футуристички" речено, са аспекта могућности њене индустријске примене при квантификавању трења и губитака енергије у реалним индустријским системима.

Трибометријске методе за експериментално одређивање кинематског коефицијента трења заснивају се на мерењу силе трења при одређеном нивоу нормалне силе оптерећења контакта и одређеној брзини релативног кретања једног контактеног елемента у односу на други. При чему се остали услови остваривања контакта (микроеометрија контактних парова, нивои температуре у зони контакта, врста мазива, и остали услови) могу варирати у широким границама.

Резултати истраживања везани за одређивање кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења, применом наведених конвенционалних метода, изложени су у радовима [40 - 45, 47] и генерално посматрано, указују на велику компатибилност конвенционалних метода са методом која се разматра у оквиру ове дисертације. Наведени закључак о компатибилности метода произилази на основу поређења трендова динамике промене коефицијента трења и нивоа вредности добијених коефицијената трења по конвенционалним методама и методи која се разматра.

Анализом диференцијалне једначине 9.1 [53] која описује кретања тела при обртању у присуству силе отпора трења може се закључити да она треба бити задовољена, без обзира на трибометријску методу која се примењује при одређивању и мерењу вредности силе трења.

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = \sum M_i = M_a - M_t - M_w \quad (9.1)$$

Код примене конвенционалних метода заснованих на мерењу силе трења подразумева се да је диференцијална једначина 3.1 задовољена. То значи да угаоно убрзање има нулту вредност, односно:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow 0 \quad (9.2)$$

Да би вредност угаоног убрзања имала нулту вредност угаона брзина мора бити константна. Као погонски елементи трибометара највише су заступљени електромотори различитих врста (Асинхрони, синхрони и ДС мотори). Позната је чињеница да стварни број обртаја електромотора у реалним условима експлатације може имати и значајније одступање од номинално декларисаног броја обртаја, посебно код асинхроних мотора. Што зависи од инсталиране снаге мотора, ангажоване снаге мотора и других фактора.

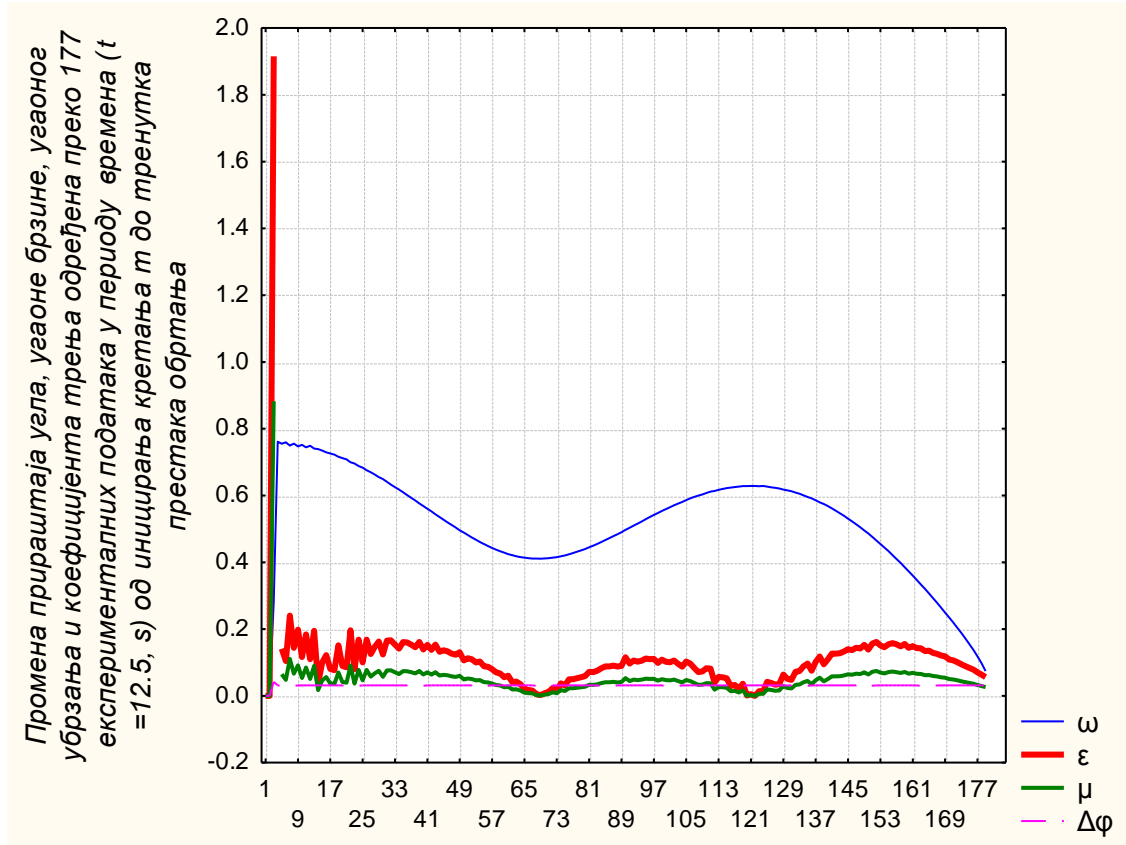
И мала тренутна одступања угаоне брзине могу довести до значајних промена вредности угаоног убрзања ($\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$) које помножено масеним моментом инерције (I) доводи до одређене вредности грешке мерења.

Предложена метода за одређивање кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења указује на везу угаоног убрзања и коефицијента трења. Према резултатима изложеним у овој дисертацији ова веза има тежину физичког закона. У оквиру поглавља теоријских разматрања показано је, да се кинематски коефицијент трења, при нултој вредности ексцентричне масе ($m_e=0$), може израчунати преко израза:

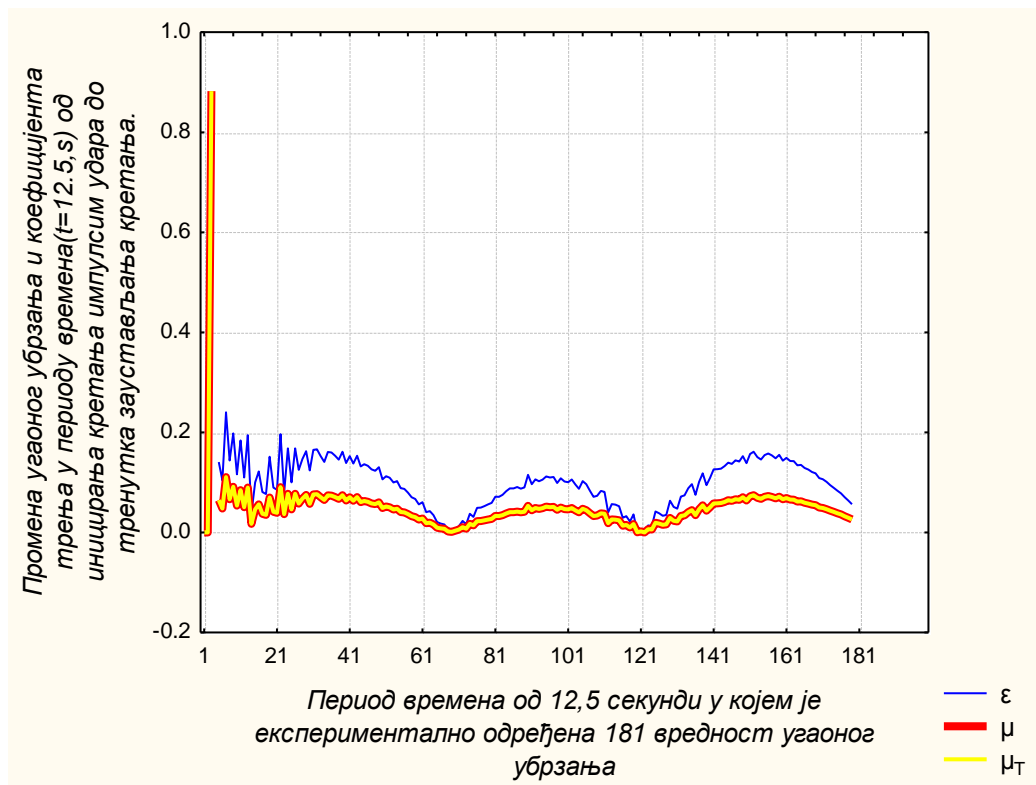
$$\mu = C \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{I \cdot \frac{d\omega}{dt}}{r \cdot [(m) \cdot g]}, \quad (9.3)$$

где константа C зависи од услова остваривања контакта и износи: $C = \frac{I}{r \cdot m \cdot g}$.

На слици 9.1(а,б) према публикованим резултатима аутора [54] приказане су експериментално добијене зависности промене прираштаја угла и промене угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења у функцији времена, при реализацији једног од 60 изведених експеримената (Слика 9.1а), док су на слици 9.1б приказане промене угаоног убрзања, и дат упоредни приказ промена и разлика између експериментално одређеног коефицијента трења и вредности коефицијента трења одређеног на основу изложеног теоријског модела. Наиме, теоријски модел дефинише коефицијент трења као производ константе и угаоног убрзања.



а)



б)

Слика 9.1(а,б) Дијаграм промене, прираштаја угла, угаоне брзине, угаоног убрзања и коефицијента трења (а) и промене угаоног убрзања, експериментално и теоријски одређеног коефицијента трења, од тренутка иницирања кретања до престанка кретања (б).

Статистичком обрадом експериментално добијених резултата, за прву серију од 30 експеримената утврђена је потпуна сагласност теоријски датог израза (једначина 3.11) за прорачун коефицијента трења и израза добијеног обрадом експерименталних података. Наиме, резултати статистичке обраде података 30 експеримената прве серије, за сваки експеримент, дефинишу коефицијент трења као производ константе и угаоног убрзања, односно изразом: $\mu = C \cdot \frac{d\omega}{dt}$, при чему коефицијент корелације има јединичну вредност ($R=1$), а експериментално одређене константе у свих 30 експеримената износе $C=0,46073$, што је идентично са константом коју дефинише изложени теоријски модел. Израз:

$$C=0,46073 = \frac{l}{r \cdot g \cdot [\Sigma M]} = \frac{0,0485875}{0,005 \cdot 9,81 \cdot [2,15]} = 0,46073. \quad (9.4)$$

У другој серији од 30 експеримената изведених иницирањем кретања са значајно већим вредностима енергије импулса коефицијенти корелације су такође веома високи и крећу се у границама $R=0,995-1$. Мали пад вредности коефицијента корелације тумачи се малим променама масеног момента инерције насталим услед ефеката великог ударног оптерећења.

Са дијаграма се може уочити да прираштај угла у кратком временском периоду, након дејства ударног импулса силе која иницира кретање, смањују дисперзију при чему је динамика промене угаоног убрзања и коефицијента трења у потпуности идентична. Треба нагласити, да су криве промене експерименталне вредности коефицијента трења и његове теоријске вредности одређене као производ константе и угаоног убрзања

апсолутно преклопљене. Да би се уочиле разлике на слици 9.1б, крива теоријског обртања је максимално задебљана па црвене линије попримају облик обвојница, мада разлике у вредности фактички и не постоје.

У општем случају једначина (3.11) којом се дефинише коефицијент трења може се, за конкретне услове извођења експеримента, написати у облику:

$$\mu = \frac{C_1 \cdot \varepsilon}{C_2 - C_3 \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi} \quad (9.5)$$

При чему константе C_i ($i = 1, 2, 3$) имају одређене вредности, односно:

$$C_1 = I; C_2 = r \cdot [(m + m_e) \cdot g]; C_3 = m_e \quad (9.6)$$

Коефицијент трења μ дефинисан једначином (9.5) у математичком смислу, представља сложену функцију угла φ и квадрата угаоне брзине ω^2 .

Статистичка обрада великог броја експерименталних података је показала да се и у случају великог динамичког оптерећења преко ексцентричне масе (Једначина 9.7), коефицијент трења веома поуздано може одредити функцијом облика:

$$\mu = K \cdot \varepsilon, \quad (9.7)$$

при чему се константа K може одредити методом регресионе анализе. Резултати статистичке обраде више од 10.000 експерименталних података показали су да се максималне разлике између експериментално измерених вредности коефицијента трења и коефицијента трења одређеног регресионом анализом са базном функцијом (Једначина 9.7.) преко убрзања крећу у границама од 0-1.3%.

На основу једначина 9.5 и 9.7 произилази једнакост облика:

$$K \cdot \varepsilon = \frac{C_1 \cdot \varepsilon}{C_2 - C_3 \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi}, \quad \text{односно:} \quad (9.8)$$

$$K = \frac{C_1}{C_2 - C_3 \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi} = \text{const.} \quad (9.9)$$

Из једначине 3.3. дате у трећем поглављу рада произилази теоријска веза силе трења и угаоног убрзања облика:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_t = F_T \cdot r \rightarrow F_T = \frac{I}{r} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad \text{односно:} \quad (9.10)$$

$$\mu \cdot F_N = \frac{I}{r} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (9.11)$$

одакле следи веза коефицијента трења и угаоног убрзања дефинисана једначином 9.12.

$$\mu = \frac{I}{r \cdot F_N} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (9.12)$$

Нормална сила оптерећења контакта и угаоно убрзање су сложене и математички посматрано, независне функције угла, односно времена па се у математичком смислу може написати:

$$F_N = f_1(t); \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = f_2(t) \quad \text{из чега следи:} \quad (9.13)$$

$$\mu = \frac{I}{r} \cdot \frac{f_2(t)}{f_1(t)} \quad (9.14)$$

Извршене анализе указују да постојање јаке физичке везе, математички посматрано независних функција $F_N = f_1(t)$ и $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = f_2(t)$, које омогућавају да се кефицијент

кинематског трења прикаже као производ константе ($\frac{l}{r}$) и односа наведених функција ($\frac{f_2(t)}{f_1(t)}$).

Истраживања аутора публикована у оквиру литературног навода [1] односе се на одређивање кинематског коефицијента трења котрљаног лежаја у условима иницирања кретања динамичком ударном силом. У раду је показано, да се након иницирања кретања и престанка дејства спољашње силе (ударног импулса) кретање наставља, при чему оптерећени лежај (зона лежаја у којој дејствују силе отпора трења) пролази читав спектар брзина, од максималне брзине у тренутку иницирања кретања, до њене нулте вредности при заустављању кретања. Резултати истраживања приказани у раду компатибилни су са резултатима добијеним применом конвенцијалних трибодијагностичких метода. Мерни систем (ротациони енкодер), пратећа ардуино електроника, и наменски развијени софтвер омогућили су формирање базе података везаних за on-line праћење процеса и креирање извештаја о испитивању у форми табеларних и дијаграмских приказа везаних за услове у којима је експеримент изведен.

