

**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ДЕПАРТМАН ЗА САОБРАЋАЈ**

мр Бранислав Б. Александровић

**РАЗВОЈ МОДЕЛА ДИНАМИЧКИХ ПАРАМЕТАРА КРЕТАЊА
МОТОЦИКЛА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА**

-докторска дисертација-

Нови Сад, Јул, 2017. године

РЕЗИМЕ:

РАЗВОЈ МОДЕЛА ДИНАМИЧКИХ ПАРАМЕТАРА КРЕТАЊА МОТОЦИКЛА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Основни предмет истраживања докторске дисертације представљали су рачунарски модели за анализу динамичких карактеристика кретања мотоцикла у функцији повећања безбедности саобраћаја. Значајан удео чине и оригинална експериментална истраживања са опремом која је прилагођена испитивањима, како у статичко-динамичким лабораторијским условима, тако и у сложеним условима путних испитивања.

У оквиру циља дефинисања страдања мотоциклиста дат је осврт на проблематику безбедности мотоциклиста у саобраћају, стања и тенденције, гледано и анализирано на глобалном нивоу, преко специфичности у појединим ширим географским регионима, закључно са стањем у Републици Србији.

Динамичке карактеристике мотоцикла у релацији са понашањем возача битно утичу на безбедност саобраћаја. Саобраћајне незгоде са мотоциклима су најчешће са тежим последицама. Значајан утицај на ниво активне безбедности мотоцикла испољен је кроз његову динамику вуче и динамику кочења. Специфичности конструкција и сама комплексност кинематике и динамике мотоцикла у знатном степену усложњавају упоредно спровођење теоријских и експерименталних истраживања за моделе, генерално. Као значајан аспект је наведена и приказана конструкција мотоцикла у целини, при чему указано на значај сваког система, са посебним освртом на рам мотоцикла и његову интеракцију са системима ослањања и управљања.

На бази добијених резултата динамичких параметара кретања мотоцикла, идентификовани су показатељи динамичког понашања мотоцикла за следеће режиме: кочења, залета, кретања константном брзином, режима осциловања, као и за режиме изражене интеракције динамичких равни.

Нестационарни режими кретања мотоцикла, карактеристични су по начину понашања возача, износу коришћења потенцијала приањања пнеуматик – коловоз и сврставају се у режиме повећаног ризика од настанка саобраћајне незгоде. У току ових режима генеришу се комплексни осцилаторни процеси носеће структуре мотоцикла, који како утичу на замор возача тако и на ефикасност његовог управљачког дејства. Овим истраживањима формирана је и значајна база информација о карактеристикама понашања мотоцикла неопходног за обуку возача-почетника у ауто-мото школама, а такође и усавршавањем и едукацијом возача са возачком дозволом у циљу повећања безбедности саобраћаја.

Кључне речи: Мотоцикл, динамички параметри, модел, безбедност саобраћаја

Abstract:

DEVELOPMENT OF MOTORCYCLE'S DYNAMIC PARAMETER MODELS FROM THE ASPECTS OF TRAFFIC SAFETY

The basic researching subject of this dissertation were computer models used for the analysis, of motorcycle motion dynamic characteristics, in the function of traffic safety increasement. Significant share also have had the original experimental researching, by implementing equipment which was specifically adjusted for the researching both in static and dynamic laboratory conditions and also in complex conditions of road examinations.

With the aim to define fatal injuries of drivers of the motorcycles a specific attention was given to driver's safety in traffic, driver's conditions and tendencies, which were examined and analysed on global level, considering specific factors in the wide geographic regions, concluding with the actual state in the Republic of Serbia.

Motorcycle's dynamic characteristic in relation with a driver's behaviour significantly influence on traffic safety. Traffic accidents involving motorcycles ends in the most cases with big and serious consequences. Significant impact on the level of motorcycle's active safety has its dynamic dragging force and dynamic of braking. Specificity in variety of design and complexity of motorcycle's kinematic and dynamic in the great deal make even more complex simultaneous conducting of theoretical and experimental researching of models in general. As one of significant aspects herein is quoted and presented entire design of motorcycle, indicated a significance of each system, with the special remarks on motorcycle's frame and it's interaction with suspension and steering system.

On the basis of obtained results of motorcycle motion dynamic parameters, a key indicators of dynamic behaviour of motorcycle were identified for the following working regimes: braking, accelerating, constant speed motion, oscillation regimes, and also for the regimes of exposed interaction of dynamic planes.

Non stationary regimes of motorcycle's motion are characteristic by the specificity of driver's behaviour, by the exploitation amount of the adhesion potentiality between tire and road and are ranked as the regimes of increased risks for causing traffic accidents. During these regimes a complex oscillation processes are generated in the motorcycle's supporting structure, which impact both on drivers fatigue same as on driver's steering capabilities and efficiency. By this research a significant data base was created regarding motorcycle's behaviour characteristics required for training of drivers-apprentices in driving schools same as development and education of drivers which already possess a driving licence for the purpose of increasing traffic safety.

Key words: Motorcycle, Dynamic Parameters, Model, Road traffic safety

ПОСВЕТА

Своју докторску дисертацију посвећујем вољеном оцу Бошку, који ми је пренео љубав према мотоциклима. На жалост, није дочекао завршетак дисертације, али његов допринос је немерљив и биће ми смерница за даљи рад.

ЗАХВАЛНОСТ

Предметна докторска дисертација настала је као плод мог дугогодишњег рада, а на изради исте имао сам свесрдну помоћ следећих особа, којима овим путем желим да се захвалим:

Др Александри Јанковић, редовном професору Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, која ме је током дугогодишње сарадње својом стручношћу и искуством усмеравала ка области динамике и безбедности мотоцикала, а својом невероватном енергијом бодрила да истрајем на изради тезе све до њеног коначног уобличења.

Др Драгану Јовановићу, редовном професору и директору Департмана за саобраћај Факултета техничких наука у Новом Саду, као ментору, који је препознао специфичност мотоцикла као превозног средстава, помогао око дефинисања тезе, давао мноштво корисних савета како би рад добио завршну форму.

Др Рајку Радоњићу, редовном професору у пензији, Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, који ми је пружао подршку и давао савете када ми је било најпотребније.

Колегама Саши Јовановићу, дипл.инж., Чедомиру Јошовићу дипл.инж. и Горану Крстићу дипл.инж. који су ми свесрдно помогли око експерименталног дела рада.

Нарочиту захвалност дугујем својим најближима мајци Љиљани, сестри Марији, супрузи Ани, ћерки Дуњи и сину Вуку, који су ме подржавали на путу израде докторске тезе и имали разумевање за мој труд.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска публикација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	мр Бранислав Александровић		
Ментор, МН:	др Драган Јовановић, редовни професор		
Наслов рада, НР:	"РАЗВОЈ МОДЕЛА ДИНАМИЧКИХ ПАРАМЕТАРА КРЕТАЊА МОТОЦИКЛА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА"		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски/Енглески		
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина		
Година, ГО:	2017		
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт		
Место и адреса, МА:	21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	8/183/138/31/138/28		
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство		
Научна дисциплина, НД:	Безбедност саобраћаја		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Мотоцикл, динамички параметри, модел, безбедност саобраћаја		
УДК			
Чува се, ЧУ:	21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	Основни предмет истраживања докторске дисертације представљали су рачунарски модели за анализу динамичких карактеристика кретања мотоцикла у функцији повећања безбедности саобраћаја. Значајан удео чине и оригиналана експериментална истраживања са опремом која је прилагођена испитивањима, како у статичко-динамичким лабораторијским условима, тако и у сложеним условима путних испитивања. У оквиру циља дефинисања страдања мотоциклиста дат је осврт на проблематику безбедности мотоциклиста у саобраћају, стања и тенденције, гледано и анализирано на глобалном нивоу, преко специфичности у појединим ширим географским регионима, закључно са стањем у Републици Србији. Као значајан аспект је наведена и приказана конструкција мотоцикла у целини, при чему указано на значај сваког система, са посебним освртом на рам мотоцикла и његову интеракцију са системима ослањања и управљања. На бази добијених резултата динамичких параметара кретања мотоцикла, идентификовани су показатељи динамичког понашања мотоцикла за следеће режиме: кочења, залета, кретања константном брзином, режима осциловања, као и за режиме изражене интеракције динамичких равни.		
Датум прихватања теме, ДП:	25.12.2015.		
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	др Светозар Костић, редовни професор	
	Члан, ментор:	др Драган Јовановић, редовни професор	
	Члан:	др Александра Јанковић, редовни професор	Menthor's sign
	Члан:	др Светлана Бачкалић, доцент	
	Члан:	др Драган Ружић, доцент	



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :			
Identification number, INO :			
Document type, DT :	Monographic publication		
Type of record, TR :	Textually printed document		
Contents code, CC :	Ph.D. Thesis		
Author, AU :	Branislav Aleksandrovic, M.Sc.		
Mentor, MN :	Dragan Jovanović, Ph.D., Full Professor		
Title, TI :	" DEVELOPMENT OF MOTORCYCLE'S DYNAMIC PARAMETER MODELS FROM THE ASPECTS OF TRAFFIC SAFETY "		
Language of text, LT :	Serbian		
Language of abstract, LA :	Serbian/English		
Country of publication, CP :	Serbia		
Locality of publication, LP :	AR Vojvodina		
Publication year, PY :	2017		
Publisher, PB :	Author's reprint		
Publication place, PP :	21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6		
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8/183/138/31/138/28		
Scientific field, SF :	Traffic Engineering		
Scientific discipline, SD :	Traffic Safety		
Subject/Key words, S/KW :	Motorcycle, Dynamic Parameters, Model, Road traffic safety		
UC			
Holding data, HD :	21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6		
Важна напомена, BH :			
Abstract, AB :	The basic researching subject of this dissertation were computer models used for the analysis, of motorcycle motion dynamic characteristics, in the function of traffic safety increasement. Significant share also have had the original experimental researching, by implementing equipment which was specifically adjusted for the researching both in static and dynamic laboratory conditions and also in complex conditions of road examinations. With the aim to define fatal injuries of drivers of the motorcycles a specific attention was given to driver's safety in traffic, driver's conditions and tendencies, which were examined and analysed on global level, considering specific factors in the wide geographic regions, concluding with the actual state in the Republic of Serbia. As one of significant aspects herein is quoted and presented entire design of motorcycle, indicated a significance of each system, with the special remarks on motorcycle's frame and it's interaction with suspension and steering system. On the basis of obtained results of motorcycle motion dynamic parameters, a key indicators of dynamic behaviour of motorcycle were identified for the following working regimes: braking, accelerating, constant speed motion, oscillation regimes, and also for the regimes of exposed interaction of dynamic planes.		
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	2015-12-25		
Defended on, DE :			
Defended Board, DB	President:	Svetozar Kostić, Ph.D., Full Professor	
	Member, Mentor:	Dragan Jovanović, Ph.D., Full Professor	
	Member:	Aleksandra Janković, Ph.D., Full Professor	Menthor's sign
	Member:	Svetlana Bačkalić, Ph.D., assistant professor	
	Member:	Dragan Ružić, Ph.D., assistant professor	

СПИСАК СЛИКА

- Слика. 1.1 *Индекс рањивости: Показује број погинулих на 100 настрадалих лица у саобраћајним незгодама, по категоријама учесника и старосним групама (Агенција за безбедност саобраћаја [ABS], 2016)*
- Слика. 1.2 *Број повређених лица у 2014. и 2015. години, у односу на категорију возила, својство учешћа у саобраћају и старост учесника (ABS, 2016)*
- Слика.4.1 *Подела смртних исхода у саобраћају по категоријама учесника у саобраћају, у европској регији, земљама CIS-а и земаља Европске уније и однос смртних исхода на 100 000 становника у земљама заједнице независних држава (CIS-а), Европске регије (EUR) i WHO Европске уније (EU) у 2013-ој години. (WHO, 2015)*
- Слика. 4.2 *Извештај светске здравствене организације за Србију (WHO, 2013)*
- Слика. 4.3 *Број погинулих и тешко повређених МОТОЦИКЛИСТА И МОПЕДИСТА у саобраћајним незгодама, у периоду 2011-2015. Година (Агенција за безбедност саобраћаја [ABS], 2016)*
- Слика. 4.4 *Старосна структура погинулих МОТОЦИКЛИСТА И МОПЕДИСТА у саобраћајним незгодама, у периоду 2011-2015. година (ABS, 2016)*
- Слика.4.5 *Својство учешћа погинулих младих у саобраћају у односу на категорију возила (ABS, 2016)*
- Слика. 4.6 *Повређени млади учесници у саобраћају у својству возача у односу на категорију возила (ABS, 2016)*
- Слика 4.7 *Приказ броја настрадалих у саобраћајним незгодама са мотоциклима и мопедима, према (ABS,2016)*
- Слика 4.8 *Врсте судара мотоцикала. Подаци интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја (ABS, 2016)*
- Слика 4.9 *Приказ структуре конструкције мотоцикла*
- Слика 4.10 *Класични погон мотоцикла (МСУС) (Yamaha, 2016)*
- Слика 4.11 *Мотоцикл на електрични погон (Zero motorcycles, 2016)*
- Слика 4.12 *Двотактни мотор (Britannica, 2016)*
- Слика 4.13 *Четворотактни мотор (Autoexclusive, 2016)*
- Слика 4.14 *Мотор са једним цилиндром (Britannica, 2016)*
- Слика 4.15 *Мотор са два цилиндра у линији (Britannica, 2016)*
- Слика 4.16 *Мотор са два цилиндра у V распореду (Britannica, 2016)*
- Слика 4.17 *Мотор са четири цилиндра у линијском распореду (Britannica, 2016)*
- Слика 4.18 *Вишеструка спојница (Exedy, 2016)*
- Слика 4.19 *Степенасти преносник (Yamaha, 2016)*
- Слика 4.20 *Варијабилни преносник (Yamaha, 2016)*
- Слика 4.21 *Ланчани пренос (Mcshain, 2016)*
- Слика 4.22 *Кардански пренос (BMW, 2016)*
- Слика 4.23 *Цевасти рам са бочним амортизерима позади (Stoffregen, 2006)*