Статистичком обрадом експериментално добијених резултата потврђено је да се коефицијент трења веома поуздано може одредити као производ константе и угаоног убрзања, чиме је и потврђена потпуна компатибилност теоријског и експерименталног дела рада. Вредности добијених коефицијената трења котрљања крећу се у границама растурања као и код конвенционалних метода заснованих на мерењу силе трења и нормалног оптерећења контакта. При чему је поновљивост резултата мерења код ове методе потврђена кроз велики број реализованих експеримената. Динамика промене коефицијента трења у времену у потпуности прати динамику промене угаоног убрзања и указује на теоријску и експериментално потврђену везу између ових величина. Дијаграми енергетског биланса приказани на сликама 7.1.1(а,б) указују да радови сила трења проузрокују пад кинетичке енергије. Па сходно томе при престанку кретања (Слика 7.1.1а) разлика кинетичке енергије и радова трења има приближно нулту вредност. Дијаграм биланса енергија приказан на слици (7.1.1б) показује да кретање није заустављено и да је разлика кинетичке енергије и радова трења реда величине 0,01 J, што указује и на потенцијал методе у смислу квантификовања веома малих енергетских губитака.

Методологија одређивања кинематског коефицијента трења, која се разматра у овој дисертацији, своди се на иницирање кретања (обртања тела) активним обртним моментом који дејствује у кратком временском интервалу и на праћење промене угла обртања у времену. При чему тело и зона контакта у којој настаје трење пролази кроз читав спектар угаоних брзина, од максималне брзине инициране активним моментом па све до нулте вредности угаоне брзине у тренутку престанка обртања. У овом динамичком систему уложена кинетичка енергија при иницирању кретања, у сваком тренутку времена након иницирања кретања, умањује се за вредност радова сила трења све до тренутка престанка обртања. Дакле, кретање тела након иницирања кретања одвија се на бази акумулиране енергије, при чему закон промене угла обртања у времену у сваком тренутку времена дефинише вредност силе трења. Кретање се може иницирати мануелно, преко електромагнетне спојнице, импулсом ударне силе или на другачији начин.

Методологија одређивања кинематског коефицијента трења, која се предлаже у овом раду, нема суштинских ограничења. Коефицијент трења се може одредити у било којим условима остваривања контакта. Могу се испитивати клизни и котрљајни парови различитих трболошких карактеристика, при чему се ниво симулираног оптерећења,

распон брзина клизања или котрљања, могу кретати у широком опсегу. Овом методом се, много једноставније, у односу на конвенционалне методе, могу вршити испитивања при симулацији различитих нивоа температура контакта, и уопште, различитих услова који ближе дефинишу рад реалних трибомеханичких система (Агресивна средина, систем подмазивања, ниво оптерећења, итд.).

10. ЗАКЉУЧЦИ

Дисертација је у првом кораку реализована кроз фазу детаљне анализе литературних извора у сфери научних истраживања и сфери развоја трибодијагностичке опреме. На основу литературног прегледа може се рећи да је у сфери научних истраживања евидентна јака спрега трибологије као науке и трибодијагностике која укључује и развој савремених мерних система. Разлози су првенствено у чињеници да су за анализу и квантификовање параметата сложених триболошких процеса неопходни поуздани мерни уређаји.

Трибологија је због сложености процеса који се одвијају у зонама контаката, великим делом заснована на експерименталним методама истраживања. Савремене методе експерименталних истраживања, поред захтева поузданости мерних система, постављају и низ других захтева и ограничења. Све то намеће сталну потребу за развојем нових и усавршавање постојећих мерних уређаја, не само у ужој области мерног система и пратећег софтвера, већ и у области самих принципа односно физике процеса трења.

Развој савремене мерне опреме за трибодијагностику, па и мерне опреме уопште, по својој природи је веома комплексна и интердисциплинарна област истраживања. У принципу, напредну трибодијагностичку опрему реализују специјализоване институције и произвођачи иза којих стоје године теоријског и експерименталног рада, не само у области трибологије, већ и у многим областима тангентним са проблематиком савремених мерних система.

Велики број постојећих светских решења трибометара је стандардизован (ASTM и ISO стандарди) према условима остваривања контаката. Ове конструкције трибометара се и данас усавршавају највише у погледу софтверских решења и побољшања техничких карактеристика (повећање нивоа оптерећења, повећање брзина клизања и котрљања, повећање радних температура, вакуумских комора и др.). Ова решења су универзалнијег карактера и пројектована су врло често по модуларном принципу [48].

Постоји такође и одређени број специјалних решења (конструкција) трибометара намењених триболошким испитивањима зупчастих парова, тврдих превлака, пластичних маса и других материјала [34, 35], као и одређени број наменски дизајнираних конструкција трибометара [62].

У свету је развијен и велики број трибометара намењених испитивању триболошких карактеристика материјала у вакууму [63, 64], као и трибометара намењених за испитивања у условима екстремно високих температура контактних парова [45].

Развој композитних материјала и нанотрибометрије, као посебне области трибологије, иницирао је истраживања у овој области и публикавање значајног броја резултата научних истраживања [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61].

Развој нових решења трибометара, у значајном делу, инициран је развојем алатних превлака, посебним условима оптерећења, агресивном средином и другим специфичним условима [43]. Велики број публикованих експерименталних резултата истраживања реализован је на неком од наведених типова трибометара.

На основу резултата теоријских и експерименталних истраживања изложених у овој дисертацији, произилази да се кинематски коефицијент трења и у условима сложених динамичких оптерећења контакта може веома поуздано одредити на бази диференцијалне једначине кретања тела у присуству силе отпора трења.

Методологија одређивања коефицијента трења своди се на мерење две основне физичке величине, угла обртања и времена, што у теоријском и експерименталном смислу има значајну предност у односу на конвенционалне методе одређивања коефицијента трења.

Анализе изведене у оквиру поглавља дискусије рада указују на експерименталну верификацију теоријске везе угаоног убрзања и коефицијента трења. Промене убрзања, ма ког нивоа амплитуде и фреквенце постоје у сваком динамичком систему и у великој мери могу одгонетнути енигму кинематског коефицијента трења.

По мишљењу аутора ове дисертације и мишљењу већег броја компетентних истраживача који подржавају и раде на развоју предложене методе, убрзање је својеврстан физички и енергетски показатељ трења и расипања енергије у трибомеханичким системима.

Убрзање такође дефинише комплетну динамику самог процеса трења без увођења побуда и потенцијалних грешака мерења, које у знатно већој мери могу изазвати мерни инструменти (динамометри-сензори силе) за квантификовање нормалног оптерећења контакта и силе трења.

Чињеница да се ова метода базира на мерењу основних физичких величина (време, пређени пут, угао обртања) омогућава формирање поузданих мерних ланаца и њихов смештај ван зоне контакта, што знатно поједностављује триболошка истраживања у условима високих температура, контролисане дубине вакуума, агресивној средини и осталим сложенијим условима испитивања.

Изложену методу карактерише висок ниво поузданости добијених резултата као и велики потенцијал могуће примене методе у сфери образовања, истраживања и развоја трибодијагностичке опреме.

Методологија одређивања кинематског коефицијента трења, која се разматра у овом раду, нема суштинских ограничења. Коефицијент трења се може одредити у било којим условима остваривања контакта. Могу се испитивати клизни и котрљајни парови различитих трболошких карактеристика, при чему се ниво симулираног оптерећења и распон брзина клизања или котрљања, могу кретати у широком опсегу. Овом методом се, много једноставније, у односу на конвенционалне методе, испитивања могу вршити при симулацији различитих нивоа температурама контакта, и уопште, различитих услова који ближе дефинишу рад реалних трибомеханичких система (Агресивна средина, систем подмазивања, ниво оптерећења, итд.).

Будућа истраживања биће усмерена у домену иницирања кретања преко безконтактне електромагнетне спојнице, што ће значајно допринети усавршавању система за иницирање кретања и проширити опсег примене предложене методе. Такође истраживања ће бити усмерена на имплементацију методе при квантификовању трења у условима високих температура у зони контакта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **G. Mihajlović (2017)**, M. Gašić, M. Savković, S. Mitrović, B. Tadić, *Vibroplatform modeling with allowance for tribological aspects*, Journal of Friction and Wear, Vol. 38, No. 3, pp.184-189, 2017
- [2] **Б. Тадић (2010)**, М. Бабић, С. Митровић, П. Тодоровић, И. Бобић, *Заједнички мерни системи за универзални трибометар – триболошки мерни центар*, Центар за трибологију, Машински факултет у Крагујевцу, 2010
- [3] **G. W. Rodgers (2017)**, R. Herve, G. A. MacRae, J. C. Golondrino, J. G. Chasea, *Dynamic Friction Coefficient and Performance of Asymmetric Friction Connections*, 2352-0124/2017 Institution of Structural Engineers. Published by Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.09.003>
- [4] **A. Agha (2015)**, S. Gupta, T. Joseph, *Particle sliding on a turntable in the presence of frictional forces*, Am. J. Phys, 83, 126 (2015), AIP Publishing, <https://doi.org/10.1119/1.4896664>
- [5] **D. Briggs (2021)**, S. Echaves, B. Pidgeon, N. Travis, J. D. Ellisa, *Accurately measuring dynamic coefficient of friction in UltraForm Finishing*, Proc. of SPIE Vol. 8838 88380U-7, 2021, <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie>
- [6] **N. E. Avdeev (2007)**, V. S. Rezuev, A. V. Nekrasov, *Increasing the precision of a device used to determine the dynamic coefficient of friction*, Measurement Techniques, Vol. 50, No. 11, pp. 24–26, 2007
- [7] **Y. P. Borzilov (2020)**, V. N. Yeroenko, D. N. Misirov, S. V. Semergey, *Method for determining dynamic coefficient of friction of bodies*, Materials Science and Engineering 971 (2020) 052057, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/971/5/052057
- [8] **D. E. Stewart (2000)**, *Rigid-Body Dynamics with Friction and Impact*, SIAM Review, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2000, 42 (1), pp.3-39. 10.1137/S0036144599360110. hal-01570533
- [9] **F. Marques (2016)**, P. Flores, J. C. Pimenta Claro, H. M. Lankarani, *A survey and comparison of several friction force models for dynamic analysis of multibody mechanical systems*, Nonlinear Dyn (2016) 86:1407–1443, DOI 10.1007/s11071-016-2999-3, Springer Science+Business Media Dordrecht 2016
- [10] **M. M. Ibrahim (2008)**, *Determination of dynamic coefficient of friction for some materials for feed pellet under different values of pressure and temperature*, Misr J. Ag. Eng., 25(4): 1389-1409, PROCESS ENGINEERING
- [11] **O. Muvengi (2012)**, J. Kihiu, B. Ikua, *Dynamic analysis of planar multi-body systems with LuGre friction at differently located revolute clearance joints*, Springer Science+Business Media B.V. 2012, DOI 10.1007/s11044-012-9309-8
- [12] **B. Sanborn (2018)**, B. Song, E. Nishida, *Development of a New Method to Investigate the Dynamic Friction Behavior of Interfaces Using a Kolsky Tension Bar*, Experimental Mechanics (2018) 58:335–342
- [13] **D. E. Stewart, (2000)**, *Rigid-Body Dynamics with Friction and Impact*, 2000 Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM REVIEW Vol. 42, No. 1, pp. 3–39
- [14] **K. Tønder (2001)**, *Inlet roughness tribodevices: dynamic coefficients and leakage*, The Norwegian University of Science & Technology, Department of Machine Design & Materials Technology, Rich. Birkelandsv. 2B, N-7491 Trondheim, Norway
- [15] **K. Tønder (1999)**, *A new class of bearings, based on roughness effects*, STLE/ASME Tribology Conference, Orlando, FL, USA, October 1999.

- [16] **H. Christensen (1969)**, K. Tønder, *Tribology of rough surfaces. Stochastic models of hydrodynamic lubrication*, SINTEF Report, 18-69/10 1969, Trondheim, Norway.
- [17] **K. Tønder (1977)**, *Mathematical verification of the applicability of modified Reynolds equations to striated rough surfaces*, *Wear* 1977, 44(2):329–43.
- [18] **T. Jankowiak (2016)**, A. Rusinek, G. List, G. Sutter, F. Abed, *Numerical analysis for optimizing the determination of dynamic friction coefficient*, *Tribology International* Vol. 95, March 2016, Pages 86-94, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.10.039>
- [19] **G. Sutter (2004)**, S. Philippon, A. Molinari, *An experimental investigation of dry friction for a large range of sliding velocities*, *Matér Tech* 2004:33–7.
- [20] **G. Sutter (2010)**, N. Ranc, *Flash temperature measurement during dry friction process at high sliding speed*, *Wear* 2010; 268:1237–42.
- [21] **G. List (2013)**, G. Sutter, J.J. Arnoux, *Analysis of the high speed sliding interaction between titanium alloy and tantalum*, *Wear* 2013; 301(1–2):663–70.
- [22] **G. Sutter (2014)**, G. List, J.J. Arnoux, A. Rusinek, *Finite element simulation for analysing experimental friction tests under severe conditions*, *Finite Elem Anal Des* 2014;85:50–8.
- [23] **R. Shao (2021)**, M. Wahle, M. Zimmermann, *A model for the dynamic friction behaviour of rubber-like materials*, *Tribology International*, 164, 107220. doi:10.1016/j.triboint.2021.107220
- [24] **M. Barquins (1992)**, *Adherence, friction and wear of rubber-like materials*, *Wear*, 158(1-2), 87–117. doi:10.1016/0043-1648(92)90033-5
- [25] **Z. Guo (2007)**, Y. Meng, H. Wu, C. Su, S. Wen, *Measurement of static and dynamic friction coefficients of sidewalls of bulk-microfabricated MEMS devices with an on-chip micro-tribotester*, *Sensors and Actuators A: Physical*, 135(2), 863–869. doi:10.1016/j.sna.2006.10.008
- [26] **Б. Ивковић (1993)**, Б. Тадић, Д. Јешић, *Трибологијске карактеристике нодуларног ћугуна*, *Трение и износ*, Н4/1993, Гомељ, 1993.
- [27] **В. Тадић (1996)**, В. Недић, Н. Сремчевић, М. Џетковић, *Influence of tribometer constructive solutions on friction force measurement reliability*, *BALKANTRIB 96*, Thessaloniki, Greece, 1996.
- [28] **В. Ивковић (1996)**, В. Тадић, *Machinability test on tribometer "Pin on Disc"*, *International Conference on Tribology, BALKANTRIB 96*, Thessaloniki, Greece, 1996.
- [29] **В. Тадић (1998)**, В. Недић, *Influence of Tribometer Constructive Solutions on Friction Force Measurements Realibility*, *Journal of Balkan Tribological Association*, Vol. 4, N01, 8-16(1998), ISSN: 1998 Sci Bul Com.
- [30] **В. Ивковић (2000)**, Д. Јешић, В. Тадић, *Conection Between Tribological and Metalurgical Properties of ADI*, *The First Mediterranean Tribology Conference*, Jerusalem, 2000.
- [31] **В. Тадић (2002)**, В. Ивковић, П. Тодоровић, *Theoretical Basis of Pin and Block Carrier design at Tribometer Tpd – 2000*, *Tribology in industry*, (53-56), volume 24, N03&4, YU ISSN 0351-1642, (UDK 621.836.004.6:621.892.002.01), Kragujevac 2002.
- [32] **Б. Тадић (2001)**, Б. Ивковић, Н. Марјановић, П. Тодоровић, *Симулација процеса трења и хабања зупчастих преносника на триботметру TPD 2000*, *Седма Југословенска конференција о трибологији, YUTRIB' 01*, Београд, 2001.
- [33] **П. Тодоровић (2002)**, В. Гојковић, В. Ивковић, В. Тадић, *Tribometer Tpd-2000- Data Acquisition Software*, *Tribology in industry*, (23-28), volume 24, N0 1&2, (YU ISSN 0351-1642), (UDK 621.836.004.6:621.892.002.01), Kragujevac, 2002