- Слика 4.24 Цевасти рам са централним амортизером позади (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.25 Цевасти рам у облику колевке (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.26 Дупли рам на коме се налази двовентилски боксер мотор (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.27 Мотоцикл марке HUSQVARNA, са титанијумским рамом (Husqvarna, 2016)
- Слика 4.28 Алуминијумски рам мотоцикла HONDA VFR 750 (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.29 Алуминијумски рам на мотоциклу YAMAHA FZR 1000 (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.30 Рам „Ендуро“ мотоцикла (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.31 „Решеткасти рам“ мотоцикла (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.32 Рам „DELTA BOX 3“ мотоцикла YAMAHA R1 (Stoffregen, 2006)
- Слика 4.33 Седиште без наслона (Aprilia, 2016)
- Слика 4.34 Седиште са наслоном (Harley-Davidson, 2016)
- Слика 4.35 Оклоп мотоцикла HONDA Golden (Honda, 2016)
- Слика 4.36 Ветробран мотоцикла Kawasaki ZX 12 (Kawasaki, 2016)
- Слика 4.37 Жичани наплатак (Harley-Davidson, 2016)
- Слика 4.38 Ливени наплатак (Kawasaki, 2009)
- Слика 4.39 Слик пнеуматик (Michelin, 2016)
- Слика 4.40 Штампани слик (Michelin, 2016)
- Слика 4.41 Нормални (Michelin, 2016)
- Слика 4.42 Пнеуматик са крампонима (Michelin, 2016)
- Слика 4.43 Виљушка предњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.44 Телескопска цев предњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.45 „Изокренута - Up side – down“ виљушка (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.46 „Регулатор“ за подешавање карактеристике виљушке (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.47 „TRAC“ систем (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.48 Задња „H“ – виљушка (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.49 „U“ виљушка задњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.50 Рам са сложеном везом CEO (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.51 „Једнострани“ рам са једним амортизером (Paul Thede, et al., 2010)
- Слика 4.52 Добош кочница (Tga, 2016)
- Слика 4.53 Кочни дискови (Brembo, 2016)
- Слика 4.54 Добош кочница (BMW, 2016)
- Слика 4.55 Диск кочница (BMW, 2016)
- Слика 4.56 Систем против блокирања кочница ABS (BMW, 2016)
- Слика 4.57 Мотоцикл YAMAHA YZF R6
- Слика 4.58 Рам мотоцикла YAMAHA YZF R6
- Слика 4.59 Предњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6
- Слика 4.60 Задњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6
- Слика 4.61 Тип задњег система еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6

- Слика 5.1 Стабилизовање праволинијске вожње фаза 1: а) бочно нагињање предњег точка, б) заокретање око осе z [Stofregen, 2006]
- Слика 5.2 Стабилизовање праволинијске вожње, фаза 2: а) заокретање око осе z ; б) бочно нагињање (враћање) равни точка [Stofregen, 2006]
- Слика 5.3 Стабилизујуће дејство затура точка [Stofregen, 2006]
- Слика 5.4 Силе на коченом точку
- Слика 5.5 а. Кочна сила на предњем точку, [Stofregen, 2006]
- Слика 5.5 б. Кочна сила на задњем точку, [Stofregen, 2006]
- Слика 5.6 Зависност бочне и обимне силе при константном коефицијенту трења, [Stofregen, 2006]
- Слика 5.7 Обимна V_o и брзина центра точка V_c
- Слика 5.8 Функционална зависност између клизања и приањања, [Stofregen, 2006]
- Слика 5.9 Функционална шема регулације притиска (а) и зависност притиска и обимне силе од времена (б), [Stofregen, 2006]
- Слика 5.10 Шематски приказ раванског модела коришћеног у симулацији подужне динамике
- Слика 5.11 Конструктивни параметри мотоцикла YAMAHA R6
- Слика 5.12 Мерење масених карактеристика мотоцикла
- Слика 5.13 Стварни изглед симулираног мотоцикла при кочењу
- Слика 5.14 Силе и моменти на коченом точку мотоцикла
- Слика 5.15 Прерасподела вертикалне реакције тла (тежине) зависно од успорења
- Слика 5.16 силе кочења на предњем K_1 , задњем точку K_2 , и укупна сила кочења K , за случајеве симетричног оптерећења индекс s и више оптерећеног задњег точка индекс n
- Слика 5.17 Промена коефицијената приањања, а/ нерегулисан процес кочења, б/ оптимални захтев за регулисан процес кочења
- Слика 5.18 Резултати симулације кочења мотоцикла у функцији подужног успорења: а/ вертикалне силе, б/ силе кочења,
- Слика 5.19 Резултати симулације кочења мотоцикла у функцији подужног успорења: а/ захтеване вредности коефицијената приањања за симетричну расподелу оптерећења, б/ захтеване вредности коефицијената приањања за несиметричну расподелу оптерећења
- Слика 5.20 Шема модела директне динамике
- Слика 5.21 Шема модела инверзне динамике
- Слика 5.22-а Приказ система возач-мотоцикл као модел за анализу убрзавања
- Слика 5.22-б Приказ система, возач-мотоцикл у условима кретања
- Слика 5.23 Равански приказ кретања предњег и задњег точка
- Слика 5.24 Кинематски модел мотоцикла
- Слика 5.25 Динамички модел мотоцикла
- Слика 5.26 Силе и моменти на предњем точку
- Слика 5.27 Силе и моменти на задњем точку

- Слика 5.28 Систем точкови са вођицама
- Слика 5.29 Распоред сила и момената на мотоциклу
- Слика 5.30 Силе у систему еластичног ослањања
- Слика 5.31 Силе на мотоциклу
- Слика 5.32 Геометријске мере на мотоциклу
- Слика 5.33 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу
- Слика 5.34 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу
- Слика 5.35 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу
- Слика 5.36 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу
- Слика.5.37 Померање тежишта
- Слика 5.38 Промена односа обимне и вертикалне силе на точку
- Слика 5.39 Поређење техничких својстава једнотражног (а) и двотражног (б) возила
- Слика 5.40 Мотоцикл kawasaki GPX 400
- Слика 5.41 Осцилаторни модел мотоцикла
- Слика. 5.42 Идентификациони модел мотоцикла
- Слика. 5.43 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко предњег точка
- Слика 5.44 а/ узајамна спрега вибрационих процеса са слике 5.43, б/ вертикално померање центра неослоњене масе предњег точка за горе наведен тип побуде
- Слика. 5.45 а/, б/ вертикално померање и одговарајућа брзина центра неослоњене масе задњег точка, респективно, за дати вид побуде
- Слика. 5.46 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко задњег точка
- Слика 5.47 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко оба точка
- Слика 5.48 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при импулсној побуди преко оба точка
- Слика 5.49. а/, б/ вертикална померања неовешаних маса мотоцикла, предње и задње респективно
- Слика.5.50 Приказ система, возач-мотоцикл као модел за анализу убрзавања
- Слика 6.1 Мерач вибрација на телу возача
- Слика 6.2 Постављање троосног давача на рам мотоцикла
- Слика 6.3 Анализатор вибрација – уређај “B&K 4447”
- Слика 6.4 Чеона страна уређаја “B&K 4447”
- Слика 6.5 Приказ измерених резултата
- Слика 6.6 Примери сачуваних (меморисаних) података мерења и израчунатих еквивалентних вредности изложености вибрацијама
- Слика. 6.7 Експериментални мерни ланац
- Слика 6.8 Троосни давач убрзања (Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), 2016)
- Слика 6.9 Давач транслярног померања (на основу њега се мери угао заокретања управљача) (HBM WA/100)(HBM, 2016)

- Слика 6.10 *Једноосни давач убрзања (HBM, 2016)*
- Слика 6.11 *HBM Spider 8 (HBM, 2016)*
- Слика 6.12 *Испитни мотоцикл YAMAHA R6*
- Слика 6.13 *Мерни систем HBM Spider8*
- Слика 6.14 *Троосни давач убрзања HBM ASC 5631-002*
- Слика 6.15 *Једноосни давач убрзања HBM B12 на предњем точку*
- Слика 6.16 *Мотоцикл YAMAHA R6 са мерном опремом HBM SPIDER 8 снимљен из различитих углова*
- Слика 6.17 *Мотоцикл YAMAHA R6 на линији техничког прегледа – мерни ваљци*
- Слика 6.18 *Једноосни давач убрзања HBM B12 на предњем точку*
- Слика 6.19 *Једноосни давач убрзања HBM B12 на задњем точку*
- Слика 6.20 *Давач трансляторног померања управљача*
- Слика 6.21 *Мерни систем HBM Spider 8*
- Слика 6.22 *Мерни систем HBM Spider 8 са PC рачунаром*
- Слика 6.23 *Вожња мотоцикла по кругу*

СПИСАК ТАБЕЛА

- Табела 4.1. Приказ процентуалног учешћа смртно страдалих мотоциклиста у односу на укупан број страдалих у САД. (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2013)
- Табела 4.2. Структура конструкције мотоцикла
- Табела 6.1. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у првом мерењу
- Табела 6.2. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у другом мерењу
- Табела 6.3. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у трећем мерењу
- Табела 6.4. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у четвртном мерењу
- Табела 6.5. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у петом мерењу
- Табела 6.6. Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у шестом мерењу
- Табела 6.7. Однос вредности компонентни убрзања током интервала убрзавања
- Табела 6.8. Однос вредности компонентни убрзања током интервала кочења
- Табела 6.9. Измерена убрзања и силе на точковима током мерења
- Табела 6.10. Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 0 \text{ o/min}$
- Табела 6.11. Испитивање на линији техничког прегледа $V=5 \text{ km/h}$, $n=800 \text{ o/m}$
- Табела 6.12. Испитивање на линији техничког прегледа $V=0 \text{ km/h}$, $n=2000 \text{ o/min}$
- Табела 6.13. Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$
- Табела 6.14. Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 4000 \text{ o/min}$
- Табела 6.15. Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 6000 \text{ o/min}$
- Табела 6.16. Средње вредности стандардних девијација за мерења од 1-6
- Табела 6.17. Вожња по кругу-десни круг- првим степеном преноса
- Табела 6.18. Вожња по кругу-леви круг- првим степеном преноса
- Табела 6.19. Убрзавање од 20-150 km/h и кочење од 150-20 km/h
- Табела 6.20. Вожња преко вертикалне побуде (ивичњак) при брзини од 17 km/h
- Табела 6.21. Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини 30 km/h
- Табела 6.22. Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини од 60 km/h
- Табела 6.23. Правoliniјско кретање константном брзином 70 km/h
- Табела 6.24. Правoliniјско кретање константном брзином 120 km/h
- Табела 6.25. Правoliniјско кретање константном брзином 130 km/h
- Табела 6.26. Правoliniјско кретање брзином 70 km/h
- Табела 6.27. Правoliniјско кретање брзином 120 km/h
- Табела 6.28. Правoliniјско кретање брзином 130 km/h
- Табела 6.29. Упоредни приказ статистичких вредности мерења при правoliniјском кретању брзинама 70 km/h; 120 km/h; 130 km/h

СПИСАК ДИЈАГРАМА

- Дијаграм 6.1 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у првом мерењу
- Дијаграм 6.2 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у другом мерењу
- Дијаграм 6.3 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у трећем мерењу
- Дијаграм 6.4 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у четвртном мерењу
- Дијаграм 6.5 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у петом мерењу
- Дијаграм 6.6 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у шестом мерењу
- Дијаграм 6.7 Убрзање у правцу Y осе током интервала кочења
- Дијаграм 6.8 Убрзање у правцу Z осе током интервала кочења
- Дијаграм 6.9 Убрзање у правцу X осе током интервала кочења
- Дијаграм 6.10 Испитивање на линији техничког прегледа $V=5\text{km/h}$, $n=0\text{ o/min}$
- Дијаграм 6.11 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5\text{ km/h}$, $n = 800\text{ o/m}$
- Дијаграм 6.12 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 0\text{ km/h}$, $n = 2000\text{ o/min}$
- Дијаграм 6.13 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5\text{ km/h}$, $n = 2000\text{ o/min}$
- Дијаграм 6.14 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5\text{ km/h}$, $n = 4000\text{ o/min}$
- Дијаграм 6.15 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5\text{ km/h}$, $n = 6000\text{ o/min}$
- Дијаграм 6.16 Средње вредности стандардних девијација за мерења од 1-6
- Дијаграм 6.17 Вожња по кругу-десни круг- првим степеном преноса
- Дијаграм 6.18 Вожња по кругу-леви круг- првим степеном преноса
- Дијаграм 6.19 Убрзавање од 20-150 km/h и кочење од 150-20 km/h
- Дијаграм 6.20 Вожња преко вертикалне побуде (ивичњак) при брзини од 17 km/h
- Дијаграм 6.21 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини 30 km/h
- Дијаграм 6.22 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини од 60 km/h
- Дијаграм 6.23 Правoliniјско кретање константном брзином 70 km/h
- Дијаграм 6.24 Правoliniјско кретање константном брзином 120 km/h
- Дијаграм 6.25 Правoliniјско кретање константном брзином 130 km/h
- Дијаграм 6.26 Убрзања у центру предњег точка у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања
- Дијаграм 6.27 Убрзања у центру задњег точка у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања
- Дијаграм 6.28 Убрзања у тежишту мотоцикла у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања

Списак коришћених ознака и величина**мерна јединица, назив величине**

a	m/s^2 , убрзање/успорење
c	-, коефицијент пригушења
F	N, сила;
f	Hz, фреквенција;
J	kg/m^2 , момент инерције;
k	N/m, коефицијент еластичности
M	Nm, момент;
m	kg, маса;
P	W, снага;
r	m, полупречник;
t	s, време;
U	V, напон;
v	m/s, брзина;
x	m, растојање;
y	m, растојање
ω	rad/s, угаона брзина
β	°, угао затура
E	J, енергија кочења
δ_k	-, коефицијент утицаја обртних маса
H	J/cm^3 , доња топлотна моћ горива
V	cm^3 , запремина мотора
λ_v	-, коефицијент вишка ваздуха
n_e	o/min, број обртаја коленастог вратила
τ	-, тактност мотора
φ	-, коеицијент приањања

САДРЖАЈ:

1. УВОД -----	3
1.1. КОНЦЕПТ ИСТРАЖИВАЊА -----	5
1.2. СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ -----	6
2. МЕТОДОЛОШКИ КОНЦЕПТ -----	8
2.1. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА -----	8
2.2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ -----	10
2.2.1. Основне претпоставке - хипотезе -----	10
2.3. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА И ОБРАДА ПОДАТАКА -----	11
2.3.1. Научне методе истраживања -----	11
3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ -----	13
4. АСПЕКТИ БЕЗБЕДНОСТИ МОТОЦИКЛА -----	21
4.1. СТАТИСТИЧКИ ПОКАЗАТЕЉИ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА -----	21
4.2. КОНСТРУКЦИЈА КАО ЧИНИЛАЦ БЕЗБЕДНОСТИ МОТОЦИКЛА -----	32
4.2.1. Конструкција мотоцикла - Погонски агрегат -----	34
4.2.2. Конструкција мотоцикла - Преносници снаге -----	35
4.2.3. Конструкција мотоцикла - Носећа и заштитна структура -----	37
4.2.4. Конструкција мотоцикла - Систем еластичног ослањања -----	41
4.2.5. Конструкција мотоцикла - Систем за кочење -----	44
4.2.6. Конструктивне карактеристике мотоцикла YAMAHA R6 -----	46
5. РАЗВОЈ И АНАЛИЗА ДИНАМИЧКОГ МОДЕЛА -----	48
5.1. ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ДИНАМИКУ МОТОЦИКЛА -----	48
5.1.1. Ефекат самостабилизације двоточкаша -----	48
5.1.2. Ризичне осцилације мотоцикла -----	50
5.2. АНАЛИЗА КОЧЕЊА МОТОЦИКЛА -----	54
5.2.1. Процес кочења -----	54
5.2.2. Равански симулациони модел -----	59
5.2.3. Динамичке једначине у процесу кочења -----	62

5.3. МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕС УБРЗАВАЊА - ЗАЛЕТ МОТОЦИКЛА	67
5.4. ТЕОРИЈСКИ МОДЕЛ СПРЕГНУТИХ ОСЦИЛАЦИЈА ПРЕДЊЕГ И ЗАДЊЕГ ТОЧКА. ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ МОТОЦИКЛА.	70
5.5. РАВАНСКИ СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ ОСЦИЛАЦИЈА МОТОЦИКЛА АНАЛОГИЈА СА МОДЕЛОМ ВОЗИЛА	80
5.6. МОДЕЛ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА	87
6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	88
6.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ МОТОЦИКЛОМ KAWASAKI GPX 400	88
6.1.1. МЕРНА ОПРЕМА НА МОТОЦИКЛУ Kawasaki GPX 400	88
6.1.2. Анализатор вибрација на телу - уређај "B&K 4447"	89
6.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ МОТОЦИКЛОМ YAMAHA YZF R6	92
6.2.1. Експериментални мерни ланац	92
6.2.2. Давач 1 - троосни давач убрзања HBM ASC 5631-002 SN W-71003	93
6.2.3. Давач 2 – давач транслаторног померања HBM WA/100	93
6.2.4. Давач 3 - једноосни давач убрзања HBM B12	94
6.2.5. Универзално појачало - HBM Spider 8	94
6.2.6. Постављање мерне опреме на мотоцикл YAMAHA R6	95
6.3. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА	99
6.3.1. Резултати мерења при прволинијској вожњи на мотоциклу Kawasaki GPX 400	99
6.3.2. Резултати мерења на линији техничког прегледа	109
6.3.3. Вожња по кругу	118
6.3.4. Испитивање убрзавања-кочења	131
6.4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ДИСКУСИЈА	169
7. ЗАКЉУЧЦИ	171
7.1. ИСПУЊЕНОСТ ХИПОТЕЗА	173
7.2. НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА	174
8. ЛИТЕРАТУРА	176

1. УВОД

У друмском саобраћају се могу срести возила различитог концепта градње и различитих карактеристика. Према броју трагова и точкова уобичајено је да се возила разврставају на возила са једним трагом и два точка и возила са два трага, односно са четири и више точкова. Више података о класификацији и категоризацији возила дато је у „Правилнику о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“, као пратећег норматива Закона о безбедности саобраћаја, (Закон о безбедности саобраћаја на путевима, 2010).

Бицикл и мотоцикл су две репрезентативне категорије возила са једним трагом и два точка, која се срећу у саобраћају а чије динамичке карактеристике у интеракцији са понашањем возача битно утичу на безбедност саобраћаја.

Проучавање динамике возила са једним трагом, пре свега бицикла, спроводи се дуже од 200 година, а значајни резултати у овом домену постигнути су у току последње четири деценије. При томе се може рећи да кретање бицикла и мотоцикла поседује пуно заједничких својстава, али и` да се битно разликује од кретања двотражних возила.

Мотоцикл припада L3 врсти једнотражних возила, тзв. двоточкаша, чија максимална конструктивна брзина без обзира на начин преноса прелази 45km/h, или са мотором чија запремина цилиндра, у случају да се ради о мотору СУС прелази 50 cm³, или чија највећа стална номинална снага прелази 3kW за електромоторе (SRPS ISO 3833, 2005).

У бројним радовима, објављеним у овој области, разматрани су разни проблеми зависно од актуелности у посматраном периоду времена. Теоријске анализе обухватиле су разматрања праволинијских и криволинијских режима кретања ових возила у које је укључен и утицај возача и то на два начина:

- као пасиван у смислу додатне масе којом се утиче на структуру и конфигурацију система,
- као активан у смислу управљачког дејства преко команди возила и промене положаја тела у односу на возило (Aleksandrović et al., 2011).

За разлику од двотражних возила која поседују стабилност држања правца кретања без помоћи возача, једнотражна возила не поседују ни стабилност правца кретања ни стабилност положаја у односу на пут.

Из ових разлога, улога возача једнотражних возила је веома компликована и тешка. Он се замара у току вожње и веома је често узрочник саобраћајних незгода са тешким повредама или смртним случајевима (Radonjić 1995).

Без обзира на разлике које постоје између возача аутомобила и мотоциклиста, остаје чињеница да анализирана популација мотоциклиста има 37 пута већу вероватноћу да изазове саобраћајну незгоду и 8 пута већу вероватноћу да у тој незгоди буде повређена у односу на возаче путничких аутомобила. (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2013).

Мотоцикл као превозно средство представља извор опасности како по возача и сувозача због небезбедне каросерије, тако и по остале учеснике у саобраћају због своје динамичности. Због могуће велике брзине кретања представља агресивно возило по пешаке или слабије двоточкаше, мада, због небезбедне каросерије, односно секундарног удара у случају саобраћајне незгоде, представља највећу опасност по самог возача (Appel et al., 1990).

У саобраћајним незгодама са другим возилом, рањиви учесници у саобраћају нису додатно заштићени, већ остварују директне контакте са возилима која учествују у саобраћајној незгоди, односно са подлогом, у случају пада након судара. На тај начин задобијају теже телесне повреде од возача и путника који се, у време настанка незгоде, налазе у возилима која имају затворену каросерију. (Janković et al, 2008).

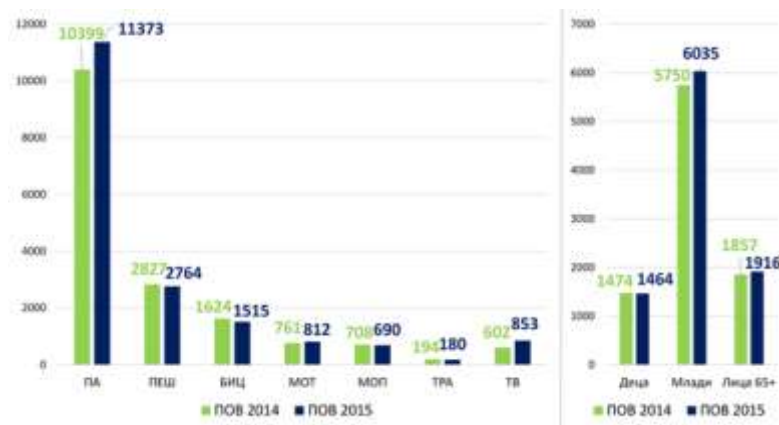


Сл. 1.1 Индекс рањивости: Показује број погинулих на 100 настрадалих лица у саобраћајним незгодама, по категоријама учесника и старосним групама (Агенција за безбедност саобраћаја [ABS], 2016)

Забрињавајући је податак о повећању броја саобраћајних незгода двоточкаша на нашим путевима, а нарочито у периоду либеризације увоза мотоцикала и њихове велике популаризације међу младим возачима (Aleksandrović et al., 2006). Корисници-возачи најчешће не располажу потребним техничким знањима о стабилности кретања возила и његовим динамичким карактеристикама, што је често узрок саобраћајне незгоде.

Квалитет пута и услови саобраћаја често су знатно испод нивоа који захтевају динамичке карактеристике мотоцикла.

Динамичке карактеристике мотоцикла у релацији са понашањем возача битно утичу на безбедност саобраћаја. У опширној студији (ABS, 2015) дати су подаци о процентима настрадалих у саобраћајним незгодама по категоријама учесника и то: аутомобили 52%, једнотражна возила 24%, од тога бицикли 6%, мопеди 5%, мотоцикли 13% и пешаци 17% (слика 1.2).



Сл. 1.2 Број повређених лица у 2014. и 2015. години, у односу на категорију возила, својство учешћа у саобраћају и старост учесника (ABS, 2016).

Подаци који се односе на категорије возила, обухватају возаче и путнике у наведеним категоријама возила: ПА - путнички аутомобили; ПЕШ - Пешаци; БИЦ - Бицикл; МОТ - Мотоцикл; МОП - Мопед; ТРА - Трактор; ТВ - Теретно возило.

У динамичким анализама двоточкаша, како теоретским, тако и експерименталним посебан проблем је укључивање утицаја возача, јер код мотоцикала више него код других возила, понашање возача утиче на стабилност и безбедност кретања. Како је мотоцикл возило са једним трагом, то се оно лако може наћи у положају лабилне равнотеже, јер га стабилизују динамичке силе које су последица режима вожње. Познато је да и бицикл, као двоточкаш, возач директно држи у равнотежи. (Weidele, 1991):

1.1. КОНЦЕПТ ИСТРАЖИВАЊА

План и програм рада у оквиру докторске дисертације у функцији решавања постављених задатака истраживања подељен је у четири фазе истраживања које су међусобно повезане.

У првој фази истраживања биће дат преглед и анализа доступне литературе као и светских трендова и достигнућа у проучавању проблема безбедности мотоциклиста у саобраћају. У овом делу посебан акценат је стављен на њихове карактеристике и специфичности и то као категорије учесника у саобраћају, која има посебну конструкцију, специфичне околности под којима возачи страдају, начин на који страдају, факторе који утичу на страдање мотоциклиста. Посебан проблем је истраживање губитка стабилности мотоцикла, нарочито у ситуацијама када је мотоциклиста изазивач настанка саобраћајне незгоде, а често и једини учесник у истим. Такође, у овом делу биће наведене динамичке и конструктивне карактеристике различитих класа и типова мотоцикала, посебно са нагласком на конкретне мотоцикле на којима се врши испитивање.

У оквиру друге фазе ће бити представљен симулациони модел мотоцикла са возачем. На овом моделу могу да се идентификују вибрације рама мотоцикла за одређене услове пута, подешености пригушне карактеристике ослањања, тежину возача и слично.

Трећа фаза је експериментални део рада, а уједно и само тежиште овог рада. У оквиру експерименталног дела, биће дат опис мерне опреме, опис мерних ланаца и њихова функција. У експерименталним истраживањима ће се користити опрема за мерење хуманих вибрација и анализатор осцилаторних процеса Bruel & Kjaer, као и универзални систем за регистровање мерних сигнала и аквизицију података HBM Spider 8.

У оквиру четврте фазе изнеће се главни закључци, запажања, препоруке и правци даљих истраживања који су засновани на резултатима добијеним у дисертацији. У закључним разматрањима извршиће се верификација полазних хипотеза и истаћи научни допринос приказаних модела, и експериментално добијених података, као и правци даљих истраживања.

1.2. СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Дисертација се састоји из увода, шест поглавља и закључка.

У уводу је дат осврт на проблематику безбедности саобраћаја, са посебним освртом на мотоцикле, тренутно стања безбедности саобраћаја, тенденцију унапређења у свету и нашој земљи.

У оквиру другог поглавља - Методолошки концепт, дефинисан је проблем, предмет, као и циљ истраживања. Такође, у оквиру овог поглавља истакнуте су и полазне хипотезе рада. На основу изнетог проблема и постављених хипотеза наведене су научно-истраживачке методе и технике истраживања које су коришћене за израду дисертације.

У трећем поглављу – Преглед литературе, дат је преглед досадашњих истраживања која се односе на развој динамичких модела кретања мотоцикла. Преглед литературе је базиран на одабраној групи радова, чија је тематика слична теми докторске дисертације. Наведени радови су подељени у две групе.

У првој групи радова, наведени су радови у којима разматра развој динамичких модела широког спектра (вишеструких динамичких модела, модела контроле и управљања мотоциклом, развој различитих модела пнеуматика и сл.).

У другој групи радова, приказани су радови који проучавају понашање мотоцикла у сложеним условима саобраћаја (приказани су радови који се баве проблематиком судара различитим методолошким приступима, предвиђања саобраћајних незгода са учешћем мотоцикала, напредне едукације мотоциклиста и сл.). Изнет је критички осврт на предности и недостатке за неке од наведених методологија.

У четвртом поглављу – Аспекти безбедности мотоцикла, наведени су најпре статистички показатељи безбедности саобраћаја, пре свега са аспекта учешћа мотоцикала. Потом следи део који се односи на конструкционе чиниоце активне безбедности мотоцикала. У овом делу дат је преглед склопова и подсклопова који чине мотоцикл. Посебно су апострофиране неке њихове карактеристике и специфичности којима су детерминисани и сами учесници у саобраћају, категорија учесника-возача које углавном не срећемо код других врста возила, околности под којима мотоциклисти страдају, начин на који страдају, факторе стабилности који утичу на страдање мотоциклиста. Истраживање губитка стабилности мотоцикла, нарочито у ситуацијама када је мотоциклиста изазивач настанка саме саобраћајне незгоде, а често и једини учесник у истим.