- [34] **B. Tadić (2006)**, N. Marjanović, B. Nedić, *Bending of Thin Walled Pipes Using the Heat Realized by Friction*, The Annals of University „Dunarea de Jos“ of Galati, Fascicle VIII, ISSN 1221-4590., Tribology, 2006.
- [35] **Б. Тодић (2007)**, Н. Марјановић, *Design of Modern Universal Tribometer TPD-2000*, Journal of the Balcan Tribological Association, No 2, Vol.13, (2007)., pp 150-165
- [36] **U. Besson (2007)**, L. Borghi, A. De Ambrosis, P. Mascheretti, *How to teach friction: Experiments and models*, American Journal of Physics, 75(12), 1106-1113. <https://doi.org/10.1119/1.2779881>
- [37] **P. S. W. M. Logman (2015)**, W. Kaper, T. Ellermeijer, *Evaluation of the learning process of students reinventing the general law of energy conservation*, Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education, 11. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1323a>
- [38] **J. Solbes (2009)**, J. Guisasola, F. Tarín, *Teaching energy conservation as a unifying principle in physics*, Journal of Science Education and Technology, 18(3), 265-274. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9149-3>
- [39] **A. De Ambrosis (2015)**, M. Malgieri, P. Mascheretti, P. Onorato, *Investigating the role of sliding friction in rolling motion: a teaching sequence based on experiments and simulations*, European Journal of Physics, 36(3), 035020. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/36/3/035020>
- [40] **P. M. Todorović (2013)**, M. Blagojević, D. Vukelić, I. Mačužić, M. Jeremić, A. Simić, B. Jeremić, *Static coefficient of rolling friction under heating*, Journal of Friction and Wear, Vol. 34, No. 6, pp.450-453, 2013.
- [41] **P. Todorović (2013)**, M. Blagojević, M. Jeremić, A. Stanković, A. Marković, B. Trifunović, M. Miljković, *The impact of one heat treated contact element on the coefficient of static friction*, Tribology in Industry. 2013 Dec 1.
- [42] **I. Bijelić (2017)**, N. Mor, M. Živković, V. Tubin, T. Stožinić, *The Influence of the Contact Pressure on the Value of the Coefficient of Friction*, Tribology in Industry, Vol. 39, No. 2, 2017.
- [43] **M. Luković (2019)**, *The Influence of Surface Temperature on the Coefficient of Static Friction*, The Physics Teacher, Vol. 57, No. 9, pp. 636-638, 2019.
- [44] **B. Tadić (2019)**, M. Živković, G. Šimunović, V. Kočović, T. Saric, Đ. Vukelić, *The Influence of Vacuum Level on the Friction Force Acting on the Pneumatic Cylinder Sealing Ring*, Tehnički vjesnik, Vol. 26, No. 4, pp. 970-976, 2019.
- [45] **M. Luković (2021)**, J. Miljojković, B. Tadić, *An inclined plane based instrument for determining the static coefficient of friction at high temperatures*, Rom. J. Phys. 66, 909 (2021)
- [46] **L. Euler (1750)**, *Sur le frottement des corps solides*, Memoires de l'academie des sciences de Berlin, 122-132. Retrieved from <http://eulerarchive.maa.org/>
- [47] **Đ. Vukelić (2021)**, P. Todorović, K. Šimunović, J. Miljojković, G. Šimunović, I. Budak, B. Tadić, *A Novel Method for Determination of Kinetic Friction Coefficient using Inclined Plane*, Technical Gazette, Vol. 28 No. 2, 2021. doi: 10.17559/TV-20201101051835
- [48] **J. Miljojković (2022)**, V. Kočović, M. Luković, A. Živković, K. Šimunović, *Development of a Modular Didactic Laboratory Set for the Experimental Study of Friction*, Tehnički Glasnik 29(1):269-277, DOI:10.17559/TV-20210925171045
- [49] **X. Yang (2015)**, Y. Zhao, E. Zhou, Z. Luo, Z. Fu, L. Dong, H. Jiang, *Kinematic properties and beneficiation performance of fine coal in a continuous vibrated gas-fluidized bed separator*, Fuel, 2015, vol. 162, pp. 281–287.

- [50] **C. Tai (2010)**, S. Hsiau, C. Kruelle, *Density segregation in a vertically vibrated granular bed*, Powder Technol., 2010, vol. 204, nos. 2–3, pp. 255–262.
- [51] **J. Laurentie (2013)**, P. Traoré, L. Dascalescu, *Discrete element modeling of triboelectric charging of insulating materials in vibrated granular beds*, J. Electrostat., 2013, vol. 71, no. 6, pp. 951–957.
- [52] **P. Moysey (2013)**, N. Rama Rao, M. Baird, *Dynamic coefficient of friction and granular drag force in dense particle flows: experiments and DEM simulations*, Powder Technol., 2013, vol. 248, pp. 54–67.
- [53] **Lj. Brzaković (2022)**, V. Kočović, S. Mitrović, N. Busarac, B. Tadić, *A method for determining of kinetic friction coefficient under dynamic loading conditions*, Romanian Journal of Physics, 2022.
- [54] **Lj. Brzaković (2022)**, V. Milovanović, V. Kočović, G. Šimunović, Đ. Vukelić, B. Tadić, *Relation between kinetic friction coefficient and angular acceleration during motion initiated by dynamic impact force*, ISSN 1330-3651(Print), ISSN 1848-6339 (Online) <https://doi.org/10.17559/TV-20220408155435> (2022.)
- [55] **M. Babić (2010)**, S. Mitrović, F. Zivic, I. Bobić, *Wear Behavior of Composites Based on ZA-27 Alloy Reinforced by Al₂O₃ Particles Under Dry Sliding Condition*, Tribology Letters, Springer, Vol.38, No.3, pp. 337-346, ISSN 1023-8883
- [56] **S. Mitrovic (2012)**, M. Babic, F. Zivic, I. Bobic, D. Dzunic, M. Pantic, *Influence Of Al₂O₃ Particle Content On The Sliding Wear Behaviour Of Za-27 Alloy Composite*, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.18, No.4, pp. 548–558, ISSN 1310-4772
- [57] **B. Stojanovic (2013)**, M. Babic, S. Mitrovic, A. Vencl, N. Miloradovic, M. Pantic, *Tribological Characteristics of Aluminium Hybrid Composites Reinforced with Silicon Carbide and Graphite*, Journal of Balkan tribological association, Vol.19, No.1, pp. 83-96, ISSN 1310-4772
- [58] **F. Živić (2013)**, M. Babic, S. Mitrovic, D. Adamovic, *Friction coefficient during reciprocating sliding of UHMWPE in ringer's solution*, International Scientific and Technical Conference “Polymer Composites and Tribology”, POLYCOMTRIB 2013, Gomel, Belarus, 2013, 24-27 June, pp. 41, ISBN 978-985-6477-43-3
- [59] **N. Miloradović (2021)**, R. Vujanac, B. Stojanović, A. Pavlović, *Dry sliding wear behaviour of ZA27/SiC/Gr hybrid composites with Taguchi optimization*, Composite Structures, impact factor: 5,138, Vol.264, No.x, pp. 113658, ISSN 0263-8223, Doi 10.1016/j.compstruct.2021.113658
- [60] **S. Veličković (2017)**, B.Stojanović, M.Babić, I.Bobić, *Optimization of tribological properties of aluminum hybrid composites using Taguchi design*, Journal of composite materials, Vol.51, No.17, pp. 2505-2515, ISSN 0021-9983, Doi 10.1177/0021998316672294
- [61] **B. Stojanović (2015)**, L.Ivanović, *Application of aluminium hybrid composites in automotive industry*, Tehnički vjesnik, Vol.22, No.1, pp. 247-251, ISSN 1330-3651, Doi DOI: 10.17559/TV-20130905094303
- [62] **N. Marjanovic (2006)**, B. Tadic, B. Ivkovic, S. Mitrovic, *Design of Modern Concept Tribometer with Circular and Reciprocating Movement*, Tribology in industry, vol. 27., No. 1&2
- [63] **K. Miyoshi (1999)**, *Considerations in vacuum tribology (adhesion, friction, wear, and solid lubrication in vacuum)*. Tribology International, 32(11). 605-616, [http://doi.org/10.1016/s0301-679x\(99\)00093-6](http://doi.org/10.1016/s0301-679x(99)00093-6)
- [64] **T. Kucukomeroglu (2008)**, G. Purcek, O. Saray, L. Kara, *Investigation of friction and wear behaviours of CuSn10 alloy in vacuum*. Jurnal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 30(2). 172-176

ПРИЛОГ

Комплетан приказ наменски развијеног софтвера

Софтверска подршка мерном систему трибометра за одређивање кинематског коефицијента трења у условима динамички оптерећених контаката.

** GLAVNA FORMA **

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

//dodato
using System.IO;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;
using ZedGraph;

namespace Fizičko_klatno_ap
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        #region Form1 public
        Form1()
        {
            InitializeComponent();

            sp.DataReceived += new SerialDataReceivedEventHandler(sp_DataReceived);

            textBoxMasaTela.Focus(); buttonStart.Enabled =
            false; buttonStop.Enabled = false;
            buttonNapraviIzvestaj.Enabled = false;
            buttonClear.Enabled = false;
            buttonUgao0deg.Enabled = false;
            panelGraph1.Visible = false;
            toolStripMenuItem6.Enabled = false;
        }
        #endregion

        #region PocetniPodaci

        //ulazni podaci
        public static double masaTela = 0, redDuzinaKlatna = 0, gravKonstanta = 9.81,
        momentInercije = 0, poluprLezaja = 0, excMasa = 0;
        public static string datumTestiranja="", ispitivanjeUradili="";

        public static int opcijaDinStat=0;

        //zatvaranje porta
        Boolean zaustavi = false;
        // provera dali ima porta bool
        ImPort = false;

        //vreme za x-osu double
        timeB = 0;
```

```

//za izvestaj
public static bool pomNovoIspitivanjeA = true;

//rezolucija enkodera
public static double rezEnkodera = 600;

string PodaciBaza = "";
string[] odvojeniPodaciBaza;

#endregion

#region Obavestenja int
brojObavestenja;
public void obavestenja()
{
try
{

switch (brojObavestenja)
{
case 1:

toolStripStatusLabelObavestenja.Text = "Dobrodošli, unesite ulazne
podatke i izvršite njihovu potvrdu.";
break;

case 2:
toolStripStatusLabelObavestenja.Text = "Podesite komunikaciju i pokrenite proces
merenja.";
break;

case 3:
toolStripStatusLabelObavestenja.Text = "Merenje je u toku, podaci
očitanji sa senzora se šalju na računar.";
break;

case 4:
toolStripStatusLabelObavestenja.Text = "Ponovite merenje ili napravite
izveštaj pomoću dobijenih vrednosti.";
break;
}
}
catch { }
}
}
#endregion

#region FormLoad
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
//try
//{

timer2.Enabled = true;
RefreshComPortList();
//comboBoxBaudRate.Text = "115200";
comboBoxBaudRate.SelectedIndex = 2;

textBoxDatumTestiranja.Text=DateTime.Now.ToString("dd/MM/yyyy",
System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + " " +
DateTime.Now.ToString("hh:mm", System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + "
h";
textBoxGravitacionaKonstanta.Text = "" + 9.81;

// pozivanje lokacije.x i lokacije.y (na tom mestu ce da se nalazi forma2) Location = new
System.Drawing.Point(Properties.Settings.Default.Form_Location.X,

```

```

Properties.Settings.Default.Form_Location.Y);

rezEnkodera=Convert.ToDouble(Properties.Settings.Default.EnkoderRez);
radioButtonDinamicki.Checked = true;
textBoxExcMasa.Enabled = true;

// }
// catch { }

brojObavestenja = 1;
obavestenja();
}
#endregion

#region Exit
private void toolStripMenuItemExitApp_Click(object sender, EventArgs e)
{
    /* Funkcija za zatvarane aplikacije */

    try
    {

        // ako pritisnemo da
        if (MessageBox.Show("Da li želite da zatvorite aplikaciju?", ">> Fizičko
        klatno <<", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question,
        MessageBoxDefaultButton.Button2)
        == DialogResult.Yes)
        {
            zaustavi = true;
            // comboBox ce cisti this.comboBoxCOMPort.Refresh();
            this.comboBoxCOMPort.Items.Clear();

            Thread.Sleep(50);
            // aplikacija se zatvara
            Application.Exit();

        }
    }
    catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
}
#endregion

#region FormClosed
private void Form1_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    try
    {

        zaustavi = true;
        Thread.Sleep(10);

    }
    catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
}
#endregion

#region FormClosing
private void Form1_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs e)
{
    /* Pamcenje lokacije.x i lokacije.Y forme */
    try
    {
        Properties.Settings.Default.Form_Location = new
        System.Drawing.Point(Location.X, Location.Y);
        Properties.Settings.Default.Save();
    }
}

```

```

catch { }
}
#endregion

#region UlazniParametriReadBaza
private void toolStripMenuItem9_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