У петом поглављу – Развој и анализа динамичког модела, приказани су модели који по класификацији припадају подужној динамици – модели кочења и убрзавања, а потом и други модели погодни за рачунарску симулацију, пре свега осцилаторни модел дискретних маса. За све ове моделе дате су одговарајуће нумеричке динамичке симулације. У овом поглављу је развијен модел у коме фигуришу геометријски и динамички параметри кретања мотоцикла, важни за симулацију динамичких реакција тла које су од суштинског значаја за стабилност и управљивост мотоцикла. Будуће формирање измењених модела мотоцикла изводило би се на бази специфичности појединих категорија мотоцикла.

У шестом поглављу – Резултати истраживања, приказани су резултати експерименталних истраживања са мотоциклима KAWASAKI GPX 400 и YAMAHA YZF R6 у различитим путним условима и возним режимима испитивања. У оквиру експерименталног дела, дат је опис коришћене мерне опреме, мерних ланаца и начин њиховог корићења у сврху истраживања. У експерименталним истраживањима је коришћена опрема за мерење хуманих вибрација и припадајући анализатор осцилаторних процеса Bruel & Kjaer, као и универзални систем за регистровање мерних сигнала и аквизицију података HBM Spider 8.

У седмом поглављу у оквиру закључака, изнети су закључци на основу, првенствено, сопствених мерења и анализе, као и нумеричких симулација. Дате су препоруке и правци даљих истраживања који су засновани на анализама и резултатима добијеним у дисертацији. У закључним разматрањима извршена је и верификација полазних хипотеза и образложен научни допринос аутора.

У осмом поглављу дат је преглед литературе.

2. МЕТОДОЛОШКИ КОНЦЕПТ

2.1. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Динамичке једначине које описују кретање мотоцикла су сложене (Willumeit, H.P., 1998), (Janković, 2007). Постоје многе разлике у конструктивним извођењима мотоцикла, које би морале бити обухваћене моделирањем, тј. симулационим моделом, да би резултати симулације били реалнији, (Cossalter, 2008).

Посебан проблем је укључивање утицаја возача, јер код мотоцикала више него код других возила, понашање возача утиче на стабилност и безбедност кретања. Како је мотоцикл возило са једним трагом, то се оно лако може наћи у положају лабилне равнотеже, јер га стабилизују динамичке силе које су последица режима вожње. Познато је да бицикл, као двоточкаш, сам возач директно држи у равнотежи, (Astrom, 2006).

При интензивном кочењу (убрзавању) се јавља галопирање и вертикално померање тежишта, а као последица тога промена реакција тла и угрожена безбедност вожње, (Demić, 1996).

Од значаја је промена вертикалне реакције на точку и промена обимне силе у функцији времена.

Један од циљева дисертације је да се експериментално идентификује промена количника тангенцијалног и вертикалног убрзања на точку, што директно утиче на динамичке реакције тла, како би се сагледао утицај интензивног кочења и убрзавања на подужну стабилност, а други да се разради модел којим се постиже праћење померања тежишта мотоцикла како би се исто користило као улаз у анализи кретања мотоцикла и возача при екстремним кочењима и убрзавањима. Ова екстремна убрзања (успорења) су већа од гравитационог убрзања „g“, могу бити по апсолутној вредности до четири пута већа (убрзање при залету може бити око 1-1.4 g, док при кочењу и до 3-4 g).

Очигледно је да динамичке силе са тла имају велики утицај на рам у смислу његових веза, пошто у конструкцији самог мотоцикла као система постоје делови који су различитих структура и крутости (почев од точка, преко система еластичног ослањања), па доводе до тога да сила која се преноси са тла на рам и даље до возача није константна, што даље да узрокује вибрације рама као и тела возача.

Из ових разлога циљ конструктора је да крутост рама буде усаглашена са масом мотоцикла и свим еластопригушним везама, да се не дозволе вибрације рама које би у крајњем случају могле да доведу и до оштећења самог рама, са једне стране и вибрација којима би се угрожавао комфор и безбедност вожње, са друге стране.

У домаћој литератури је мало обрађиван проблем динамике мотоцикала уопште, па и ситуације када долази до смањеног искоришћења приањања, што се догађа услед неусклађености подлоге (адхезиона сила) и режима вожње (интензитет погонске или кочне силе).

Модел мотоцикла који репрезентује кретање у подужној равни је упрошћен модел, аналоган моделу возила са једним трагом. Одређене геометријске и кинематске апроксимације које су притом учињене, за праволинијску вожњу, не

умањују значај дискусије у вези самог феномена промене вертикалних динамичких сила при кочењу или убрзавању. Овако једноставан динамички модел је одабран да би у првом плану била суштина карактера промене динамичких сила на точковима у одређеном временском интервалу, карактеристичном за време реаговања возача (1s).

Уз горње наводе треба напоменути, да већина савремених мотоцикала поседује одвојене системе кочења и то предњег точка преко ручне команде десне руке, а задњег точка преко ножне команде десне ноге. Овакав концепт система за кочење даје возачу више могућности за избор адекватне стратегије кочења у неким регуларним условима. Међутим, у неочекиваним, стресним ситуацијама, овакав концепт често доводи до грешака, у виду рефлексног и паничног кочења (Radonjić et al 2011). Из ових разлога, интегритет структуре система, возач – мотоцикл, односно, стабилност његовог кретања при кочењу је увек актуелан проблем и зато ће бити предмет истраживања.

Чињеница је да мотоцикл не поседује сигурносне појасеве за возача и сувозача нити затворен заштитни простор, па тиме није спречено слободно и непредвиђено кретање у простору у појединим фазама одвијања саобраћајне незгоде. У великом броју случајева је потврђено да је возач пао са мотоцикла у фази која је претходила незгоди и да су повреде биле тешке. При томе је утврђена висока корелација између броја падања са мотоцикла и погрешног кочења. Под појмом погрешно кочење, код класичних кочних система, подразумева се, неблаговремено реаговање, неадекватан избор стратегије кочења, односно, коришћења потенцијалних својстава кочења само предњим, само задњим точком, са оба точка истовремено, или по одређеном „алгоритму“, затим, панично кочење изнад границе приањања унутар спреге пнеуматик – коловоз (Radonjić et al 2012).

Мотоцикли са својим динамичким карактеристикама, малом сопственом масом, а моторима завидних вучно брзинских карактеристика, имају изузетно добре перформансе залета, а сам процес залета спада у сегмент високог ризика вожње мотоцикла. Седамдесетих година двадесетог века, конструисани су мотоцикли који су за 3-4 s достигали брзину од 100 km/h. Такви мотоцикли су са аспекта активне безбедности били небезбедни, упоређујући их са мотоциклима данашње генерације, који поред одличних перформанси убрзања имају и адекватне кочне системе који ефикасно смањују постигнуту брзину кретања и безбедно заустављају мотоцикле у стање мировања.

Мотоцикли, у односу на двотражна возила са еластичним пнеуматичима, не поседују сопствену стабилност држања правца без помоћи возача, а због своје специфичне конфигурације каросерије, утицаја аеродинамичких сила и контактних услова са окружењем генерално, су осетљивији на побуде како од неравнина пута тако и аеро ефеката.

Комплексна функција управљања возача, његов положај у односу на мотоцикл и команде, неповољни контактни услови преко руку, ногу, целокупног тела, доводе до високих нивоа његовог менталног и физичког оптерећења. Вожња мотоцикла је типичан пример излагања људског оператора комплексном дејству вибрација, са високим ризиком како са аспекта његовог здравља тако и са аспекта безбедности учешћа у саобраћају. Сагласно овим чињеницама, следи да се возач, као људски оператор, за време вожње мотоцикла мора посматрати као сложен физичко – биолошки систем. Са физичког аспекта може да се посматра анатомија тела возача у релацији са приказима адекватних осцилаторних система дискретних маса спрегнутих еластичним и пригушним еквивалентима. Биолошки аспект возача је такође комплексан, са укљученим психо – физиолошким ефектима. Према томе, сваки приступ истраживању могућности повећања нивоа безбедности система

возач – мотоцикл, мора да базира на специфичностима понашања возача, техничким карактеристикама мотоцикла, потенцијалним утицајима окружења и њиховој интеракцији.

Схватајући значај истакнутих проблема, истраживање је фокусирано на експериментални приступ за идентификацију нумеричких вредности померања и убрзања предњег и задњег точка, као и самог тежишта система и вредновање осцилаторних процеса у току нестационарних режима кретања мотоцикла.

2.2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ

Приликом дефинисања циља овог рада узети су у обзир: стање савремене науке у домену безбедности мотоциклиста у саобраћају, бројност и комплексност фактора који утичу на понашање мотоциклиста, велике индивидуалне разлике међу мотоциклистима, разлика у годинама и искуству у вожњи мотоцикла, као и чињеница да је Република Србија међу водећим државама по степену угрожености мотоциклиста у саобраћају у Европи. По подацима за 2014. годину, (ABS, 2016), на територији Републике Србије у саобраћајним незгодама са mopедима и мотоциклима смртно је страдало 49, а теже, или лакше је било повређено 1175 возача и путника.

Анализе показују да у саобраћајним незгодама са учешћем двоточкаша често страдају млади. Старосна групација од 15 до 30 година учествује у скоро свакој четвртој саобраћајној незгоди са смртним исходом. Забрињавајући је податак да се број младих мотоциклиста, страдалих у саобраћајним незгодама не смањује.

Циљ истраживања је утврдити како режими вожње утичу, за неке од најчешће вожених мотоцикала, на возача мотоцикла, као и сам мотоцикл, односно идентификовати убрзања у различитим правцима као и у различитим режимима вожње и различитим условима пута и то на раму мотоцикла и телу возача. Притом имати на уму да је динамичке карактеристика ослањања могуће подесити на самом мотоциклу. Такође, циљ је успостављање експерименталне методологије мерења у светлу конструктивних карактеристика мотоцикла, режима вожње са утренираним возачем на деоници праволинијског и кружног пута.

Резултати добијени у докторској дисертацији могу да буду употребљени за напредне и квалитетније обуке будућих возача мотоцикала, у смислу презентовања нивоа троосних убрзања и предвиђања понашања мотоцикла у складу са тим. На тај начин значајно би се смањио број саобраћајних незгода у којима су учесници млади и неискусни возачи мотоцикала, чиме би се повећала укупна безбедност саобраћаја.

2.2.1. ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ - ХИПОТЕЗЕ

Основна идеја, од које се креће у докторској дисертацији, јесте да се утврди, шта превасходно утиче на губитак стабилности мотоцикла приликом вожње и које динамичке карактеристике имају пресудан утицај у дестабилизацији самог мотоцикла. Губитак стабилности мотоцикла можемо анализирати на основу изненадних поремећаја (односно појава) од побуде пута, преко система еластичног ослањања, рама мотоцикла до самог управљача и седишта.

Основна хипотеза 1: Губитак стабилности мотоцикла (праволинијско кретање) може се идентификовати на основу динамичких модела и параметара кретања и приањања мотоцикла.

Помоћна хипотеза 1: Неадекватан процес кочења изазива губитак стабилности мотоцикла, па ће идентификација успорења и адекватног субмодела везаног за процес кочења дати допринос у повећању безбедности вожње преко стабилности система мотоцикл-возач.

Помоћна хипотеза 2: Процес интензивног убрзавања-залета мотоцикла, има удео у стабилности мотоцикла, па ће идентификација успорења и адекватног субмодела за процес залета, дати допринос у повећању безбедности вожње.

Помоћна хипотеза 3: Осцилаторни и вибрациони процеси имају значајан утицај на дестабилизацију управљања мотоциклом, тако да би развој адекватног субмодела допринео у смислу бољег разумевања стабилности мотоцикла.

Основна хипотеза 2: Неадекватно деловање возача на команде мотоцикла (ручне, ножне и померање тела), утиче на дестабилизацију мотоцикла, чиме се угрожава безбедност саобраћаја.

Помоћна хипотеза 4: Идентификација успорења у сва три правца на телу возача би била корисна у едукационе сврхе у смислу обуке нарочито младих возача.

Наиме млади и неискусни возачи (почетници у вожњи мотоцикла), често на поремећај који се јавља од побуде пута, преко система еластичног ослањања и рама мотоцикла, до самог управљача (гувернала) и седишта мотоцикла, не реагују адекватно. У овим ситуацијама они реагују панично и својом реакцијом, уместо да умире и стабилизују мотоцикл, често још више повећавају утицај дестабилизације. Код мотоцикала са високим перформансама ово може бити и фатално по саме возаче мотоцикла, сувозаче истих, као и остале учеснике у саобраћају.

Измереним резултатима убрзања (успорења) и релевантних померања, добијеним са одговарајућом опремом, била би извршена идентификације динамичких карактеристика чији би резултати имали своје место у обуци возача у ауто-мото школама, а била би применљива и на обукама возача који већ поседују одговарајућу возачку дозволу, а схватају да им је потребно додатно усавршавање.

Применом резултата истраживања може се значајно побољшати ефикасност рада у превенцији саобраћајних незгода са мотоциклистима.

2.3. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА И ОБРАДА ПОДАТАКА

2.3.1. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

У циљу ефикасне реализације истраживања и добијања што је могуће валиднијих резултата примењена је метода динамичке симулације и експериментално снимање променљивих кретања мотоцикла у простору, транслаторних и угаоних убрзања релевантних за безбедносно-динамичке карактеристике система возач-мотоцикл.

У експерименталним истраживањима је коришћена опрема за мерење вибрација система возач-мотоцикл и анализатор осцилаторних процеса Bruel & Kjaer, као и универзални систем за регистровање мерних сигнала и аквизицију података HBM Spider 8.

Кроз цео процес истраживања је коришћена анализа и синтеза, као и логичке методе индукције и дедукције.

Истраживања су обављена у лабораторији „Ауто мото савеза Србије – Центра за моторна возила“ Крагујевац, на линијама техничких прегледа „ММ-бест“ и „Тандем“ Крагујевац, путевима и улицама града Крагујевца, као и на стази за вожњу ауто и мото трка „Шумадија сајам“ Крагујевац.