Char[] delimiter = new Char[] { ':' };

PodaciBaza = Properties.Settings.Default.UlazniParametri.ToString();
odvojeniPodaciBaza = PodaciBaza.Split(delimiter);

if (odvojeniPodaciBaza.Length == 6)
{

masaTela = Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[0]); redDuzinaKlatna =
Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[1]); gravKonstanta =
Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[2]); momentInercije =
Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[3]); poluprLezaja =
Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[4]);
//excMasa = Convert.ToDouble(odvojeniPodaciBaza[5]);

textBoxMasaTela.Text = "" + masaTela;
textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text = "" + redDuzinaKlatna;
//textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text = "9.81";
textBoxMomentInercije.Text = "" + momentInercije;
textBoxPoluprecnikLezaja.Text = "" + poluprLezaja;
// textBoxExcMasa.Text = "" + excMasa;

}
else
{

MessageBox.Show("Ne postoje podaci u bazi podataka.", ">> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK);
}

}
catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
finally { groupBox1.Focus(); }
}
#endregion

#region UlazniParametriSaveBaza
private void toolStripMenuItem8_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

if (textBoxMasaTela.Text == "")
{
// snagaGrejaca = 0;
MessageBox.Show("Niste uneli *Masa tela.", " >> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); return;
}
else
{
masaTela = Convert.ToDouble(textBoxMasaTela.Text);
}
if (textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text == "")
{
// naponGrejaca = 0;
MessageBox.Show("Niste uneli *Redukovana dužina klatna .", " >>

```

```

Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); return;
}
else
{
redDuzinaKlatna = Convert.ToDouble(textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text);
}

if (textBoxMomentInercije.Text == "")
{
// snagaGrejaca = 0;
MessageBox.Show("Niste uneli *Moment inercije.", " >> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); return;
}
else
{
momentInercije = Convert.ToDouble(textBoxMomentInercije.Text);
}
if (textBoxPoluprecnikLezaja.Text == "")
{
// naponGrejaca = 0;
MessageBox.Show("Niste uneli *Poluprečnik ležaja.", " >> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); return;
}
else
{
poluprLezaja = Convert.ToDouble(textBoxPoluprecnikLezaja.Text);
}

Properties.Settings.Default.UlazniParametri = masaTela + ":" + redDuzinaKlatna
+ ":" + gravKonstanta + ":" + momentInercije + ":" + poluprLezaja + ":" +
"end"; Properties.Settings.Default.Save();

MessageBox.Show("Podaci su uspešno sačuvani u bazi podataka.", ">> Obaveštenje
<<",
MessageBoxButtons.OK);
}
catch { MessageBox.Show("Podaci nisu sačuvani u bazu podataka.\nProverite
ispravnost tipa podataka koje hoćete da sačuvate.", " >> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); }
finally { groupBox1.Focus(); }
}
#endregion

#region EkscentricnaMasaEnable
private void radioButtonDinamicki_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{
textBoxExcMasa.Enabled = true;
}
catch { }
}

private void radioButtonStaticki_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{
textBoxExcMasa.Enabled = false;
textBoxExcMasa.Text = "";
catch { }
}
#endregion

#region PortNames
private string[] OrderedPortNames()

```

```

{
int num;
return SerialPort.GetPortNames().OrderBy(a => a.Length > 3 &&
int.TryParse(a.Substring(3), out num) ? num : 0).ToArray();
}

private void RefreshComPortList()
{
string selected = RefreshComPortList(comboBoxCOMPort.Items.Cast<string>()),
comboBoxCOMPort.SelectedItem as string, sp.IsOpen);
if (!String.IsNullOrEmpty(selected))
{

comboBoxCOMPort.Items.Clear();
comboBoxCOMPort.Items.AddRange(OrderedPortNames());
comboBoxCOMPort.SelectedItem = selected;
}
}

#endregion

#region UcitatiCOMPort
private void toolStripMenuItemPortUcitati_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
try
{

RefreshComPortList();

}
catch { }
}
#endregion

#region imaNemaPorta

public void bojeProgresBar()
{
if (ImaPort == true)
{
toolStripProgressBar1.Value = 10;
}
else if (ImaPort == false)
{
toolStripProgressBar1.Value = 0;
}
}

#endregion

#region ZEDGRAPH

// liste za graph
LineItem kriva1;
PointPairList listaA = new PointPairList();

GraphPane mypane;
private void podesavanjeZedGraph()
{
/* Podesavanje zedGraph */

// kreiranje panela
mypane = zedGraphControl1.GraphPane;

mypane.Title.Text = " ";

```

```

// graf ce biti zelene boje
mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
mypane.XAxis.Title.Text = "Vreme [sek]";
mypane.YAxis.Title.Text = "Ugao [rad]";
// Y osa moze da se pomera
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;

// veca mreza je postavljena(za X ocu)
mypane.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
mypane.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva1 = mypane.AddCurve("Kriva", listA, Color.Green, SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva1.Line.Width = 1.0F;
//1.06F

kriva1.Line.IsVisible = false;
kriva1.Symbol.Border.IsVisible = false;
kriva1.Symbol.Fill = new Fill(Color.Green);
kriva1.Symbol.Size = 3.4F;
// kriva1.Line.IsAntiAlias = true;
//kriva1.Line.IsVisible = true;

// podesavanje X i Y ose
mypane.XAxis.Scale.Min = 0;
mypane.XAxis.Scale.Max = 10;
mypane.YAxis.Scale.Min = 0;
mypane.YAxis.Scale.Max = 200;

// podesavanje samog grafa(npr margine...)
zedGraphControl1.GraphPane.TitleGap = 0.02f;
zedGraphControl1.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
zedGraphControl1.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl1.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl1.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl1.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl1.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl1.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvrsili promene
zedGraphControl1.AxisChange();

}

private void zedGraphControl1_MouseClick(object sender, MouseEventArgs e)
{
    /* Opcija dobijanja podataka o kordinatama na grafu */
    try
    {
        // pozicija po x i y
        double pozX; double pozY;
        double x, y;
        // lokacija na grafu zedGraphControl1.GraphPane.ReverseTransform(e.Location, out x,
        out y);
        // na dve decimale
        pozX = Math.Round(x, 2);
        pozY = Math.Round(y, 2);
        // ubacivanje u string
        string text = string.Format("Koordinate:\nX : {0}\nY : {1}", pozX, pozY);
        // prikaz preko labela
        labelKoordinate.Text = text;
    }
}

```



```

}
catch {}
}

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
try
{

Scale Skala_X_Ose = zedGraphControl1.GraphPane.XAxis.Scale; Skala_X_Ose.Max
= timeB + Skala_X_Ose.MajorStep; Skala_X_Ose.Min = Skala_X_Ose.Max -
15;//pomeranjeA zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.Invalidate();

}
catch { }
}

#endregion

#region Potvrda
private void buttonPotvrda_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

if (pomNovoIspitivanjeA == true)
{
podaciUgao.Clear();
podaciVreme.Clear();

podaciY.Clear();
podaciX.Clear();

podaciKoeffTrenja.Clear();
podaciOptLezaja.Clear();
podaciUgaonaBrz.Clear();

podaciDifUgao.Clear();
podaciDifVreme.Clear();
podaciUgaonoUbrz.Clear();

podaciBrzKlizanja.Clear();

panelGraph1.Refresh(); listA.Clear();
zedGraphControl1.Refresh();
panelGraph1.Refresh();
//krival.Clear();
k = 0;m = 0;s = 0;
ugaoA = 0; ugaoB = 0;
timeB = 0;

podaciX.Add(0.000);
podaciY.Add(0.000);

if (MessageBox.Show("Da li ste sigurni da želite da nastavite dalje?", ">> Ulazni podaci
<<", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question, MessageBoxDefaultButton.Button2) ==
DialogResult.Yes)
{
masaTela = Convert.ToDouble(textBoxMasaTela.Text);
if (masaTela < 0)
{
MessageBox.Show("Uneta vrednost za masu tela nije u odgovarajućoj
formi,\n pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);
textBoxMasaTela.Text = "";

```

```

return;
}
if (radioButtonDinamicki.Checked == true)
{
excMasa = Convert.ToDouble(textBoxExcMasa.Text);
if (excMasa < 0)
{
MessageBox.Show("Uneta vrednost za ekscentrična masu nije u odgovarajućoj formi,\n
pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
textBoxExcMasa.Text = "";
return;
}
}

redDuzinaKlatna =
Convert.ToDouble(textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Tex
t);
if (redDuzinaKlatna < 0)
{
MessageBox.Show("Uneta vrednost za redukovanu dužinu klatna nije u odgovarajućoj formi,\n
pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text = "";
return;
}
gravKonstanta = Convert.ToDouble(textBoxGravitacionaKonstanta.Text);
momentInercije = Convert.ToDouble(textBoxMomentInercije.Text);
if (momentInercije < 0)
{
MessageBox.Show("Uneta vrednost za moment inercije nije u
odgovarajućoj formi,\n pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
textBoxMomentInercije.Text = "";
return;
}
}
poluprLezaja = Convert.ToDouble(textBoxPoluprecnikLezaja.Text);
if (poluprLezaja < 0)
{
MessageBox.Show("Uneta vrednost za poluprečnik ležaja nije u odgovarajućoj formi,\n
pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
textBoxPoluprecnikLezaja.Text = "";
return;
}
}
if(radioButtonDinamicki.Checked == true) { opcijaDinStat = 1; }
if(radioButtonStaticki.Checked == true) { opcijaDinStat = 2; } datumTestiranja =
textBoxDatumTestiranja.Text; ispitivanjeUradili = textBoxIspitivanjeUradili.Text;

podesavanjeZedGraph();

panelGraph1.Visible = true;
buttonStart.Enabled = true;

toolStripMenuItem9.Enabled = false;
toolStripMenuItem8.Enabled = false;

}
}
else
{
brojObavestenja = 2;
obavestenja();
MessageBox.Show("Zatvorite izveštaj i pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje
<<", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);
return;
}
}

```

```

}
catch
{
textBoxMasaTela.Text = "";
textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text = "";
textBoxMomentInercije.Text = "";
textBoxPoluprecnikLezaja.Text = "";
textBoxIspitivanjeUradili.Text = "";
textBoxExcMasa.Text = "";

toolStripMenuItem9.Enabled = true;
toolStripMenuItem8.Enabled = true;

MessageBox.Show("Unete vrednosti nisu u odgovarajućoj formi,\n pokušajte ponovo!", ">> Obaveštenje <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);

}
}
#endregion

#region OsveziVreme
private void buttonVremeOsvezi_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

textBoxDatumTestiranja.Text = DateTime.Now.ToString("dd/MM/yyyy",
System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + " " +
DateTime.Now.ToString("hh:mm",
System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + " h";
groupBox1.Focus();
}
catch { }
}
#endregion

#region UcitatiCOMPort
private void toolStripMenuItem5_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

RefreshComPortList();
catch { }

// otvoren port i podesavamo serialPort //

sp.Close();
// dal li se port moze otvoriti if
(!sp.IsOpen)
{
// otvoren port i podesavamo serialPort try
{

!= -1)
if (comboBoxCOMPort.SelectedIndex != -1 & comboBoxBaudRate.SelectedIndex

{

// brzina prenosa
sp.BaudRate = Convert.ToInt32(comboBoxBaudRate.Text);
sp.DataBits = 8;
sp.StopBits = (StopBits)Enum.Parse(typeof(StopBits), "One");
sp.Parity = (Parity)Enum.Parse(typeof(Parity), "None");

```

```

// služi kod ostvarivanja konekcije.Služi za potvrđivanje da su obe strane povezane
i da se podaci mogu poslati i primiti
sp.Handshake = (Handshake)Enum.Parse(typeof(Handshake), "None");
sp.PortName = comboBoxCOMPort.Text;
sp.ReadTimeout = 500;

zaustavi = false;

toolStripMenuItem5.Enabled = false;
toolStripMenuItem6.Enabled = true;
comboBoxCOMPort.Enabled = false;
comboBoxBaudRate.Enabled = false;

ImaPort = true;

// port visible bojeProgresBar();

sp.Open(); System.Threading.Thread.Sleep(100);
sp.Write("d"); sp.WriteLine("1");
sp.WriteLine(":");
}
else { MessageBox.Show("Podesite ispravno sve parametre serijskog komunikacionog
porta.", " >> Komunikacija << ", MessageBoxButtons.OK); }

}
catch
{
ImaPort = false;
bojeProgresBar();

toolStripMenuItem5.Enabled = true;
toolStripMenuItem6.Enabled = false;
comboBoxCOMPort.Enabled = true;
comboBoxBaudRate.Enabled = true;

MessageBox.Show("Uspostavite komunikaciju između mašine i računara.", ">> Komunikacija <<",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Stop);

}
}

}
#endregion

#region SerialPortStop
private void toolStripMenuItem6_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

this.Invoke(new EventHandler(delegate
{
zaustavi = true;
System.Threading.Thread.Sleep(10);
sp.Close(); ImaPort = false;
bojeProgresBar();

toolStripMenuItem5.Enabled = true;
toolStripMenuItem6.Enabled = false;
comboBoxCOMPort.Enabled = true;
comboBoxBaudRate.Enabled = true;

})));
}
catch

```

```

{
toolStripMenuItem5.Enabled = false;
toolStripMenuItem6.Enabled = true;
comboBoxCOMPort.Enabled = false;
comboBoxBaudRate.Enabled = false;
#region StartPrenosPodataka
private void buttonStart_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

//podaciUgao.Add(0.000);
//podaciVreme.Add(0.000);

buttonStart.Enabled = false; buttonStop.Enabled =
true; buttonStop.Focus();
buttonNapraviIzvestaj.Enabled = false;
buttonClear.Enabled = false; buttonUgao0deg.Enabled =
true;

//comboBoxCOMPort.Enabled = false;
//comboBoxBaudRate.Enabled = false;
toolStripMenuItem5.Enabled = false;
toolStripMenuItem6.Enabled = false;

toolStripMenuItem4.Enabled = false;

zedGraphControl1.Refresh();
// pozivanje funkcije
//listA.Clear(); zedGraphControl1.Refresh();
zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.RestoreScale(mypane);

brojObavestenja = 3;
obavestenja();

sp.Write("b"); sp.WriteLine("1");
sp.WriteLine(":");

// timeTick = Environment.TickCount;
timer1.Enabled = true;
}
catch
{

buttonStart.Enabled = true; buttonStop.Enabled =
false; comboBoxCOMPort.Enabled = true;
comboBoxBaudRate.Enabled = true;
toolStripMenuItem5.Enabled = true;
toolStripMenuItem6.Enabled = true;
toolStripMenuItem4.Enabled = true;
buttonUgao0deg.Enabled = false;

brojObavestenja = 2;
obavestenja();