У делу „деск истраживања“ коришћене су методе дескриптивне статистике којима су илустровани различити подаци и показатељи прикупљени из литературе. Циљ ових приказа је анализа структуре незгода и временска учестаност у појединим периодима.

Такође, коришћено је и динамичко моделирање система са дискретном масом, методологија постављања једначина кретања у временском домену, као и њихово решавање.

3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Преглед литературе је базиран на одабраној групи радова, чија је тематика слична теми докторске дисертације. Радови су сортирани по феноменима који су проучавани, кратким запажањима и добијеним резултатима, као и правцима даљих истраживања.

Прва група анализираних радова се односи на приказе модела динамичких карактеристика мотоцикла.

У првој групи радова приказани су разни модели динамичких параметара кретања мотоцикла у смислу развоја динамичких модела широког спектра (вишеструких динамичких модела, модела контроле и управљања мотоциклом, развој различитих модела пнеуматика и сл.).

Тематиком безбедности и моделирањем управљања мотоцикла се бавио R. S. Sharp у свом раду из 1978. године: "Осврт на управљачка својства мотоцикла и карактеристике при праволинијској стабилности" (Sharp, 1978). Приказано је како практично тако и теоретско разматрање понашања мотоцикла у процесу управљања. Опис примера из праксе се заснива на малобројним научно-истраживачким радовима у којима је обрађена ова тема, а делимично и на неким искуственим подацима. Учињен је покушај да се прикаже тренутно стање истраживања ове проблематике, нарочито са аспекта самог мотоцикла, мада су разматране и поједине дискусије које се односе на личне способности возача као и на неке захтеве у том погледу.

Тему „Утицај рама мотоцикла и покретљивости возача на стабилност мотоцикла“ обрадила је 2007. године група аутора (Lot et al., 2007). Овај рад је детаљна студија стабилности мотоцикла при праволинијском кретању, која садржи нов математички модел мотоцикла. У раду је дат преглед неких претходних радова из ове области, а садржане су и дискусије које се односе на стабилност возила у различитим условима кретања, као и поређење између симулационих и експерименталних испитивања. Математички модел описује несиметричну динамику мотоцикла, ван подужне равни, а састоји се од линеарног модела са 12 степени слободе. Овај модел укључује утицај рама мотоцикла, возача и такозвани „напредни модел пнеуматика“. Моделирање торзионе крутости предње виљушке постигнуто је помоћу тањирасте опруге, док је веза возача и рама остварена помоћу две меке спиралне опруге.

Модел пнеуматика – узима у обзир адекватну геометрију пнеуматика и његов утицај на понашање мотоцикла. Модел мотоцикла је добијен помоћу „MBSymba“ – тј. „Maple“ пакета за аутоматско генерисање једначина кретања за сложене системе дискретних маса. „MBSymba“ пружа тзв. паметни приступ моделирању линеарних система, при чему корисник треба да дефинише које се променљиве могу занемарити, а потом софтвер аутоматски изврши комплетну линеаризацију. Овим приступом се лако формирају модели који имају дуге кинематске ланце или велики број степени слободе.

Стабилност мотоцикла је истраживана, како при малим брзинама због самостабилизације, тако и при великим брзинама. Нарочито је разматран утицај карактеристика мотоцикла и положаја и маса возача на ваљање, а истраживани су и пливање и галопирање од стране исте групе аутора.

Нумеричком симулацијом је показано да еластичност предње виљушке на савијање, доводи до стабиловања заокретања, при већим брзинама, а да при мањим брзинама има супротан ефекат, док еластичност виљушке на торзију, нема већег утицаја. Већа савојна еластичност осцилујућег рамена стабилизује галопирање при већим брзинама, док већа торзиона еластичност има супротан ефекат. Сам положај возача има улогу при стабиловању галопирања при већим брзинама и заокретање при мањим брзинама. У циљу верификације модела резултати симулације су упоређени са појединим експерименталним подацима и установљено је да се у великој мери подударају.

У раду под називом „Модална анализа мотоцикала при праволинијском кретању, као и при кретању у кривини“ (Cossalter et al., 2002), се проучава најпре праволинијско кретање мотоцикла, помоћу модалном анализом на 3Д нелинеарном моделу. Модел је формиран у систему природних координата. Аутори су предложили посебну процедуру за процену решења стабилног стања при праволинијском кретању и при вожњи у кривини. Разматрани су и приказани резултати модалне анализе спортских мотоцикала. Осим наведеног, посебно је истакнут утицај брзине и бочног (односно центрипеталног) убрзања на стабилност мотоцикла. Дати су и модални облици осциловања, а на крају, приказана је и веза између првих експерименталних тестова и резултата симулације.

У раду „Употреба модела мотоцикла ради анализе стабилности и контроле кретања мотоцикла“ (Sharp, 2000) је дат комплекснији модел захваљујући развоју софтвера. Анализирано динамичко понашање мотоцикала показује да су присутна врло специфична и значајна кретања која још увек нису у целости објашњена. Најчешће анализирани примери моделирања у литератури, захтевају додатне надоградње и даља испитивања. Овим моделима се задире у процесе аутоматике и управо таква једна методологија је представљена од стране аутора. Коришћен је модел АутоСим (AutoSim) за генерисање симболичних форми различитих линеарних и нелинеарних модула. Релативно сложена кинематика управљачког система као и дејство сила на предњи точак мотоцикла, разматрани су кроз излазну форму тзв. ГМК (геометријског места тачака) и то за случај при малим одступањима од праволинијске вожње као и при граничном стању равнотеже у кривини.

У раду аутора (Limebeer et al., 2001) обрађује се проблематика која се односи на стабилност мотоцикала током убрзавања и током кочења. Представљена је сложена студија утицаја убрзања и кочења на стабилност мотоцикла. Овај рад се базира на динамичком моделу мотоцикла који је већ раније представљен и сматра се да је један од најсвеобухватнијих динамичких модела мотоцикала. Обухвата примену, како линеарних, тако и нелинеарних модела. Модели су написани у програмском језику LISP и решавани уз коришћење пакета AUTOSIM. Допринос аутора је симулација управљања у циљу контролисаног кретања мотоцикла при убрзавању и кочењу.

Резултати су показали да је заокретање значајно дестабилизовано (надуправљивост) а да мотоцикл смањује брзину на путу са подужним нагибом (низбрдица). С друге стране, заокретање је отежано (подуправљивост) када се мотоцикл креће уз успон константном брзином, или када убрзава на равној подлози, што доприноси сигурнијем осећају управљивости мотоцикла током снажног убрзавања. Симулацијама су квантификоване већ познате појаве критичног приањања задњег пнеуматика у ситуацијама интензивног кочења у којима највећи удео има кочење задњим точком.

У раду „Механички компензатори система управљања код мотоцикала високих перформанси“ група аутора (Evangelou et al., 2007.) разматра употребу механичких

компензатора система управљања ради побољшања динамичког понашања мотоцикала високих перформанси. Ови компензатори могу да буду замена конвенционалних амортизера, а чини их спрега разних опруга, амортизера и компоненти које се називају инертери. Приказано решење оваквог компензационог система, захтева међусобну интеракцију и компатибилност електричних и механичких компоненти. Представљен је и метод пројектовања компензатора, базиран на одзивима тзв. Bode-Nyquist-ових фреквенција.

Почетна решења у пројектовању компензатора су касније оптимизована. Оптимизација омогућава побољшане перформансе током целокупног радног режима мотоцикла. Испитивање је имало за циљ да да одговор на питање “Које су то најбоље могуће перформансе система које се могу постићи употребом пасивног компензатора?” Ова студија се заснива на компјутерској симулацији која користи спортског мотоцикла Suzuki GSX-R 1000. Резултати су показали да је, у поређењу са конвенционалним амортизером управљачког система, могуће достићи значајна побољшања у динамичким својствима пливања и галопирања.

У раду „Multi-Body модел мотоцикла за симулацију кретања у реалном току времена коришћењем природних координата“ (Cossalter et al., 2008) представљен је нелинеарни „Multi-Body“ динамички модел мотоцикла са једанаест степени слободе. Главне целине овог модела су предњи и задњи део рама мотоцикла, управљачки систем, систем еластичног ослањања и пнеуматици. Развијен је модел пнеуматика, којим се узима у обзир геометријски облик пнеуматика као и еластичне деформације структуре пнеуматика. Једначине кретања произилазе из приступа који се базира на природним координатама. Модел је имплементиран у програмском пакету FORTRAN под називом FastBike. Како би се извршило тестирање модела, симулиран је слалом, али и маневрисање при промени возне траке. Уочено је велико подударање нумеричке симулације и експерименталних тестова. Поређење резултата FastBike-а са резултатима добијеним из неког од комерцијалних software-а је показало да су резултати FastBike-а значајно ближи реалности у односу на све остале. Нарочито треба нагласити да су симулације помоћу FastBike-а у реалном времену, па се као такве могу применити и на симулатору мотоцикла.

Управљањем мотоцикла, возач утиче на безбедност тока вожње. У раду „Динамички модел система мотоцикл-возач и примена фази (fuzzy) управљања“ (Liu et al., 1993) је доказано да је за безбедну вожњу мотоцикла изузетно важна интеракција система возач- мотоцикл. Систем возач-мотоцикл је репрезентативни систем за модел „човек-машина“. У овој студији анализиран је модел мотоцикла који је подвргнут фази (fuzzy) управљању представљајући перцепцију возача и његове реакције, у циљу реалног пројектовања мотоцикала. Креиран је 3D multy-body динамички модел који узима у обзир не само структуру мотоцикла већ и промене поступака самог возача. Фази контролер на основу правила контроле управљања и на основу метода фази закључивања тумачи улогу возача у систему возач-мотоцикл. Симулирано је кретање система возач-мотоцикл по кругу. Ова студија обезбеђује податке који се могу трансферисати у CAD (computer aided design) у циљу пројектовања контроле управљања у систему човек-машина.

Сличан динамички модел мотоцикла, симулатор са два точка разматран је 2007. године (Nehaoua et al., 2007). Ова група аутора је дала преглед развоја динамичких модела мотоцикла, при чему се њихов модел састоји од шест тела повезаних једноставним везама са укупно 11 степени слободе. Модел мотоцикла се користи као део апликације симулатора мотоцикла, да би се истражиле карактеристике мотоцикла у реалним условима. Динамичке једначине су постављене применом Лагранжовог принципа. Између осталог су узете у обзир

основне спољашње силе које утичу на понашање мотоцикла (силе на пнеуматикама, реакције возача, посебно кочне силе, итд.). На крају су приказани и резултати симулације за случај кретања мотоцикла дуж градске улице.

Контрола стабилности управљања мотоцикла у раду (Evangelou et al., 2006.) је проучавана анализом параметара амортизера у циљу оптимизације заокретања и галопирања тј. постизања компромиса ове две величине. Конвенционални амортизер управљачког система је замењен системом међусобно повезаних механичких компоненти опруга, амортизера и компензатора. Побољшане карактеристике се добијају захваљујући компензацији између релативне угаоне брзине управљачког система и управљања од стране људског оператора.

У раду „Виртуелни модел мотоцикла“ (Pagano, 2004), као главни циљ се постављају софтверске процедуре, које су засноване на интеграцији софтвера CAD-MBS-DA ради дефинисања геометријских, кинематских и динамичких параметара мотоцикла. Извршено је моделирање профила пнеуматика као и његов утицај на динамичко понашање мотоцикла. Прва фаза развоја модела састоји се од одабира степени слободе мотоцикла. Одабирају се параметри попут међуосовинског растојања, трага точка, нагиба осе управљача (угао затура), растојања између осе задњег точка и осе зглоба осцилујућег рамена, растојања између осе зглоба осцилујућег рамена и осе управљача и на крају параметри који се односе на димензије точкова директно „скинутих“ на основу ознаке пнеуматика (нпр. 180/55 R17).

„Теоретски и експериментални аспекти модела пнеуматика мотоцикла у циљу динамичке симулације“ је тема коју је обрадио Roberto Lot, са Универзитета из Падове, (Lot, 2003). Описани модел пнеуматика мотоцикла базиран је на физичкој интерпретацији експерименталних података. У овом моделу узет је у обзир реални облик структуре пнеуматика, као и утицај деформација пнеуматика. Дефинисан је положај тачке стварног контакта, тј. центар контактне површине, као нападна тачка реактивних сила, а за модел пнеуматика се користи „магична“ формуле (Hans Bastiaan Pacejka). Спрега између клизања и еластичних својстава, омогућава да се користећи исте релације адекватно опишу како стање равнотеже, тако и прелазно стање, чиме је избегнута употреба других, помоћних једначина.

Аутори R. S. Sharp и C. J. Alstead, разматрају утицај еластичности структуре на стабилност при праволинијском кретању мотоцикала (Sharp et al., 2007). Ради истраживања бочне динамике мотоцикла развијен је нови модел пнеуматика као и три нова модела мотоцикла. Модел пнеуматика је базиран на принципу „затегнуте струне“ и узима у обзир ширину газећег слоја, његову дисторзију, утицај масе газећег слоја као и промену нормалног оптерећења. Коришћене су вредности параметара које одговарају типичном пнеуматику код мотоцикала. Ови модели мотоцикала се односе на праволинијско кретање при констатним брзинама и као параметре садрже подешавања: (а) бочно померање предњег точка у предњим виљушкама, (б) торзионо заокретање предњих виљушки, (ц) торзионо заокретање задњег дела рама око осе која је управна на осу управљања.

За сваки од ових модела приказани су резултати сопствених фреквенција у зависности од примењене крутости амортизера. Закључено је да модели (а) и (ц) репрезентују спрегу међусобних утицаја на управљање мотоцикала високих перформанси и да представљају напредак са аспекта резултата који се односе на оптималну крутост структуре пнеуматика.