MessageBox.Show("Upostavite komunikaciju između mašine i računara.", ">> Komunikacija
<<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Stop);
ImaPort = false;
bojeProgresBar();

}
}
#endregion

```

```

#region StopPrenosPodataka
private void buttonStop_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        sp.Write("b"); sp.WriteLine("0");
        sp.WriteLine(":");

        System.Threading.Thread.Sleep(50);
        //zaustavi = true; timeB = 0;
        timer1.Enabled = false;

        buttonStart.Enabled = true; buttonStart.Focus();
        buttonStop.Enabled = false;
        buttonNapraviIzvestaj.Enabled = true;
        buttonClear.Enabled = true; buttonUgao0deg.Enabled =
        false;

        s = 0;

        //comboBoxCOMPort.Enabled = true;
        //comboBoxBaudRate.Enabled = true;
        //toolStripMenuItem5.Enabled = true;
        toolStripMenuItem6.Enabled = true;

        toolStripMenuItem4.Enabled=true;
        toolStripMenuItem7.Enabled = true;

        zedGraphControl1.Refresh();
        zedGraphControl1.AxisChange();
        zedGraphControl1.RestoreScale(mypane);

        brojObavestenja = 4;
        obavestenja();

    }
    catch
    {
        buttonStart.Enabled = true; buttonStop.Enabled =
        false; comboBoxCOMPort.Enabled = true;
        comboBoxBaudRate.Enabled = true;
        toolStripMenuItem5.Enabled = true;
        toolStripMenuItem6.Enabled = true;
        buttonUgao0deg.Enabled = false;

        //MessageBox.Show("Uspostavite komunikaciju između mašine i računara.", ">>
        Komunikacija <<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Stop);
        ImaPort = false;
        bojeProgresBar();
    }
}
#region DataReceived

#region ListePromenjive

//liste za podatke
public static List<double> podaciUgao = new List<double>();
public static List<double> podaciVreme = new List<double>();

public static List<double> podaciDifUgao = new List<double>(); public
static List<double> podaciDifVreme = new List<double>(); public static
List<double> podaciUgaonaBrz = new List<double>(); public static
List<double> podaciUgaonoUbrz = new List<double>();

public static List<double> podaciKoeffTrenja = new List<double>();
public static List<double> podaciOptLezaja = new List<double>();

```

```

public static List<double> podaciBrzKlizeanja = new List<double>();

public static List<double> podaciX = new List<double>(); //rezervna public
static List<double> podaciY = new List<double>(); //rezervna double x, y;
//serijska komunikacija
int bytes, z; byte[]
buffer; int nbrDataRead;
bool error = false;

double ugaoA = 0,ugaoB=0;
int k = 0, m = 0;
double s = 0;

#endregion

private void sp_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
#region OpenClosePort

if (zaustavi == true)
{
sp.Close(); Thread.Sleep(100);
zaustavi = false;
}

// ako port nije otvoren if
(!sp.IsOpen)
return;

#endregion

#region buffer

try
{

}

bytes = sp.BytesToRead;
buffer = new byte[bytes];
nbrDataRead = sp.Read(buffer, 0, bytes);
if (nbrDataRead == 0)
return;
catch (IOException) { error = true; }
catch (ArgumentNullException) { error = true; } catch
(InvalidOperationException) { error = true; } catch
(ArgumentOutOfRangeException) { error = true; } catch
(ArgumentException) { error = true; }
catch (TimeoutException) { error = true; }
if (error == true)
{
MessageBox.Show("Došlo je do greške pri prenosu podataka", ">> Obaveštenje
<<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
}

#endregion

#region Podaci
//...
#endregion
}
#endregion

#region Clear
private void buttonClear_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

{
try
{

// comboBox se cisti
this.comboBoxCOMPort.Refresh();
this.comboBoxCOMPort.Items.Clear();
podaciUgao.Clear(); podaciVreme.Clear();

podaciKoeffTrenja.Clear();
podaciOptLezaja.Clear();
podaciUgaonaBrz.Clear();

podaciDifUgao.Clear();
podaciDifVreme.Clear();
podaciUgaonoUbrz.Clear();

podaciY.Clear();
podaciX.Clear();

// praznjenje liste za zedGraph;
zedGraphControl1.GraphPane.CurveList.Clear(); listA.Clear();
kriva1.Clear();
// zedGraph ciscenje
zedGraphControl1.Refresh();
// pozivanje funkcije
podesavanjeZedGraph();

timeB = 0;
k = 0; m = 0; s = 0;

ugaoA = 0;
ugaoB = 0;

podaciUgao.Add(0.000);
podaciVreme.Add(0.000);

zedGraphControl1.Refresh();
zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.RestoreScale(mypane);

System.Threading.Thread.Sleep(50);
}
catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
}
#endregion

#region RestartUgao
private void buttonUgao0deg_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

sp.Write("a"); sp.WriteLine("1");
sp.WriteLine(":");

System.Threading.Thread.Sleep(10);
catch
{
MessageBox.Show("Uspostavite komunikaciju između mašine i računara.", ">> Komunikacija
<<", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Stop);
}
}
#endregion

```



```

#region NapraviIzvestaj
private void buttonNapraviIzvestaj_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        for (Int32 i = 0; i < podaciX.Count; i++)
        {
            podaciUgao.Add(podaciY[i]);
            podaciVreme.Add(podaciX[i]);
        }

        //System.Threading.Thread.Sleep(100);
        zedGraphControl1.GraphPane.CurveList.Clear(); kriva1.Clear();
        listA.Clear();
        zedGraphControl1.Refresh();
        //podesavanjeZedGraph();

        // panelGraph1.Visible = false;

        textBoxMasaTela.Focus(); buttonStart.Enabled = false;
        buttonStop.Enabled = false;
        buttonNapraviIzvestaj.Enabled = false;
        buttonClear.Enabled = false; buttonUgao0deg.Enabled =
        false;

        toolStripMenuItem9.Enabled = true;
        toolStripMenuItem8.Enabled = true;

        textBoxMasaTela.Text = "";
        textBoxRedukovanaDuzinaKlatna.Text = "";
        textBoxMomentInercije.Text = "";
        textBoxPoluprecnikLezaja.Text = "";
        textBoxDatumTestiranja.Text = DateTime.Now.ToString("dd/MM/yyyy",
        System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + " " +
        DateTime.Now.ToString("hh:mm", System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + "
        h";
        textBoxIspitivanjeUradili.Text = "";
        textBoxExcMasa.Text = "";

        FormIzveštaj I1 = new FormIzveštaj(); I1.Show();
        pomNovoIspitivanjeA = false;

        panelGraph1.Visible = false;

        brojObavestenja = 1;
        obavestenja();

        //System.Threading.Thread.Sleep(100);
    }
    catch (Exception ex) { MessageBox.Show(ex.Message); }
}
#endregion

////////////////////////////////////

#region OsnovnaPodsavanja
private void toolStripMenuItem4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {

    }

}

```

```

Form fp = new FormPodesavanja();
fp.Show();
catch { }
}
#endregion

#region VremeLoad int
pom_e = 0;
private void timer2_Tick(object sender, EventArgs e)
{
pom_e++; groupBox6.Focus();
if (pom_e < 10)
{
timer2.Enabled = false;
pom_e = 0;
}
}
#endregion

#region Focus
private void comboBoxBaudRate_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{

groupBox1.Focus();
catch { }
}

private void comboBoxCOMPort_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

groupBox1.Focus();
catch { }
}
}
#endregion

```

** FORMA IZVEŠTAJ **

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
//using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

using
iTextSharp.text.pdf;
using iTextSharp.text;
using System.IO;
//////////
using ZedGraph;

using System.Globalization;
using OfficeOpenXml;
using OfficeOpenXml.Style;
using System.Drawing.Drawing2D;

namespace Fizičko_klatno_ap
{
    public partial class FormIzveštaj : Form
    {
        #region Initialize public
        FormIzveštaj()
        {
            InitializeComponent();

            text0 = @"Ulazni podaci za određivanje koeficijenta trenja:";

            //////////////////////////////////////
            text1 = @"Masa tela [m]: "; text1_1 = Form1.masaTela.ToString() + " " + "kg";
            if (String.Compare(Form1.masaTela.ToString(), "") == 0)
            {
                text1_1 = "-";
            }
            text2 = @"Redukovana dužina klatna [Lt]: "; text2_2 =
            Form1.redDuzinaKlatna.ToString() + " " + "m";
            if (String.Compare(Form1.redDuzinaKlatna.ToString(), "") == 0)
            {
                text2_2 = "-";
            }
            text3 = @"Gravitaciona konstanta [g]: "; text3_3 = Form1.gravKonstanta.ToString()
            + " " + "m/s2";
            if (String.Compare(Form1.gravKonstanta.ToString(), "") == 0)
            {
                text3_3 = "-";
            }

            //////////////////////////////////////
            //
            //
            + "kgm2";
            text4 = @"Moment inercije [J]: "; text4_4 = Form1.momentInercije.ToString() + " "

            if (String.Compare(Form1.momentInercije.ToString(), "") == 0)
            {
                text4_4 = "-";

            + "m";
```

```

text5 = @"Poluprečnik ležaja [r]: "; text5_5 = Form1.poluprLezaja.ToString() + " "
if (String.Compare(Form1.poluprLezaja.ToString(), "") == 0)
{
text5_5 = "-";
}
text6= @"Datum testiranja: "; text6_6 = DateTime.Now.ToString("dd/MM/yyyy",
System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + " " +
DateTime.Now.ToString("hh:mm", System.Globalization.DateTimeFormatInfo.InvariantInfo) + "
h";

////////////////////////////////////
//
////////////////////////////////////
//
////////////////////////////////////
text7 = @"Ispitivanje uradili:"; text7_7 = Form1.ispitivanjeUradili.ToString();
if (String.Compare(Form1.ispitivanjeUradili.ToString(), "") == 0)
{
text7_7 = "-";
}
text8 = "-";// komentar
}
#endregion

#region Pocetni podaci

String text0; String text0_0;
////////////////////////////////////
String text1; String text1_1;
String text2; String text2_2;
String text3; String text3_3;
////////////////////////////////////
String text4; String text4_4; String
text5; String text5_5; String text6;
String text6_6;
//////////////////////////////////// String
text7; String text7_7;//operater String
text8; String text8_8;//komentar

#endregion

#region tabele

DataTable tabela1()
{
//Create friend table object DataTable
tab1 = new DataTable(); try
{
//Define columns
tab1.Columns.Add(text1);
tab1.Columns.Add(text2);
tab1.Columns.Add(text3);
DataTable tabela2()
{
//Create friend table object DataTable tab2 =
new DataTable(); try
{
//Define columns
tab2.Columns.Add(text4);
tab2.Columns.Add(text5);
tab2.Columns.Add(text6);

//Populate with friends :)
tab2.Rows.Add(text4_4, text5_5, text6_6);

```

```

}
catch { }
return tab2;
}
#endregion

text8)
#region Izrada_PDF
public void napraviIzvestaj(String docPdf, DataTable tab1, DataTable tab2, string

{
System.IO.FileStream fs = new FileStream(docPdf, FileMode.CreateNew,
FileAccess.Write, FileShare.None);
Document document = new Document();
document.SetPageSize(iTextSharp.text.PageSize.A4); PdfWriter writer
= PdfWriter.GetInstance(document, fs); document.Open();

//slika
var charname0 = new System.IO.MemoryStream(); pictureBoxFIN_KG.Image.Save(charname0,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif); iTextSharp.text.Image graph0 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname0.GetBuffer());
graph0.ScalePercent(31.9f);//21.9
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
//graph0.ScaleAbsolute(530f, 350f);
graph0.Alignment = Element.ALIGN_LEFT;
document.Add(graph0);

//razmak novi red
BaseFont NoviRed = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,
BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font fontNoviRed = new Font(NoviRed, 16, 1, Color.BLACK); Paragraph
parNoviRed = new Paragraph();
String texNoviRed = "\n";
parNoviRed.Alignment = Element.ALIGN_CENTER; parNoviRed.Add(new
Chunk(texNoviRed.ToUpper(), fontNoviRed)); document.Add(parNoviRed);

//naslov
BaseFont Naslov = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,
BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font fontNaslov = new Font(Naslov, 16, 1, Color.BLACK); Paragraph
parNaslov = new Paragraph();
String texNaslov = "Izveštaj o ispitivanju koeficijenta trenja u ležaju";
parNaslov.Alignment = Element.ALIGN_CENTER;
parNaslov.Add(new Chunk(texNaslov.ToUpper(), fontNaslov));
document.Add(parNaslov);

// font novi red 2
BaseFont NoviRed2 = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,
BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font fontNoviRed2 = new Font(NoviRed2, 8, 2, Color.GRAY);

//Dodavanje linije
Paragraph p = new Paragraph(new Chunk(new iTextSharp.text.pdf.draw.LineSeparator(0.0F,
100.0F, Color.GRAY, Element.ALIGN_LEFT, 1)));
document.Add(p);

//Novi red
document.Add(new Chunk("\n", fontNaslov));

//za standard izabrani font
BaseFont format = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,

```

```

BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font podebljano = new Font(format, 14, 1, Color.BLACK); Font
nePodebljano = new Font(format, 12, 4, Color.BLACK);

//standard unos
Paragraph p1 = new Paragraph(); Phrase
phrse_p1 = new Phrase();
Chunk c1 = new Chunk(text0, podebljano);
phrse_p1.Add(c1);
p1.Alignment = Element.ALIGN_CENTER;
p1.Add(phrse_p1);
document.Add(p1);

document.Add(new Chunk("\n", fontNoviRed2));

false);
// za tabele
BaseFont TabelaKolona = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,

// Font fontTabelaKolona = new Font(TabelaKolona, 10.1f,0, Color.WHITE);

BaseFont bf = BaseFont.CreateFont(@"C:\WINDOWS\FONTS\TIMES.TTF",
BaseFont.IDENTITY_H, false);
Font fontTabelaKolona = new Font(bf, 9.8f, 0, Color.WHITE);

// Font font8 = FontFactory.GetFont("ARIAL", 10f);
// Font fontTabelaKolona1 = FontFactory.GetFont("Times New Roman", 9f);

// BaseFont TabelaVrste = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN,
BaseFont.CP1250, false);
// Font fontTabelaVrste = new Font(TabelaVrste, 9.8f);

BaseFont TabelaVrste = BaseFont.CreateFont(@"C:\WINDOWS\FONTS\TIMES.TTF",
BaseFont.IDENTITY_H, false);
Font fontTabelaVrste = new Font(TabelaVrste, 9.5f);

PdfPTable table1 = new PdfPTable(tab1.Columns.Count);

for (int i = 0; i < tab1.Columns.Count; i++)
{
PdfPCell cell = new PdfPCell();
cell.Top = 1f;

cell.HorizontalAlignment = Element.ALIGN_CENTER;
cell.VerticalAlignment = Element.ALIGN_CENTER;
cell.BackgroundColor = Color.GRAY;
cell.AddElement(new Chunk(tab1.Columns[i].ColumnName.ToString(),
fontTabelaKolona));
table1.AddCell(cell);
}
for (int i = 0; i < tab1.Rows.Count; i++)
{
for (int j = 0; j < tab1.Columns.Count; j++)
{

fontTabelaVrste));
}
// table1.AddCell(tab1.Rows[i][j].ToString());
table1.AddCell(new PdfPCell(new Phrase(tab1.Rows[i][j].ToString(),
}

document.Add(table1);

```

```

// razmak izmedju novih tabela
BaseFont NoviRedTabele = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN,
BaseFont.CP1250, BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font fontNoviRedTabele = new Font(NoviRedTabele, 8, 1, Color.BLACK); Paragraph
parNoviRedTabele = new Paragraph();
String textNoviRedTabele = "\n";
parNoviRedTabele.Alignment = Element.ALIGN_CENTER;
parNoviRedTabele.Add(new Chunk(textNoviRedTabele.ToUpper(), fontNoviRedTabele));
document.Add(parNoviRedTabele);

PdfPTable table2 = new PdfPTable(tab2.Columns.Count);

for (int i = 0; i < tab2.Columns.Count; i++)
{
PdfPCell cell2 = new PdfPCell(); cell2.Top = 1f;
cell2.BackgroundColor = Color.GRAY;
cell2.AddElement(new Chunk(tab2.Columns[i].ColumnName.ToString(),
fontTabelaKolona));
table2.AddCell(cell2);
}
for (int i = 0; i < tab2.Rows.Count; i++)
{
for (int j = 0; j < tab2.Columns.Count; j++)
{

fontTabelaVrste));
}
// table2.AddCell(tab2.Rows[i][j].ToString());
table2.AddCell(new PdfPCell(new Phrase(tab2.Rows[i][j].ToString(),
}

document.Add(table2);

//novi red document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);

false);
BaseFont Komentar = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250, Font
fontKomentar = new Font(Komentar, 12f);

//zedgraph slika
var charname = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl1.GetImage().Save(charname,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);
iTextSharp.text.Image graph =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0f, 80.0f);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
// document.Add(parNoviRedTabele);
// document.Add(parNoviRedTabele);
// document.Add(parNoviRedTabele);

//za standard izabrani font

```

```

BaseFont format1 = BaseFont.CreateFont(BaseFont.TIMES_ROMAN, BaseFont.CP1250,
BaseFont.NOT_EMBEDDED);
Font podebljano1 = new Font(format1, 14, 1, Color.BLACK); Font
nePodebljano1 = new Font(format1, 12, 2, Color.BLACK);

//zedgraph slika 2
var charname2 = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl2.GetImage().Save(charname2,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);
iTextSharp.text.Image graph2 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname2.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph2.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph2.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph2);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);

//zedgraph slika 3
var charname3 = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl3.GetImage().Save(charname3,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);
iTextSharp.text.Image graph3 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname3.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph3.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph3.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph3);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
// document.Add(parNoviRedTabele);

//zedgraph slika 4
var charname4 = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl4.GetImage().Save(charname4,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);
iTextSharp.text.Image graph4 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname4.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph4.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph4.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph4);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
// document.Add(parNoviRedTabele);

//zedgraph slika 5
var charname5 = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl5.GetImage().Save(charname5,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);

```



```

iTextSharp.text.Image graph5 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname5.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph5.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph5.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph5);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);

//zedgraph slika 6
var charname6 = new System.IO.MemoryStream();
zedGraphControl6.GetImage().Save(charname6,
System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Gif);
iTextSharp.text.Image graph6 =
iTextSharp.text.Image.GetInstance(charname6.GetBuffer());
//graph.ScalePercent(0.9f);
//graph.SetAbsolutePosition(50.0F, 80.0F);
// graph.ScalePercent(0.9f,0.9f);
graph6.ScaleAbsolute(530f, 310f); graph6.Alignment =
Element.ALIGN_CENTER; document.Add(graph6);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);

// Komentar
Paragraph p6 = new Paragraph(); Phrase
phrse_p6 = new Phrase();
Chunk c6 = new Chunk("Komentar: \n\n", podebljano1);
Chunk c66 = new Chunk(text8, fontKomentar);
phrse_p6.Add(c6);
phrse_p6.Add(c66);
p6.Alignment = Element.ALIGN_LEFT;
p6.Add(phrse_p6);
document.Add(p6);

document.Add(parNoviRedTabele);
document.Add(parNoviRedTabele);

// ko je vrsio merenja
Paragraph p2 = new Paragraph(); Phrase
phrse_p2 = new Phrase();
Chunk c2 = new Chunk(text7, podebljano1); Chunk c21 = new
Chunk("\n", nePodebljano1); Chunk c22 = new
Chunk(text7_7, fontKomentar); phrse_p2.Add(c2);
phrse_p2.Add(c21);
phrse_p2.Add(c22);
p2.Alignment = Element.ALIGN_MIDDLE;
p2.Add(phrse_p2);
document.Add(p2);

document.Add(parNoviRedTabele);

document.Close();
writer.Close(); fs.Close();

}
#endregion

```

```
////////////////////////////////////
```

```
#region zedgraph
```

```
LineItem kriva1, kriva2, kriva3, kriva4, kriva5, kriva6;
```

```
PointPairList listA = new PointPairList();  
PointPairList listB = new PointPairList();  
PointPairList listC = new PointPairList();  
PointPairList listD = new PointPairList();  
PointPairList listE = new PointPairList();  
PointPairList listF = new PointPairList();
```

```
GraphPane mypane;  
GraphPane mypane2;  
GraphPane mypane3;  
GraphPane mypane4;  
GraphPane mypane5;  
GraphPane mypane6;
```

```
private void podesavanjeZedGraphA()
```

```
{
```

```
/* Podesavanje zedGraph */
```

```
// kreiranje panela
```

```
mypane = zedGraphControl1.GraphPane;
```

```
mypane.Title.Text = "";
```

```
// graf ce biti zelene boje
```

```
mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
```

```
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
```

```
mypane.XAxis.Title.Text = "Vreme [sec]";
```

```
mypane.YAxis.Title.Text = "Koeficijent trenja";
```

```
// Y osa moze da se pomera
```

```
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;
```

```
// veca mreza je postavljena(za X ocu)
```

```
mypane.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
```

```
// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
```

```
mypane.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
```

```
// kreiranje kriva
```

```
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
```

```
kriva1 = mypane.AddCurve("Kriva A", listA, System.Drawing.Color.Green,  
SymbolType.Diamond);
```

```
// debljina signala kriva1.Line.Width = 1.0F;
```

```
//1.06F
```

```
kriva1.Line.IsVisible = false;
```

```
kriva1.Symbol.Border.IsVisible = false;
```

```
kriva1.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.Green);
```

```
kriva1.Symbol.Size = 3.4F;
```

```
// kriva1.Line.IsAntiAlias = true;
```

```
// kriva1.Line.IsVisible = true;
```

```
// podesavanje samog grafa(npr margine...)
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
```

```
zedGraphControl1.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
```

```

zedGraphControl1.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl1.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvršili promene
zedGraphControl1.AxisChange();

}

public void crtajZedgraphA()
{
try
{

for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciKoeffTrenja.Count; i++)
{
listA.Add(Form1.podaciVreme[i], Form1.podaciKoeffTrenja[i]);
}

zedGraphControl1.SetScrollRangeFromData();
zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.Invalidate(); zedGraphControl1.Refresh();
}
catch { }

}

private void podesavanjeZedGraphB()
{
/* Podesavanje zedGraph */

// kreiranje panela
mypane2 = zedGraphControl2.GraphPane;

mypane2.Title.Text = "";
// graf ce biti zelene boje
mypane2.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
mypane2.XAxis.Title.Text = "Vreme [sec]"; mypane2.YAxis.Title.Text =
"Normalna sila [N]";
// Y osa moze da se pomera
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;

// veca mreza je postavljena(za X ocu)
mypane2.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
mypane2.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva2 = mypane2.AddCurve("Kriva B", listB, System.Drawing.Color.Red,
SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva2.Line.Width
= 1.0f;

kriva2.Line.IsVisible = false; kriva2.Symbol.Border.IsVisible =
false; kriva2.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.Red);
kriva2.Symbol.Size = 3.4f;
// kriva2.Line.IsAntiAlias = true;
// kriva2.Line.IsVisible = true;

// podesavanje samog grafa(npr margine....)

```

```

zedGraphControl2.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
zedGraphControl2.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
zedGraphControl2.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl2.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl2.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl2.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl2.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl2.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvršili promene
zedGraphControl2.AxisChange();
}

public void crtajZedgraphB()
{
try
{

for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciOptLezaja.Count; i++)
{
listB.Add(Form1.podaciVreme[i], Form1.podaciOptLezaja[i]);
}

zedGraphControl2.SetScrollRangeFromData();
zedGraphControl2.AxisChange();
zedGraphControl2.Invalidate(); zedGraphControl2.Refresh();
}
catch { }

}

private void podesavanjeZedGraphC()
{
/* Podesavanje zedGraph */

// kreiranje panela
mypane3 = zedGraphControl3.GraphPane;

mypane3.Title.Text = "";
// graf ce biti zelene boje
mypane3.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
mypane3.XAxis.Title.Text = "Vreme [sec]"; mypane3.YAxis.Title.Text =
"Ugaona brzina [rad/s]";
// Y osa moze da se pomera
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;

// veca mreza je postavljena(za X ocu)
mypane3.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
mypane3.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva3 = mypane3.AddCurve("Kriva C", listC, System.Drawing.Color.Blue,
SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva3.Line.Width
= 1.0f;

kriva3.Line.IsVisible = false;
kriva3.Symbol.Border.IsVisible = false;
kriva3.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.Blue);

```

```

kriva3.Symbol.Size = 3.4F;
// kriva3.Line.IsAntiAlias = true;
// kriva3.Line.IsVisible = true;

// podesavanje samog grafa(npr margine...)
zedGraphControl3.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
zedGraphControl3.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;

zedGraphControl3.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl3.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl3.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl3.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl3.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl3.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvrsili promene
zedGraphControl3.AxisChange();

}

public void crtajZedgraphC()
{
try
{
for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciUgaonaBrz.Count; i++)
{
listC.Add(Form1.podaciVreme[i], Form1.podaciUgaonaBrz[i]);
}

zedGraphControl3.SetScrollRangeFromData();
zedGraphControl3.AxisChange();
zedGraphControl3.Invalidate(); zedGraphControl3.Refresh();
}
catch { }

}

private void podesavanjeZedGraphD()
{
/* Podesavanje zedGraph */

// kreiranje panela
mypane4 = zedGraphControl4.GraphPane;

mypane4.Title.Text = "";
// graf ce biti zelene boje
mypane4.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
mypane4.XAxis.Title.Text = "Vreme [sec]"; mypane4.YAxis.Title.Text =
"Ugaono ubrzanje [rad/s2]";
// Y osa moze da se pomera
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;

// veca mreza je postavljena(za X ocu)
mypane4.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
mypane4.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva4 = mypane4.AddCurve("Kriva D", listD, System.Drawing.Color.IndianRed,
SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva4.Line.Width

```

```

= 1.0F;
kriva4.Line.IsVisible = false;
kriva4.Symbol.Border.IsVisible = false;
kriva4.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.IndianRed);
kriva4.Symbol.Size = 3.4F;
    // kriva4.Line.IsAntiAlias = true;
    // kriva4.Line.IsVisible = true;

// podesavanje samog grafa(npr margine...)
zedGraphControl4.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
zedGraphControl4.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
zedGraphControl4.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl4.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl4.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl4.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl4.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl4.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvršili promene
zedGraphControl4.AxisChange();

}

public void crtajZedgraphD()
{
    try
    {

        for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciUgaonoUbrz.Count; i++)
        {
            listD.Add(Form1.podaciVreme[i], Form1.podaciUgaonoUbrz[i]);
        }

        zedGraphControl4.SetScrollRangeFromData();
        zedGraphControl4.AxisChange();
        zedGraphControl4.Invalidate(); zedGraphControl4.Refresh();
    }
    catch { }

}

private void podesavanjeZedGraphE()
{
    /* Podesavanje zedGraph */

    // kreiranje panela
    mypane5 = zedGraphControl5.GraphPane;

    mypane5.Title.Text = "";
    // graf ce biti zelene boje
    mypane5.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
    // mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
    mypane5.XAxis.Title.Text = "Koefficient trenja"; mypane5.YAxis.Title.Text =
    "Normalna Sila [N]";
    // Y osa moze da se pomera
    // mypane.YAxis.Cross = 0.0;

    // veca mreza je postavljena(za X ocu)
    mypane5.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
    // veca mreza je postavljena(za Y ocu)
    mypane5.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

```

```

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva5 = mypane5.AddCurve("Kriva E", listE, System.Drawing.Color.MediumOrchid,
SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva5.Line.Width
= 1.0F;

kriva5.Line.IsVisible = false;
kriva5.Symbol.Border.IsVisible = false;
kriva5.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.MediumOrchid);
kriva5.Symbol.Size = 3.4F;
// kriva5.Line.IsAntiAlias = true;
// kriva5.Line.IsVisible = true;

// podesavanje samog grafa(npr margine...)
zedGraphControl5.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
zedGraphControl5.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
zedGraphControl5.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl5.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl5.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl5.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl5.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl5.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvršili promene
zedGraphControl5.AxisChange();

}

public void crtajZedgraphE()
{
try
{

for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciKoeffTrenja.Count; i++)
{
listE.Add(Form1.podaciKoeffTrenja[i], Form1.podaciOptLezaja[i]);
}

zedGraphControl5.SetScrollRangeFromData();
zedGraphControl5.AxisChange();
zedGraphControl5.Invalidate(); zedGraphControl5.Refresh();
}
catch { }

}

private void podesavanjeZedGraphF()
{
//Podesavanje zedGraph //

// kreiranje panela
mypane6 = zedGraphControl6.GraphPane;

mypane6.Title.Text = "";
// graf ce biti zelene boje
mypane6.Fill.Color = System.Drawing.Color.LightGray;
// mypane.Fill.Color = System.Drawing.Color.MediumSpringGreen;
mypane6.XAxis.Title.Text = "Brzina klizanja [rad/s]";
mypane6.YAxis.Title.Text = "Koeficijent trenja";
// Y osa moze da se pomera
// mypane.YAxis.Cross = 0.0;