У раду „Динамичка својства пнеуматика мотоцикала и скутера, мерења и поређења“ (Cossalter et al., 2010), приказани су експериментални резултати истраживања пнеуматика мотоцикала и скутера. Експериментално испитивање је реализовано помоћу тест машине - пробног стола са ротационим диском посебно

подешеног за тестирање пнеуматика при великим угловима затвора. Најпре је утврђена упоредивост резултата добијених овим уређајем са другим уређајима за испитивања. Потом су презентована испитана својства пнеуматика за неколико различитих мотоцикала и скутера са аспекта крутости при нагињању и бочном клизању. Анализирани су ефекти радних услова пнеуматика (притисак ваздуха, оптерећење и температура), као и мерења момената отпора при котрљању.

Магична формула модела пнеуматика, која је примењена у анализи управљања аутомобила, је примењена и на симулациони модел мотоцикла (Tezuka et al., 2001). Везе између симулационих и измерених карактеристика, током праволинијске вожње, су упоређене са реалним отиском пнеуматика (Carpet Plotted Tire Model). Резултати тзв. магичног модела пнеуматика (Magic Formula Tire Model) су показали да се у великој мери подударају са реалним карактеристикама пнеуматика и да се промена карактеристика пнеуматика лако може остварити употребом овог модела.

Предности у моделирању динамике мотоцикала су анализирали аутори који су се махом бавили проблематиком динамичких модела мотоцикала (Sharp et al., 2004), полазећи од постојећег напредног динамичког модела мотоцикла. Аутори су описали побољшања у моделу и презентовали одзиве при малим поремећајима у односу на стабилна стања.

При том су узели у обзир:

- (а) геометрију контакта између пнеуматика и тла (отисак),
- (б) силе и моменте који се јављају на точку у функцији вертикалног оптерећења, угла нагиба точка и коефицијента клизања,
- (ц) карактеристику бочне крутости,
- (д) карактеристику задњег амортизера,
- (е) тежинско стање,
- (г) карактеристике управљачког механизма.

Начелно, створили су тзв. „магичну формулу“, модела точка мотоцикла и добили читав низ параметара понашања савремених пнеуматика. Тако формиран нови модел користили су за оцену стабилности и анализу осетљивости параметара при пројектовању. Ова три аутора су радила на унапређењу моделирања динамике мотоцикала и добијене резултате су изложили 2004. године на Универзитету Imperial College, London. Резултати указују да је крутост рама мотоцикла и даље кључни фактор, упркос постигнутим побољшањима у конструкционим решењима при изради рама мотоцикла.

Поред резултата који се односе на уобичајене аспекате односа возача и мотоцикла, дошли су до сазнања да ће се са проблемом појаве осцилација, чешће и теже суочити возачи са мањом телесном масом у поређењу са возачима који имају већу телесну масу. Нови модел је коришћен ради израде прорачуна који се односе на граничну стабилност и осетљивост конструкционих параметара. Ова анализа се спроводи како би се добиле информације о разликама развијаних модела са различитих аспеката и како би се лакше извеле структурне измене на самом моделу. Наглашен је утицај који на понашање модела има рам мотоцикла.

Аутори V. Cossalter, M. Da Lio, R. Lot и L. Fabbri, 2010. године обрађују проблематику маневрисања са аспекта општих метода за оцену маневрисања возила, са посебним нагласком на мотоцикле (Cossalter et al., 2010.). Представљени су нови приступи процене управљивости возила који се не темеље на симулацији маневара на отвореној петљи, нити се ослањају на формирање модела возача као система контроле. Уместо тога, суштина ове методе се своди на решење оптималне контроле граничних вредности између две тачке, у којима се

захтева да се возило (које је изложено физичким ограничењима попут приањања пнеуматика) креће најбрже могуће, између задате почетне и крајње позиције. Закључено је да су улазни подаци управљања – тј. реакције возача, помоћу којих се возило креће између задатих тачака, кључ за решење ове процедуре и представљају у извесном смислу идеалне реакције, тј. реакције идеалног возача. Резултујуће кретање се назива оптималним маневром, јер приказује најефикаснији начин којим се дато возило може кретати између две тачке, а на основу изабраног оптималног критеријума. Добијене вредности могу се узети као референтне и сврсисходне у поређењу са осталим возилима. Величина "Penalty function" тј. алгоритам оптимизације, који се користи да се дефинишу оптимални услови при оптималном маневру, може се сматрати мером маневрисања, односно управљања и дефинишу се у односу на идеалног возача. Анализиране су неке од могућих форми "Penalty function", што би значило незнатно другачији концепт маневрисања и управљивости.

Аутор R. S. Sharp 2011. године, такође анализира и ефекте које алгоритам контроле возача над мотоциклом може произвести при његовим граничним могућностима. Алгоритам је примењен за подужну и бочну контролу мотоцикала високих перформанси. Основно је да се оствари довољан преглед пута којим се мотоцикл креће, како би се постигао максимални могући бенефит. Фокус је на контроли граничних могућности мотоцикла и регулисању бочног убрзања како би се могло са сигурношћу рећи да је примењени линеарни регулатор адекватан за актуелне услове вожње. Илустровани су изабрани оптимални регулатори и фреквентни одзиви система затворене петље. Извршена је анализа симулације праћења путање и наглашено је да је неопходан даљи рад како би се извршила слична контрола у случају граничног кочења, (Sharp et al., 2011).

Утицај горњих кофера на стабилност мотоцикала разматрали су и представили 2007. године P. Bridges и J. B. Russell (Bridges et al., 2007). и то са аспекта вртложења ваздуха. Показано је да су брзине од 31-34 m/s (око 120 km/h) спрегнуте са аеродинамичком побудом.

Друга група анализираних радова базирана је на приказу радова који се баве, учешћем мотоцикла у сложеним условима саобраћаја.

У раду „Симулација судара мотоцикла и аутомобила“ који је објавио 2012. године Motoaki Deguchi YAMAHA MOTOR co.,ltd (Deguchi, 2012), приказана је нумеричка симулација судара мотоцикла и аутомобила. Овај метод је један од најефикаснијих алата када је реч о истраживању пасивне безбедности мотоцикала, узимајући у обзир разноврсност конфигурације судара који се при том могу анализирати. Због дужине времена које треба узети у обзир за ову врсту анализе, за основни алат симулације усвојен је "MADYMO" (MAtheMatical DYnamic MOdel) софтвер, заснован на математичком динамичком моделу, који је у предности, у односу на употреба софтвера који функционишу по принципу FEM (методе коначних елемената). У овом истраживању, развијен је и симулациони модел судара скутера, а презентирани су и опште карактеристике мотоцикла, возила и модела лутке (база софтвера). По основу стандарда ISO13232 постоји седам основних конфигурација судара које се препоручују у моделирању на основу процедуре испитивања и препорука заштитне опреме мотоциклисте при судару.

У раду „Анализа озбиљности повреда код саобраћајних незгода са мотоциклима - као јединог возила које учествује у незгоди“ (Shankar et al., 1996), је за разлику од већине претходних истраживања, која су била заснована на анализи степена озбиљности саобраћајне незгоде у зависности од једне променљиве тј. једног фактора на који се објективно може утицати (нпр. употреба kacиге), аутори су у овом раду увели логаритамску формулацију са више варијабли у опису

саобраћајних незгода у којима је мотоцикл са возачем уједно и једино возило које учествује у саобраћајној незгоди. Имајући у виду да анализе које се базирају на само једној променљивој доводе до потенцијалних двосмислених резултата, па чак и грешака у идентификацији узрока озбиљности саобраћајне незгоде, створила се потреба за анализама које укључују више променљивих, које узимају у обзир све кључне факторе који могу довести до незгоде и утицати на њене последице. Разматрали су 5 нивоа могућих облика и последица саобраћајних незгода и то:

- (а) незгоде код којих је дошло само до материјалне штете;
- (б) незгоде код којих су могуће повреде;
- (ц) незгоде код којих су регистроване повреде;
- (д) незгоде код којих су регистроване повреде које доводе до онеспособљености;
- (е) незгоде са смртним исходом.

Користећи се петогодишњим подацима о саобраћајним незгодама мотоцикала (као јединог возила које учествује у незгоди) прикупљеним дуж целе државе Washington, USA, формулисан је мултиваријабилни модел за процену озбиљности саобраћајних незгода мотоцикл-возач који узима у обзир факторе окружења, стање на путу, карактеристике возила (мотоцикла) као и личне особине возача. Резултати су показали да је ова формулација са више променљивих веома поуздана за процену озбиљности саобраћајних незгода са мотоциклом.

Група аутора (Harnen et al., 2003.), уводе и анализирају модел предвиђања судара мотоцикала код неозначених раскрсница на урбаним путевима у Малезији. За развој модела користи се линерано моделирање. Коначни модел је показао, да је појачани проток мотоцикала и осталих учесника у саобраћају, који пролазе кроз раскрсницу, директно повезан са порастом судара код мотоцикала. Проток превозних средстава који не припадају групи мотоцикала, на главном путу, има највећи утицај на могућност настанка судара са мотоциклом. Настале последице показују да мотоцикл и мотоциклист припадај рањивој категорији учесника у саобраћају. Такође је откривено да значајан утицај у судару код мотоцикала имају и брзина приступања раскрсници, ширина коловозне траке, укупан број коловозних трака, ширина банке као и сама подлога. Овај модел би требало да буде од помоћи саобраћајним инжењерима да адекватно дефинишу и пројектују раскрснице, а посебно када је реч о пројектовању коловозних трака.

У циљу испитивања судара мотоцикала на регулисаним раскрсницама група аутора (Haque et al., 2010) применили су Bayesian-ове хијарархијске моделе. Мотоцикли су превише заступљени у саобраћајним незгодама, а нарочито су "рањиви" на означеним раскрсницама. Предметна истраживања имала су за циљ да установе узрочне факторе који доводе до саобраћајних незгода мотоцикала, како на спрегнутим, тако и на "Т" регулисаним раскрсницама. Обрађујући податке у различитим пресецима временских интервала, ова студија истражује различите Poisson-ове хијарархијске моделе. Долази се до закључка да је модел линеарне регресије најпогоднији са аспекта грешке. Резултати показују да број трака код раскрсница регулисаних вертикалном сигнализацијом значајно доприноси повећању незгода са мотоциклима услед њихове веће изложености другим учесницима у саобраћају, која настаје као резултат веће акумулације мотоцикла на зауставној линији. Осим тога, присутност широких острва на путу као и неконтролисано скретање из леве траке на главним путевима код четворокраких раскрсница, још више повећава ту потенцијалну опасност.

Код означених раскрсница у облику слова "Т", постојање траке за искључиво скретање у лево, како код главног тако и код споредног пута, као и неконтролисано скретање у лево са главног пута, повећава број саобраћајних незгода. Саобраћајне

незгода мотоцикала су учесталије на путевима високих брзина, јер мање су шансе да се реагује на време у случају конфликтне ситуације. Присуство камера на црвеним светлима на семафору, значајно смањује сударе мотоцикала код обе врсте раскрсница, како четворокраких, тако и раскрсница у виду слова "Т". Са камерама на црвеним светлама на семафорима, мотоцикли су мање изложени конфликтним ситуацијама, јер је уочено да су дисциплинованији, да стоје у реду на зауставној линији и мање је вероватно да ће одмах покренути мотоцикл на жуто светло.

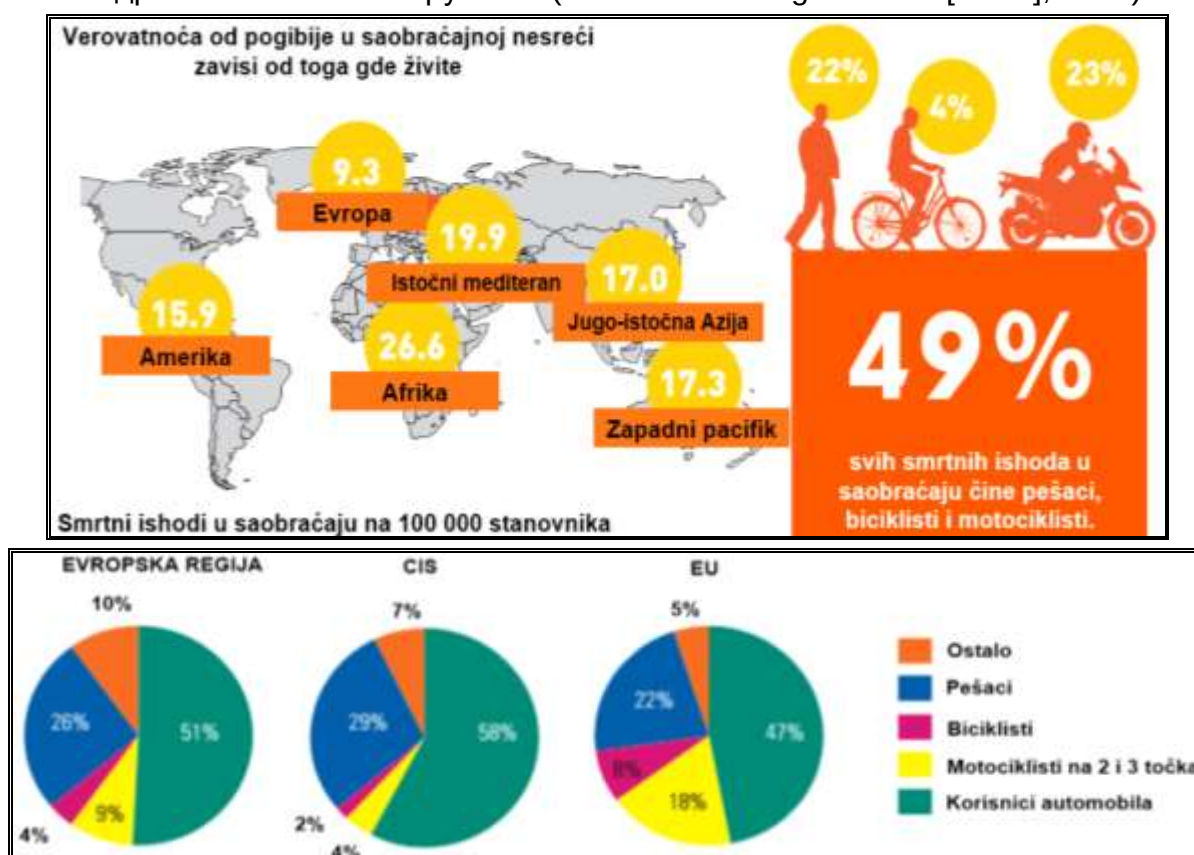
Едукација и обука младих возача има значајан допринос у смањивању броја саобраћајних незгода у којима су учесници возачи мотоцикала. Аутори (Baldi et al., 2004.) су се усредосредили на едукацију и превентиву будућих возача мотоцикала, пошто су се оријентисали на проналажење најбољих практичних фактора обуке, током образовања возача мотоцикала и добијања дозволе за управљање истих. Проблематика је у томе, да број смртних исхода у којим су учесници мотоциклисти, након што се спустио на свој историјски минимум 1997-е године, има поново тренд раста. Иако су узроци остали нејасни, образовање возача мотоцикала и издавање дозволе за управљање мотоциклом, игра кључну улогу у смањењу саобраћајних незгода и повреда. Ипак, мало је познато шта то обухвата ефективну обуку возача и издавање дозволе. Ова студија развија модел најбољих практичних фактора обуке, које се односе на образовање мотоциклиста и издавању дозвола, комбинује примарне и секундарне податке како би идентификовала факторе обуке који најближе пристају пракси. Испитивани су такође и докази о ваљаности примене овог модела. Извршено је рангирање америчких савезних држава са најбољим практичним факторима обуке у три наведене области: (а) програмском администрацијом, (б) образовањем возача и (ц) издавањем дозвола, а све на основу података прикупљених од стране Националне канцеларије за безбедност саобраћаја на аутопутевима (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2015).

Резултати указују на врло велике варијације када се упоређују практични фактори обуке у различитим савезним државама, јер неколико држава има највиши ниво практичних фактора обуке, док је код неких других држава, ниво практичних фактора врло низак. Државе са врло високим стањем практичних фактора обуке имају најнижу стопу смртности.

4. АСПЕКТИ БЕЗБЕДНОСТИ МОТОЦИКЛА

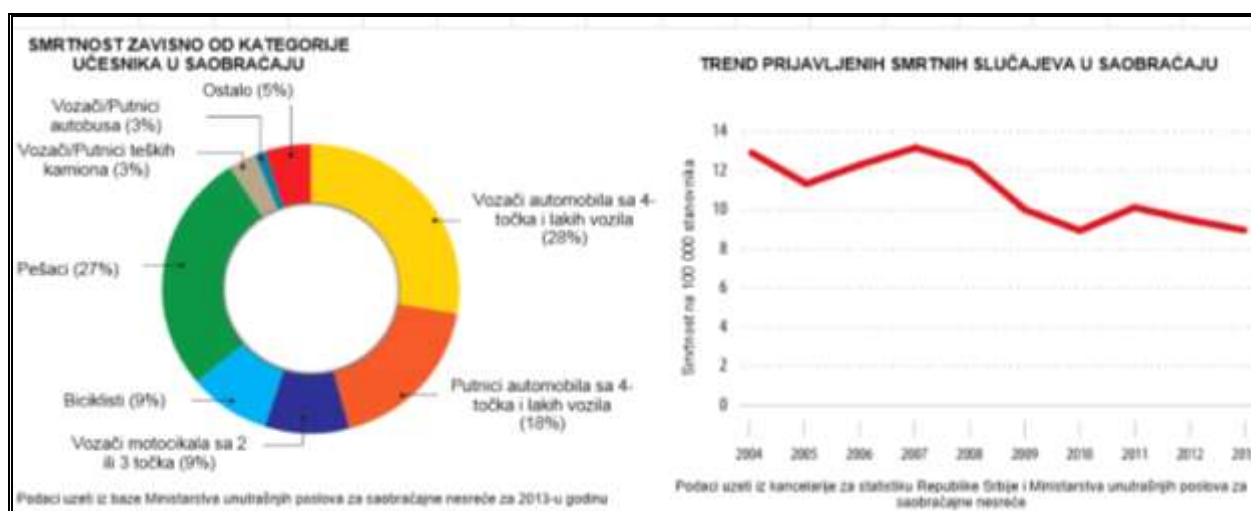
4.1. СТАТИСТИЧКИ ПОКАЗАТЕЉИ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Пешаци, бициклисти и мотоциклисти имају учешће од 49% у укупном броју смртних случајева на путевима унутар региона (у Европи). Ако се пешачење и вожња бициклом учини безбеднијом охрабриће људе да користе ове физички активне и одрживе облике транспорта. То би обезбедило додатне бенефите са аспекта здравља и аспекта окружења (World Health Organization [WHO], 2015).



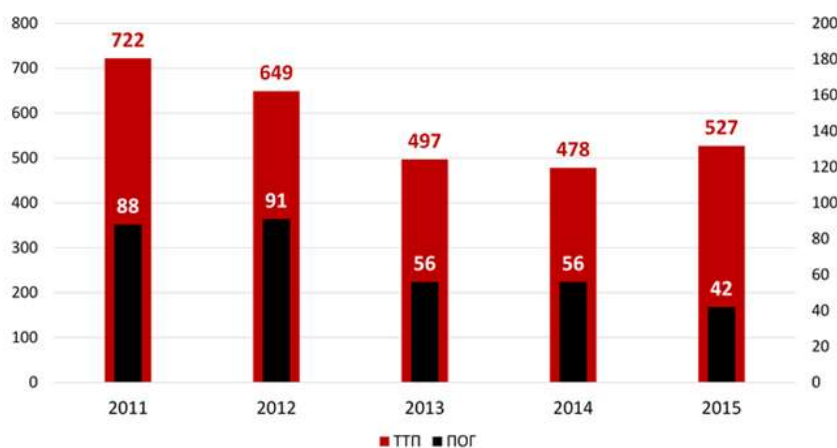
Сл. 4.1 Подела смртних исхода у саобраћају по категоријама учесника у саобраћају, у европској регији, земљама CIS-а и земаља Европске уније и однос смртних исхода на 100 000 становника у земљама заједнице независних држава (CIS-а), Европске регије (EUR) и WHO Европске уније (EU) у 2013-ој години. (WHO, 2015)

Вожња мотоцикла, поред потребе за превозом пружа и неизмерно задовољство, пошто је возач у непосредном контакту са возилом. У укупном проценту од 49% налазе се пешаци, бициклисти и мотоциклисти који нису довољно заштићени од силине удара при саобраћајној незгоди (слика.4.1). У поређењу са земљама из Европске регије и Европске уније, проценат пешака који страдају је највећи у земљама ЦИС-а (Јерменија, Азербејџан, Белорусија, Казахстан, Киргистан, Молдавија, Русија, Таџикистан, Туркменистан, Украјина и Узбекистан) док је учешће бициклиста и мотоциклиста са смртним исходом највиши у Европској унији.

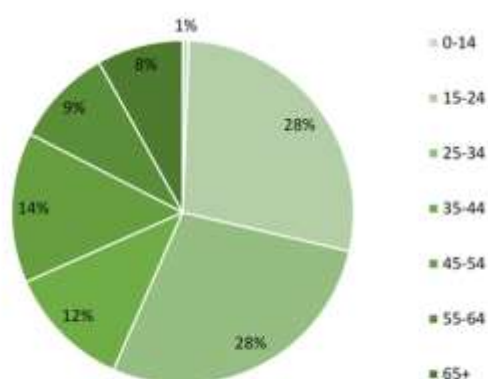


Сл. 4.2 Извештај светске здравствене организације за Србију (WHO, 2013)

Према подацима из неких наших региона, процентуално учешће броја смртних случајева у саобраћајним незгодама може да се види из следећа два хистограма (слике 4.3 и 4.4).

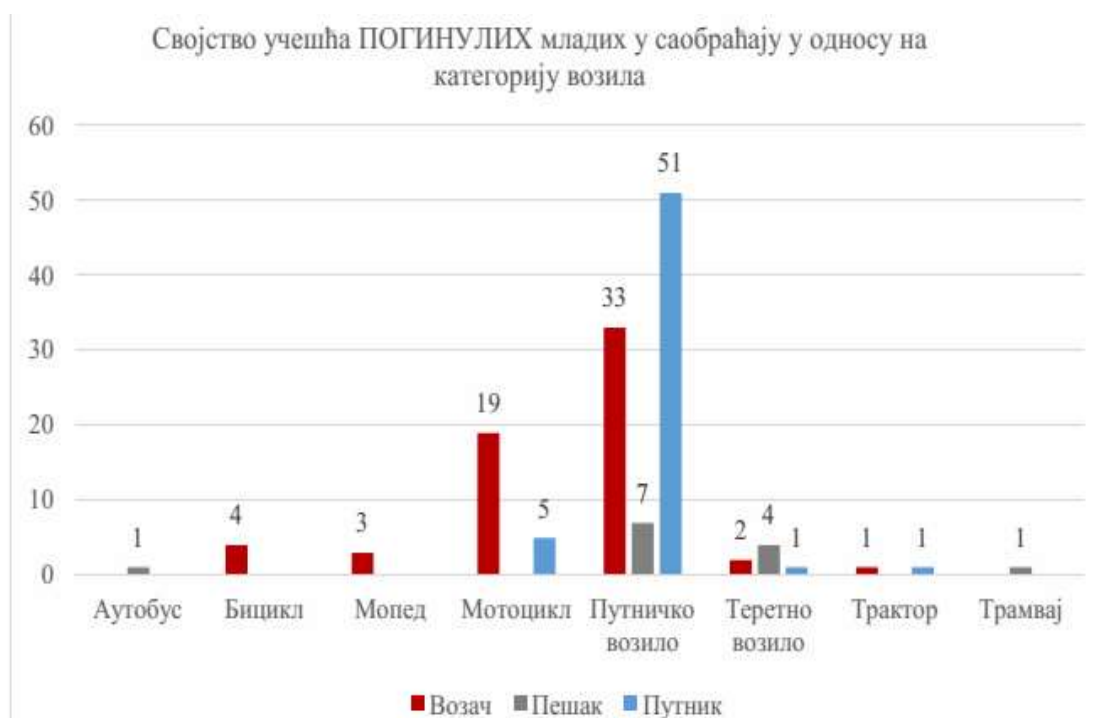


Сл. 4.3 Број погинулих и тешко повређених мотоциклиста и мопедиста у саобраћајним незгодама, у периоду 2011-2015. Година (Агенција за безбедност саобраћаја [ABS], 2016)



Сл. 4.4 Старосна структура погинулих мотоциклиста и мопедиста у саобраћајним незгодама, у периоду 2011-2015. година (ABS, 2016)

На Слици 4.5 је дат хистограм процентуалног учешћа броја погинулих по категоријама учесника у саобраћају, према (ABS, 2016)



Сл.4.5 Својство учешћа погинулих младих у саобраћају у односу на категорију возила (ABS, 2016)

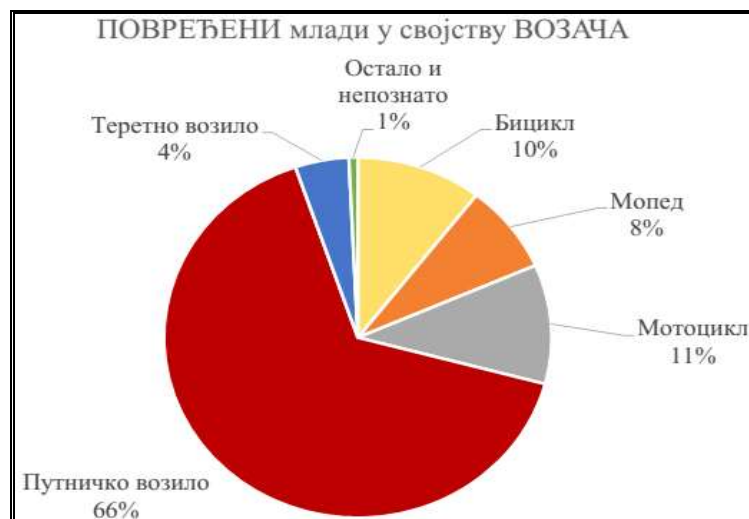
Од свих саобраћајних незгода са погинулим лицима у којима су учествовали мотоцикли, 38% су саобраћајне незгоде у којима су учествовали само мотоцикли, а око 30,6% оних у којима су учествовали мотоцикл и путнички аутомобил. Један од најзначајнијих закључака односи се на мотоциклисте. Наиме, мотоциклисти најчешће учествују у саобраћајним незгодама са погинулим лицима самостално.

Мотоциклисти који учествују самостално у саобраћајној незгоди са погинулим лицима имају у просеку 31,9 година, а уколико учествују у саобраћајној незгоди са путничким аутомобилом у просеку 32,4 године, а што потенцијално указује на проблем млађих мотоциклиста. Светска здравствена организација је бициклисте, пешаке, као и возаче и путнике на мопеду и мотоциклу, прогласила за рањиве категорије учесника у саобраћају.

Агенција за безбедност саобраћаја у „Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2014.” години наводи у делу 4, Општа анализа страдања младих учесника у саобраћају (од 15 до 30 година):

“Више од половине младих возача погинуло је управљајући путничким аутомобилом (53%), 31% управљајући мотоциклом, 5% управљајући мопедом.”

Највећи део младих возача био је повређен управљајући путничким возилом (66%); 11% младих возача било је повређено приликом управљања мотоциклом, 8% приликом управљања мопедом (моторизовани двоточкаши – 19%).



Сл. 4.6 Повређени млади учесници у саобраћају у својству возача у односу на категорију возила (ABS, 2016)

Када се посматра број смртно страдалих у односу на величину посматране популације, за мотоциклисте се може уочити да је њихова безбедност много већи проблем код мушкараца него код жена. Највећи ризик страдања у саобраћају, као мотоциклисти, имају млади мушкарци старости између 15 и 34 године.

Бициклисти најчешће гину у саобраћајној незгоди у којој учествују са путничким аутомобилом, али мотоциклисти најчешће гину у саобраћајној незгоди у којој су самостално учествовали.

Посматрано у погледу највеће заступљености саобраћајних незгода са одређеним типичним учесницима по одређеним временским обележјима, приметно је да се саобраћајне незгоде са погинулим лицима у којима су учествовали мотоциклисти, без обзира да ли су мотоциклисти учествовали у саобраћајној незгоди самостално или са путничким аутомобилом, најчешће догађају у јуну месецу.