```

```

// veca mreza je postavljena(za X ocu)
mypane6.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// veca mreza je postavljena(za Y ocu)
mypane6.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;

// kreiranje kriva
// ime signala,lista,boja signala i oblik signala
kriva6 = mypane6.AddCurve("Kriva F", listF, System.Drawing.Color.MediumOrchid,
SymbolType.Diamond);

// debljina signala kriva6.Line.Width
= 1.0F;

kriva6.Line.IsVisible = false;
kriva6.Symbol.Border.IsVisible = false;
kriva6.Symbol.Fill = new Fill(System.Drawing.Color.MediumOrchid);
kriva6.Symbol.Size = 3.4F;
// kriva5.Line.IsAntiAlias = true;
// kriva5.Line.IsVisible = true;

// podesavanje samog grafa(npr margine....)
zedGraphControl6.GraphPane.TitleGap = 0.05f;
zedGraphControl6.GraphPane.Legend.Gap = 0.2f;
zedGraphControl6.GraphPane.Legend.FontSpec.Size = 12.4f;
zedGraphControl6.GraphPane.XAxis.Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl6.GraphPane.XAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl6.GraphPane.YAxis.Title.Gap = -0.2f;
zedGraphControl6.GraphPane.YAxisList[0].Scale.LabelGap = 0f;
zedGraphControl6.GraphPane.Margin.Top = 4.0f;

// potvrda da smo izvršili promene
zedGraphControl6.AxisChange();

}

public void crtajZedgraphF()
{
try
{

for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciKoeffTrenja.Count; i++)
{
listF.Add(Form1.podaciBrzKlizanja[i], Form1.podaciKoeffTrenja[i]);
}

zedGraphControl6.SetScrollRangeFromData();
zedGraphControl6.AxisChange();
zedGraphControl6.Invalidate(); zedGraphControl6.Refresh();
}
catch { }
}

#endregion

#region FormLoad
private void FormIzveštaj_Load(object sender, EventArgs e)
{
prorcun_koeff_trenja_v3();
//tablaExel();
tabelaColumns();

comboBoxBrUzorakaF.SelectedIndex = 3;

```



```

buttonUkljucenF.Enabled = true;
buttonIskljucenF.Enabled = false;

podesavanjeZedGraphA();
podesavanjeZedGraphB();
podesavanjeZedGraphC();
podesavanjeZedGraphD();
podesavanjeZedGraphE();
podesavanjeZedGraphF();

crtajZedgraphA();
crtajZedgraphB();
crtajZedgraphC();
crtajZedgraphD();
crtajZedgraphE();
crtajZedgraphF();

}
#endregion

#region Izrada_PDF
private void buttonPdf_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

DataTable tab1 = tabela1(); DataTable tab2
= tabela2();

text8 = richTextBoxKomentar.Text.ToString();
if (String.Compare(text8, "") == 0)
{
text8 = "-"; // komentar
}

zedGraphControl1.Refresh();
zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.RestoreScale(mypane);

zedGraphControl2.Refresh();
zedGraphControl2.AxisChange();
zedGraphControl2.RestoreScale(mypane2);

zedGraphControl3.Refresh();
zedGraphControl3.AxisChange();
zedGraphControl3.RestoreScale(mypane3);

zedGraphControl4.Refresh();
zedGraphControl4.AxisChange();
zedGraphControl4.RestoreScale(mypane4);

zedGraphControl5.Refresh();
zedGraphControl5.AxisChange();
zedGraphControl5.RestoreScale(mypane5);

zedGraphControl6.Refresh();
zedGraphControl6.AxisChange();
zedGraphControl6.RestoreScale(mypane6);

SaveFileDialog saveFileDialog1 = new SaveFileDialog();
saveFileDialog1.Filter = "PDF document (*.pdf)|*.pdf";
saveFileDialog1.Title = "Kreirajte izveštaj";
saveFileDialog1.FileName = DateTime.Now.ToString("yyyy-MM-dd HH-mm-ss");
if (saveFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{

```

```

var filename = saveFileDialog1.FileName;
napraviIzvestaj(filename, tab1, tab2, text8);
}
// System.Diagnostics.Process.Start(saveFileDialog1.FileName);
// this.WindowState = System.Windows.Forms.FormWindowState.Minimized;
}
catch { }
}
#endregion

#region FormClosed
private void FormIzveštaj_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
try
{

}

}

Form1.pomNovoIspitivanjeA = true;
catch { }
}
#endregion

#region Exit
private void buttonExit_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

}

this.Close();
catch { }
}
#endregion

#region Oblik_krive

int d1 = 0, d2 = 0, d3 = 0, d4 = 0, d5 = 0, d6 = 0;
private void buttonD1Line_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

}

d1++;
kriva1_Set();
catch { }
}
public void kriva1_Set()
{

if (d1 % 2 == 0)
{
kriva1.Line.IsAntiAlias = false;
kriva1.Line.IsVisible = false;
buttonD1Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d1 % 2 != 0)
{
kriva1.Line.IsAntiAlias = true;
kriva1.Line.IsVisible = true;
buttonD1Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
}
}

```

```

}
zedGraphControl1.Refresh();
}

private void buttonD2Line_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

d2++;
kriva2_Set();
catch { }
}
public void kriva2_Set()
{

if (d2 % 2 == 0)
{
kriva2.Line.IsAntiAlias = false;
kriva2.Line.IsVisible = false;
buttonD2Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d2 % 2 != 0)
{
kriva2.Line.IsAntiAlias = true;
kriva2.Line.IsVisible = true;
buttonD2Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
zedGraphControl2.Refresh();
}

private void buttonD3Line_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

d3++;
kriva3_Set();
catch { }
}
public void kriva3_Set()
{

if (d3 % 2 == 0)
{
kriva3.Line.IsAntiAlias = false;
kriva3.Line.IsVisible = false;
buttonD3Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d3 % 2 != 0)
{
kriva3.Line.IsAntiAlias = true;
kriva3.Line.IsVisible = true;
buttonD3Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
zedGraphControl3.Refresh();
}

private void buttonD4Line_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

{
try
{

}

d4++;
kriva4_Set();
catch { }
}
public void kriva4_Set()
{

if (d4 % 2 == 0)
{
kriva4.Line.IsAntiAlias = false;
kriva4.Line.IsVisible = false;
buttonD4Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d4 % 2 != 0)
{
kriva4.Line.IsAntiAlias = true;
kriva4.Line.IsVisible = true;
buttonD4Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
zedGraphControl4.Refresh();
}

private void buttonD5Line_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

d5++;
kriva5_Set();
catch { }
}
public void kriva5_Set()
{

if (d5 % 2 == 0)
{
kriva5.Line.IsAntiAlias = false;
kriva5.Line.IsVisible = false;
buttonD5Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d5 % 2 != 0)
{
kriva5.Line.IsAntiAlias = true;
kriva5.Line.IsVisible = true;
buttonD5Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
zedGraphControl5.Refresh();
}

private void buttonD6Line_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

```

```

}

d6++;
kriva6_Set();
catch { }
}
public void kriva6_Set()
{

if (d6 % 2 == 0)
{
kriva6.Line.IsAntiAlias = false;
kriva6.Line.IsVisible = false;
buttonD6Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Brown;
}
if (d6 % 2 != 0)
{
kriva6.Line.IsAntiAlias = true;
kriva6.Line.IsVisible = true;
buttonD6Line.ForeColor = System.Drawing.Color.Green;
}
zedGraphControl6.Refresh();
}
public void filterOblikaKrive()
{
try
{

}

d1++; d2++; d3++; d4++; d5++; d6++;
kriva1_Set(); kriva2_Set();
kriva3_Set(); kriva4_Set();
kriva5_Set(); kriva6_Set();
catch { }

}

#endregion

////////////////////////////////////

#region TabelaExel

DataTable tableA = new DataTable();

public void tabelaColumns()
{
try
{

tableA.Columns.Add("Vreme", typeof(double));
tableA.Columns.Add("Ugao", typeof(double));

tableA.Columns.Add("Brzina", typeof(double));
tableA.Columns.Add("BrzKlizanja", typeof(double));
tableA.Columns.Add("Ubrzanje", typeof(double));
tableA.Columns.Add("OptLezaja", typeof(double));
tableA.Columns.Add("KoeffTrenja", typeof(double));
}
catch { }
}

```

```

}
public void tablaExcel()
{
    tableA.Clear();

    try
    {
        for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciUgaonoUbrz.Count; i++)
        {
            tableA.Rows.Add(Form1.podaciVreme[i], Form1.podaciUgao[i], Form1.podaciUgaonaBrz[i], Form1.poda
            ci
            BrzKlizanja[i],
            Form1.podaciUgaonoUbrz[i], Form1.podaciOptLezaja[i], Form1.podaciKoeffTrenja[i]);
        }
    }
    catch { }

}
#endregion

#region Excel
private void buttonExcel_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (tableA.Rows.Count == 0)
    {
        MessageBox.Show("Podaci nisu učitani!", ">> Obaveštenje <<",
        MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
        return;
    }
    try
    {
        var dataTbl1 = (DataTable)tableA; DataView dv1 =
        dataTbl1.DefaultView;
        // dv.Sort = "Datum_Vreme";
        dataTbl1 = dv1.ToTable();

        SaveFileDialog saveFileDialog1 = new SaveFileDialog();
        saveFileDialog1.Filter = "Excel file|*.xlsx"; saveFileDialog1.Title
        = "Save to Excel file";
        saveFileDialog1.FileName = DateTime.Now.ToString("yyyy-MM-dd HH-mm-ss");
        saveFileDialog1.ShowDialog();
        if (saveFileDialog1.FileName != "")
        {
            var file = saveFileDialog1.FileName;

            if (File.Exists(file)) File.Delete(file);
            using (var p = new ExcelPackage(new FileInfo(file)))
            {
                p.Workbook.Properties.Title = "Dijagrami";
                p.Workbook.Properties.Company = "CSL";
                p.Workbook.Worksheets.Add("Podaci"); ExcelWorksheet ws =
                p.Workbook.Worksheets[1];

                ws.Name = "Podaci"; int rowIndex = 1; int
                colIndex = 1;
                do
                {
                    // Set the background colours
                    var cell = ws.Cells[rowIndex, colIndex];
                    var dim = cell.Style.ShrinkToFit; var fill = cell.Style.Fill;

```

```

fill.PatternType = ExcelFillStyle.Solid;
fill.BackgroundColor.SetColor(System.Drawing.Color.LightGray);
colIndex++;
}
while (colIndex != 32);

ws.Cells[1, 1].Value = "Vreme_[sek]";
ws.Cells[1, 2].Value = "Ugao_[rad]";

ws.Cells[1, 3].Value = "Brzina_[rad/sek]"; ws.Cells[1, 4].Value =
"BrzKlizezanja_[(rad/sek)m]"; ws.Cells[1, 5].Value = "Ubrzanje_[rad/sek2]";
ws.Cells[1, 6].Value = "OptLezaja_[N]";
ws.Cells[1, 7].Value = "KoeffTrenja";

int numRows1 = dataTbl1.Rows.Count;
for (int j = 2; j < numRows1 + 2; j++)
{
ws.Cells[j, 1].Value = dataTbl1.Rows[j - 2]["Vreme"];
ws.Cells[j, 2].Value = dataTbl1.Rows[j - 2]["Ugao"];

ws.Cells[j, 3].Value = dataTbl1.Rows[j - 2]["Brzina"]; ws.Cells[j, 4].Value =
dataTbl1.Rows[j - 2]["BrzKlizezanja"]; ws.Cells[j, 5].Value = dataTbl1.Rows[j -
2]["Ubrzanje"]; ws.Cells[j, 6].Value = dataTbl1.Rows[j - 2]["OptLezaja"]; ws.Cells[j,
7].Value = dataTbl1.Rows[j - 2]["KoeffTrenja"];
}

ws.Column(1).AutoFit();
ws.Column(2).AutoFit();

ws.Column(3).AutoFit(); ws.Column(4).AutoFit();
ws.Column(5).AutoFit(); ws.Column(6).AutoFit();
ws.Column(7).AutoFit();

p.Save();

}
}
}
catch { }
}

#endregion

////////////////////////////////////

#region proracun Koeff_trenja_vr3
public static List<double> pomBroilac = new List<double>();
private void proracun_koeff_trenja_v3()
{
try
{

Form1.podaciDifUgao.Clear();
Form1.podaciDifVreme.Clear();
Form1.podaciUgaonaBrz.Clear();
Form1.podaciUgaonoUbrz.Clear();
Form1.podaciOptLezaja.Clear();
pomBroilac.Clear();
Form1.podaciKoeffTrenja.Clear();
Form1.podaciBrzKlizezanja.Clear();

Form1.podaciUgaonaBrz.Add(0.000);
Form1.podaciBrzKlizezanja.Add(0.000);

```

```

for (Int32 i = 1; i < Form1.podaciUgao.Count; i++)
{
double pomBrzina = Math.Abs(Math.Round((Form1.podaciUgao[i] -
Form1.podaciUgao[i - 1]) / (Form1.podaciVreme[i] - Form1.podaciVreme[i - 1]),
6));
Form1.podaciUgaonaBrz.Add(pomBrzina); Form1.podaciBrzKlzanja.Add(Math.Round(pomBrzina *
Form1.poluprLezaja, 6));
}

Form1.podaciUgaonoUbrz.Add(0.000);

for (Int32 k = 1; k < Form1.podaciUgaonaBrz.Count; k++)
{

Form1.podaciUgaonoUbrz.Add(Math.Abs(Math.Round((Form1.podaciUgaonaBrz[k] -
Form1.podaciUgaonaBrz[k - 1]) / (Form1.podaciVreme[k] - Form1.podaciVreme[k - 1]), 6)));
}

// Form1.podaciOptLezaja.Add(0.000);
for (Int32 l = 0; l < Form1.podaciUgaonaBrz.Count; l++)
{
if (Form1.opcijaDinStat == 1)//dinamic
{
//double pomImenilac_1 = Form1.masaTela * ((Form1.redDuzinaKlatna *
Math.Pow(Form1.podaciUgaonaBrz[l], 2)) + (Form1.gravKonstanta *
Math.Cos(Form1.podaciUgao[l])));
double pomImenilac_1 = ((Form1.masaTela * Form1.gravKonstanta) -
(Form1.excMasa * Form1.redDuzinaKlatna * Math.Pow(Form1.podaciUgaonaBrz[l],
2) * Math.Cos(Form1.podaciUgao[l])));
Form1.podaciOptLezaja.Add(Math.Abs(Math.Round(pomImenilac_1, 6)));
}
else if (Form1.opcijaDinStat == 2)//static
{
double pomImenilac_2 = Form1.masaTela * Form1.gravKonstanta;
Form1.podaciOptLezaja.Add(Math.Abs(Math.Round(pomImenilac_2, 6)));
}
}

//pomBroilac.Add(0.000);
for (Int32 m = 0; m < Form1.podaciUgaonoUbrz.Count; m++)
{
if (Form1.opcijaDinStat == 1)//dinamic
{
//pomBroilac.Add(Math.Round((Form1.masaTela * Form1.gravKonstanta *
Math.Sin(Form1.podaciUgao[m])) + (Form1.momentInercije * (Form1.podaciUgaonoUbrz[m])), 6));
pomBroilac.Add(Math.Round((Form1.momentInercije *
Form1.podaciUgaonoUbrz[m]), 6));
}
else if (Form1.opcijaDinStat == 2)//static
{
pomBroilac.Add(Math.Round((Form1.momentInercije *
Form1.podaciUgaonoUbrz[m]), 6));
}
}

//Form1.podaciKoeffTrenja.Add(0.000);
for (Int32 n = 0; n < Form1.podaciUgaonoUbrz.Count; n++)
{
double pomKolicnik = Math.Abs(Math.Round(pomBroilac[n] /
(Form1.podaciOptLezaja[n] * Form1.poluprLezaja), 6));
Form1.podaciKoeffTrenja.Add(pomKolicnik);
}

```



```

}
catch { }

}
#endregion

#region dataGridViewPodesavanja
private void buttonUcitati_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

}

tablaExel();
DataGridView dv = tableA.DefaultView;
// dv.Sort = "Vreme";
//dv.Sort = "Datum_Vreme"; tableA = dv.ToTable();
dataGridView1.DataSource = tableA;
catch { }
}

private void dataGridView1_DataSourceChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

}

labelBrVrsta.Text = "Br. Vrsta: " + dataGridView1.Rows.Count.ToString();
labelSelVrsta.Text = "Sel. Vrsta: 1";
catch { }
}

private void dataGridView1_MouseClick(object sender, MouseEventArgs e)
{
try
{

}

}

int pomIndex = dataGridView1.SelectedRows[0].Index + 1;
labelSelVrsta.Text = "Sel. Vrsta: " + pomIndex;
catch { }
}
#endregion

////////////////////////////////////

#region UkljucenFiltar int

filtarOn = 0;

private void buttonUkljucenF_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

}

```

```

//procenatBrzina = 0.05;
if (filtarOn == 0)
{
    filtaraOn = 1; buttonUkljucenF.Enabled = false;
    buttonIskljucenF.Enabled = true;
    comboBoxBrUzorakaF.Enabled = false;

    zedgraphClear();

    filtaraUsrednjavanje();
    prorcun_koef_trenja_v3();
    //tablaExel();

    crtajZedgraphA(); crtajZedgraphB();
    crtajZedgraphC(); crtajZedgraphD();
    crtajZedgraphE(); crtajZedgraphF();

    filtaraOblikaKrive();

}
else { filtaraOn = 0; return; }
catch { filtaraOn = 0; return; }

}
#endregion

#region IskljucenFiltar
private void buttonIskljucenF_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {

        if (filtaraOn == 1)
        {
            filtaraOn = 0; buttonUkljucenF.Enabled = true;
            buttonIskljucenF.Enabled = false;
            comboBoxBrUzorakaF.Enabled = true;

            zedgraphClear(); Form1.podaciUgao.Clear();
            Form1.podaciVreme.Clear();

            for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciX.Count; i++)
            {

                Form1.podaciUgao.Add(Form1.podaciY[i]);
                Form1.podaciVreme.Add(Form1.podaciX[i]);
            }
            prorcun_koef_trenja_v3();
            //tablaExel();

            crtajZedgraphA(); crtajZedgraphB();
            crtajZedgraphC(); crtajZedgraphD();
            crtajZedgraphE(); crtajZedgraphF();

            filtaraOblikaKrive();
        }
        else { filtaraOn = 1; return; }
    }
    catch { filtaraOn = 1; return; }
}
#endregion

```

```

#region zedgraphClear
public void zedgraphClear()
{
    try
    {

// praznjenje liste za zedGraph;
zedGraphControl1.GraphPane.CurveList.Clear(); listA.Clear();
kriva1.Clear(); zedGraphControl1.Refresh();
podesavanjeZedGraphA();

zedGraphControl2.GraphPane.CurveList.Clear();
listB.Clear();
kriva2.Clear(); zedGraphControl2.Refresh();
podesavanjeZedGraphB();

zedGraphControl3.GraphPane.CurveList.Clear();
listC.Clear(); kriva3.Clear();
zedGraphControl3.Refresh();
podesavanjeZedGraphC();

zedGraphControl4.GraphPane.CurveList.Clear();
listD.Clear(); kriva4.Clear();
zedGraphControl4.Refresh();
podesavanjeZedGraphD();

zedGraphControl5.GraphPane.CurveList.Clear();
listE.Clear(); kriva5.Clear();
zedGraphControl5.Refresh();
podesavanjeZedGraphE();

zedGraphControl6.GraphPane.CurveList.Clear();
listF.Clear(); kriva6.Clear();
zedGraphControl6.Refresh();
podesavanjeZedGraphF();

zedGraphControl1.Refresh();
zedGraphControl1.AxisChange();
zedGraphControl1.RestoreScale(mypane);

zedGraphControl2.Refresh();
zedGraphControl2.AxisChange();
zedGraphControl2.RestoreScale(mypane2);

zedGraphControl3.Refresh();
zedGraphControl3.AxisChange();
zedGraphControl3.RestoreScale(mypane3);

zedGraphControl4.Refresh();
zedGraphControl4.AxisChange();
zedGraphControl4.RestoreScale(mypane4);

zedGraphControl5.Refresh();
zedGraphControl5.AxisChange();
zedGraphControl5.RestoreScale(mypane5);

zedGraphControl6.Refresh();
zedGraphControl6.AxisChange();
zedGraphControl6.RestoreScale(mypane6);

    }
    catch { }

}
#endregion

```

```

#region FiltarUsrednjavanje
public void filterUsrednjavanje()
{
try
{

Form1.podaciUgao.Clear();
Form1.podaciVreme.Clear();

if(comboBoxBrUzorakaF.SelectedIndex == 0)//5
{
for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciX.Count - 5; i++)
{

Form1.podaciUgao.Add(Math.Round((Form1.podaciY[i] + Form1.podaciY[i + 1] + Form1.podaciY[i
+ 2] + Form1.podaciY[i + 3] + Form1.podaciY[i + 4]) / 5, 8));
Form1.podaciVreme.Add(Math.Round((Form1.podaciX[i] + Form1.podaciX[i + 1]
+ Form1.podaciX[i + 2] + Form1.podaciX[i + 3] + Form1.podaciX[i + 4]) / 5, 8));
}
}
if (comboBoxBrUzorakaF.SelectedIndex == 1)//10
{
for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciX.Count - 10; i++)
{

Form1.podaciUgao.Add(Math.Round((Form1.podaciY[i] + Form1.podaciY[i + 1] + Form1.podaciY[i
+ 2] + Form1.podaciY[i + 3] + Form1.podaciY[i + 4] + Form1.podaciY[i + 5] + Form1.podaciY[i
+ 6] + Form1.podaciY[i + 7] + Form1.podaciY[i + 8] + Form1.podaciY[i + 9] ) /
10, 8));
Form1.podaciVreme.Add(Math.Round((Form1.podaciX[i] + Form1.podaciX[i + 1]
+ Form1.podaciX[i + 2] + Form1.podaciX[i + 3] + Form1.podaciX[i + 4] + Form1.podaciX[i + 5]
+
Form1.podaciX[i + 6] + Form1.podaciX[i + 7] + Form1.podaciX[i + 8] + Form1.podaciX[i + 9]) /
10, 8));
}
}
if (comboBoxBrUzorakaF.SelectedIndex == 2)//15
{
for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciX.Count - 15; i++)
{

Form1.podaciUgao.Add(Math.Round((Form1.podaciY[i] + Form1.podaciY[i + 1] + Form1.podaciY[i
+ 2] + Form1.podaciY[i + 3] + Form1.podaciY[i + 4] + Form1.podaciY[i + 5] + Form1.podaciY[i
+ 6] + Form1.podaciY[i + 7] + Form1.podaciY[i + 8] + Form1.podaciY[i + 9] + Form1.podaciY[i
+ 10] + Form1.podaciY[i + 11] + Form1.podaciY[i + 12] + Form1.podaciY[i + 13]
+ Form1.podaciY[i + 14]) / 15, 8));
Form1.podaciVreme.Add(Math.Round((Form1.podaciX[i] + Form1.podaciX[i + 1]
+ Form1.podaciX[i + 2] + Form1.podaciX[i + 3] + Form1.podaciX[i + 4] + Form1.podaciX[i +
5] + Form1.podaciX[i + 6] + Form1.podaciX[i + 7] + Form1.podaciX[i + 8] + Form1.podaciX[i
+ 9] + Form1.podaciX[i + 10] + Form1.podaciX[i + 11] + Form1.podaciX[i + 12] +
Form1.podaciX[i + 13]
+ Form1.podaciX[i + 14]) / 15, 8));
}
}
if (comboBoxBrUzorakaF.SelectedIndex == 3)//20
{
for (Int32 i = 0; i < Form1.podaciX.Count - 20; i++)
{

Form1.podaciUgao.Add(Math.Round((Form1.podaciY[i] + Form1.podaciY[i + 1] + Form1.podaciY[i
+ 2] + Form1.podaciY[i + 3] + Form1.podaciY[i + 4] + Form1.podaciY[i + 5] + Form1.podaciY[i
+ 6] + Form1.podaciY[i + 7] + Form1.podaciY[i + 8] + Form1.podaciY[i + 9] + Form1.podaciY[i
+ 10] + Form1.podaciY[i + 11] + Form1.podaciY[i + 12] + Form1.podaciY[i + 13]
+ Form1.podaciY[i + 14] + Form1.podaciY[i + 15] + Form1.podaciY[i + 16] + Form1.podaciY[i +
17] + Form1.podaciY[i + 18] + Form1.podaciY[i + 19]) / 20, 8));
Form1.podaciVreme.Add(Math.Round((Form1.podaciX[i] + Form1.podaciX[i + 1]
+ Form1.podaciX[i + 2] + Form1.podaciX[i + 3] + Form1.podaciX[i + 4] + Form1.podaciX[i +

```

```

5] + Form1.podaciX[i + 6] + Form1.podaciX[i + 7] + Form1.podaciX[i + 8] + Form1.podaciX[i
+ 9] + Form1.podaciX[i + 10] + Form1.podaciX[i + 11] + Form1.podaciX[i + 12] +
Form1.podaciX[i + 13]
+ Form1.podaciX[i + 14] + Form1.podaciX[i + 15] + Form1.podaciX[i + 16] + Form1.podaciX[i +
17] + Form1.podaciX[i + 18] + Form1.podaciX[i + 19]) / 20, 8));
}
}

}
catch { }
}
#endregion

#region Fokus
private void comboBoxBrUzorakaF_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
try
{

}

groupBox1.Focus();
catch { }
}
#endregion

}
}

```

Кратка биографија

Аутор Љиљана Брзаковић, дипломирани инжењер машинства, рођена је 19.11.1968. године у Крушевцу. Основно образовање стекла је у основној школи „Миодраг Чајетинац Чајка“ у Трстенику као носилац дипломе "Вук Караџић", а средњошколско образовање у „Образовном центру Прва петолетка“ у Трстенику на математичкотехничком смеру, са одличним успехом.

Школске 1987/1988. године уписала је академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду и завршила их на смеру Аутоматско управљање са општим успехом 8,34 (осам и 34/100), а са оценом 10 на дипломском испиту из предмета Биоаутоматика код проф. др Ђуре Коруге.

Школске 2015/2016. године уписала је докторске академске студије машинског инжењерства на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу на смеру Производно машинство. Испите на докторским академским студијама положила је са општим успехом 9,33 (девет и 33/100).

Од 1996. до 2007. била је предузетница – сувласник предузећа за производњу, трговину и услуге "Графопласт" и радила на пословима унутрашњег књиговодства, набавке материјала, продаје, маркетинга.

Од 2007. до 2011. радила је у Техничкој школи у Трстенику као професор машинске групе предмета.

Пред комисијом за полагање испита за лиценцу Министарства просвете, науке и технолошког развоја, 2014. године, положила је испит за дозволу за рад наставника, васпитача и стручних сарадника (лиценцу) и стекла право да самостално обавља образовно-васпитни рад у оквиру своје струке.

Од 2016. године ангажована је, најпре као сарадник а затим као асистент, у настави на Високој техничкој машинској школи струковних студија у Трстенику, чији се званични назив мења 2020. године у Академија струковних студија Шумадија, Одсек Трстеник.

Као аутор или коаутор објавила је велики број научних радова у научностручним часописима и на међународним и домаћим конференцијама.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

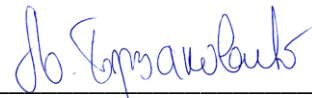
**"РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА
ТРЕЊА ДИНАМИЧКИ ОПТЕРЕЂЕНИХ КОНТАКАТА"**

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 22.08 2022. године,



потпис аутора

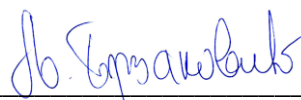
Образац 2

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:
**"РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА
ТРЕЊА ДИНАМИЧКИ ОПТЕРЕЂЕНИХ КОНТАКАТА"**

истоветне.

У Крагујевцу,
22.08 2022. године,



потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Љиљана Брзаковић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

"РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА ДИНАМИЧКИ ОПТЕРЕЂЕНИХ КОНТАКАТА"

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

1) Ауторство

2) Ауторство - делити под истим условима

3) Ауторство - без прерада

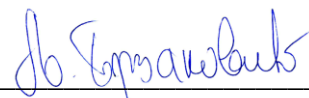
4) Ауторство - некомерцијално

5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима

6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу,

22.08 2022. године,



потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>