Саобраћајне незгоде са учешћем мотоцикала су саме по себи специфичне, баш из разлога специфичности мотоцикла као моторног возила.

У циљу транспаренте анализе саобраћајних незгода у којима су учесници мотоцикли наведен је „Hurtov izveštaj“ („Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures“) из 1981 године. Иако је предметни извештај објављен пре 35 година, у значајним сегментима је актуелан и у данашње време.

Послужио је као база за многа истраживања у области безбедности мотоцикала у саобраћају. Предметни извештај је допринео подизању нивоа свести о значају безбедности мотоцикала у саобраћају, а нарочито бих истакао сегмент који се односи на обуку и стално усавршања возача мотоцикала.

Хартов извештај даје преглед следећих показатеља који имају значајног утицаја на мере безбедности мотоциклиста у саобраћају:

1. У 75% саобраћајних незгода у којима учествују мотоцикли присутно је и друго возило, углавном путнички аутомобил.
2. У 25% осталих саобраћајних незгода се своди на судар мотоцикла са неким фиксним објектом или делом инфраструктуре пута.
3. У 3% саобраћајних незгода у којима учествују мотоциклисти, узрок је технички квар мотоцикла, а у тај проценат највише улазе дефекти на пнеуматикама, односно пуцање пнеуматика у вожњи.

4. У саобраћајним незгодама са једним учесником, грешка мотоциклисте је присутна у 67% случаја, при чему је најчешћи разлог снажно кочења или лоша процена брзине у кривинама, из чега произилази излетање возила са пута.
5. Лош пут је узрок 2% саобраћајних незгода, а животиње на путу имају 1% удела у саобраћајним незгодама.
6. У 67% саобраћајних незгода, у којим учествује више возила, мотоциклисти је одузето право првенства пролаза.
7. Проблем препознавања возача мотоцикла на путу је један од значајних елемената. Саобраћајна незгода настаје, пошто возачи других возила не примете мотоциклисту, или га примете прекасно, како би евентуално реаговали и спречили саобраћајну незгоду.
8. Намерно изазивање саобраћајне незгоде, како би се оборио мотоциклиста је изузетно ретка, али јавља се у случају када мотоциклиста држи леву страну саобраћајне траке и бива оборен од стране возача другог возила, који не види мотоциклисту, а врши нагло скретање улево.
9. Раскрснице су место где се најчешће дешавају саобраћајне незгоде, возачи (укључујући и возаче мотоцикла) често једни другима одузимају право првенства и не поштују саобраћајну сигнализацију.
10. Временске услови нису разлог настанка 98% саобраћајних незгода, у којима учествују мотоциклисти.
11. Највише саобраћаних незгода у којима учествују мотоциклисти се дешава на кратким релацијама, када возачи нису довољно концентрисани и када не користе заштитну опрему.
12. У 50% случајева саобраћајних незгода мотоциклиста је „невидљив“ за учеснике у саобраћају због неког објекта или возила које га заклања.
13. Ако су на мотоциклу укључена светла током дана и мотоциклисти носе флуоросцентне прслуке ноћу, тиме се знатно повећава видљивост самог мотоциклисте, што значајно утиче у превенцији саобраћајних незгода.
14. У 62% саобраћајних незгода након судара је дошло до проливања горива из резервоара мотоцикла.
15. Просечна брзина при судару је 50 km/h, а само у једном од 1000 случаја брзина је 150 km/h.
16. Типична саобраћајна незгода у којој је учествовао мотоциклиста се десила у 45 степени видног поља мотоциклисте без додатних детаља у периферном виду.
17. Препознавање мотоциклисте је најважнији фактор за избегавање фронталних судара мотоцикла са другим агресивнијим возилима.
18. Квар на мотоциклу најчешће није разлог настанка саобраћајне незгоде. Кварови настају услед неблаговременог и нестручног одржавања.
19. Критичне године возача су од 16. до 24. и те године су најприсутније у статистикама саобраћајних незгода где су учествовали мотоциклисти. Мотоциклисти од 30 до 50 година нису кризна група. У 96% учешћа у саобраћајним незгодама мотоциклисти су мушкарци.
20. Студенти, радници и занатлије су најчешћа занимања мотоциклиста који су учесници саобраћајних незгода.
21. Одређен број мотоциклиста који су учествовали у саобраћајним незгодама и регистровани су у бази података, поново учествују у саобраћајним незгодама.

22. Мотоциклисти који су учествовали у саобраћајним незгодама, у великом броју 92% су без квалитетне обуке. Управљање мотоциклом су научили сами уз помоћ родитеља, неког члана породице, пријатеља. Додатна обука и тренинг возача мотоцикала смањује број саобраћајних незгода у којима су учесници.
23. Већина мотоциклиста учесника саобраћајних незгода има мање од 3 године искуства у вожњи и вози мотоцикл који су купили пре мање од 5 месеци.
24. Губитак пажње код возача мотоцикла је пресудни фактор у саобраћајним незгодама.
25. Скоро половина саобраћајних незгода са фаталним исходом, као фактор има алкохол код неког од учесника незгоде.
26. Мотоциклисти показују велике проблеме у избегавању објеката приликом незгода, а најчешће се дешавају снажна кочења или заношења.
27. Типична саобраћајна незгода оставља 2 секунде мотоциклисти да реагује и избегне незгоду.
28. Ретко се дешавају саобраћајне незгоде у којима је крив мотоциклиста који вози сапутника.
29. Значајан је број возача путничких и теретних возила старости преко 65 година, који изазивају саобраћајне незгоде у којима страдају мотоциклисти.
30. Приликом настанка саобраћајне незгоде у којима учествују мотоцикли великих радних запремина и високих перформанси, повреде које настају код возача су теже природе, често и са фаталним последицама.
31. Боја мотоцикла није пресудни фактор код настанка саобраћајних незгода, пошто је чеона површина малих димензија и највећи део заузима светлосна група, тако да се на овом делу мотоцикла налази најмање боје.
32. Мотоцикли који поседују велике визире и додатно осветљење су мање присутни у саобраћајним незгодама, пошто ову врсту мотоцикла углавном возе искусни мотоциклисти са дугим возачким стажом.
33. Значајно учешће у саобраћајним незгодама имају мотоциклисти, који не поседују возачку дозволу за одговарајућу категорију, имају забрану управљања, или уопште не поседују возачку дозволу.
34. Мотоцикли на којима су извршене одговарајуће преправке у циљу повећања перформанси и побољшања техничких карактеристика, имају веће учешће у саобраћајним незгодама од осталих стандардних мотоцикла.
35. У саобраћајним незгодама у којима учествују мотоцикли у контакту са другим возилом, возач ће у 98% случаја претрпети повреду. У саобраћајним незгодама у којима мотоцикл самостално учествује у 96% случајева ће возач претрпети одговарајућу повреду. У 45% случајева долази до тежих повреда возача мотоцикла.
36. Већина повреда је на рукама и ногама, посебно зглобовима.
37. Заштитни оквири, који су фабрички, или се накнадно уграђују не смањују ризик од повреда.
38. Коришћење заштитне опреме (чизама, јакни и рукавица) смањује ризик од лакших повреда.
39. У 13% саобраћајних незгода возачу страдају препоне. Ове повреде су карактеристичне за чеоне сударе, када се возач мотоцикла кретао брзином већом од прописане.
40. Тежина повреде расте са брзином кретања, величином мотоцикла и количином конзумираног алкохола од стране возача.

41. У 73% случаја возач мотоцикла није имао заштиту очију те се утицај ветра и смањена видљивост сматра одлучујућим фактором настанка саобраћајне незгоде.
42. Сматра се да око 50% мотоциклиста у саобраћају користи заштитну кацигу, а истраживања која су спроведена након настанка саобраћајне незгоде показује да их користи тек 40% учесника.
43. Заштитну кацигу најчешће не користе млади возачи, неискусни, без адекватне обуке, или возачи који користе мотоцикл на кратким релацијама и по топлем времену.
44. Највећи број смртних повреда се дешава услед повреда груди и главе.
45. Употреба заштитне кациге је битан фактор у смањивању повреда главе.
46. Заштитна кацига не смањује видно поље, не утиче на смањење пријемног звука од саобраћаја, нема утицаја на умор возача, као ни губитка пажње због ношења заштитне кациге.
47. Примена стандарда „FMVSS 218“ (Federal Motor Vehicle Safety Standard No 218) који се односи на употребу и коришћење заштитних кацига, са потпуном покривеношћу главе и тенденцијом да је што је могуће више корисника примењује.
48. Корисници заштитних кацига имају нижи ниво повреда од учесника који не користе заштитне кациге.
49. „Full Face“ кацига (кацига која у потпуности покрива главу), значајно смањују повреде лица.
50. Коришћењем заштитне кациге нема бојазни, да ће кацига повредити врат приликом саобраћајне незгоде, а у оним случајевима када је дошло до повреде врата кацига је била одлучујући фактор преживљавања мотоциклисте.
51. У 60% случаја мотоциклиста у саобраћајним незгодама не носи заштитну кацигу, 53% одговара „да није мислило да им се саобраћајна незгода може десити“ а 23% каже „да им је кацига неудобна или им је непријатно да је носе“.
52. Најверодостојнији подаци који се тичу учешћа мотоцикала у саобраћају могу се добити искључиво прикупљањем података директно из саобраћаја (са лица места). Подаци који се односе на возачку дозволу мотоциклисте, или на само возило (подаци из саобраћајне дозволе), немају пресудног значаја у анализи саобраћајних незгода са учешћем мотоцикала.
53. Мање од 10% мотоциклиста који су били учесници у овим саобраћајним незгодама су имали било какво осигурање за случај здравствене неге, или осигурања имовине.

Наведени Хартов извештај, обухватио је испитивање на територији САД, у многим ставкама је у подударности са анализама које се обављају и у другим светским регионима, а и са истраживањима које врши Агенција за безбедност саобраћаја Републике Србије.

Разлике постоје у сегменту технолошког развоја мотоцикала, уградње нових савремених система активне безбедности, као и масовнијег коришћења основног елемента пасивне безбедности мотоцикла (заштитне кациге).

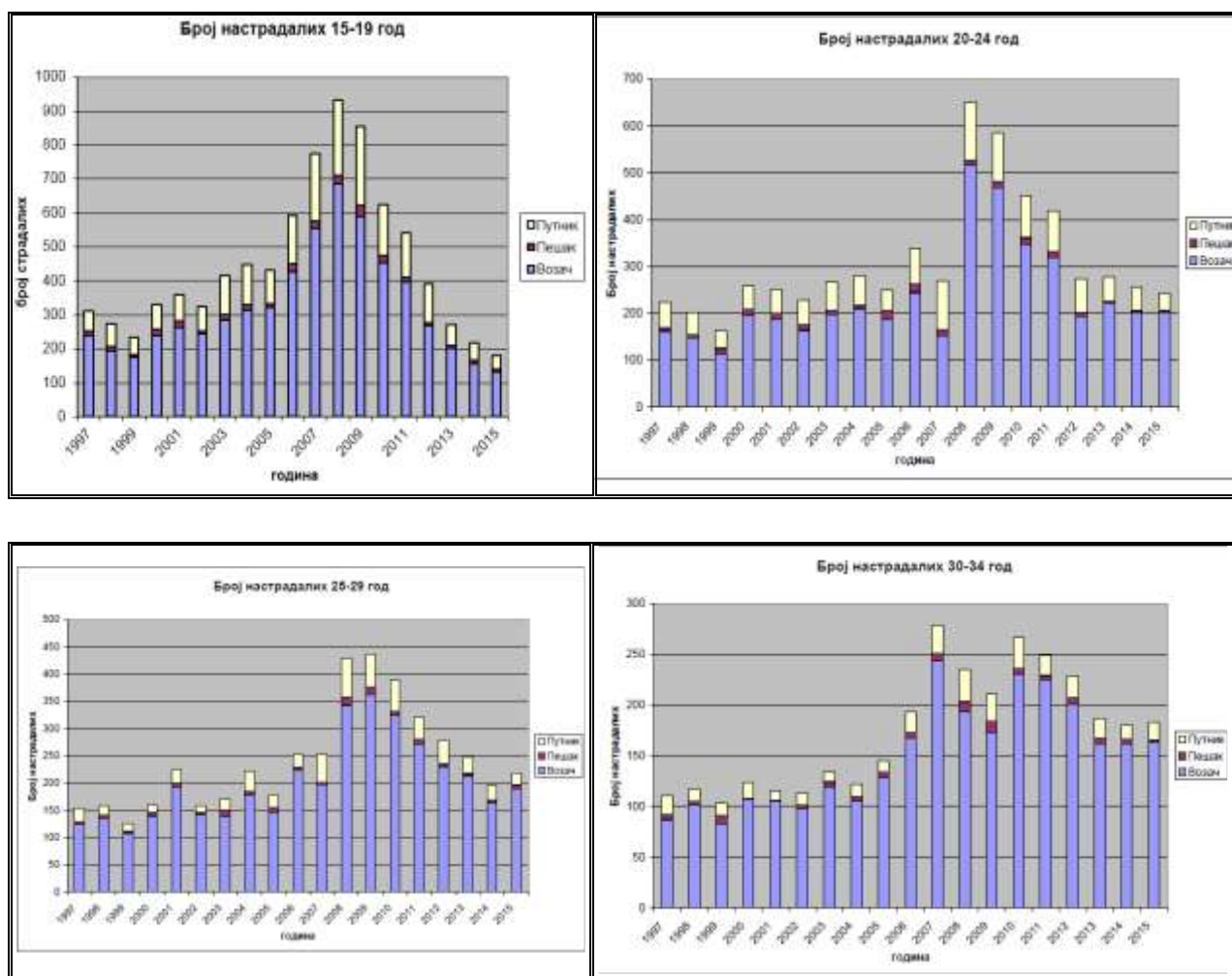
Анализе показују да на територији Републике Србије, у саобраћајним незгодама са двоточкашима често страдају млади. Старосна групација од 15 до 30 година учествује у скоро свакој четвртој саобраћајној незгоди са смртним исходом (ABS, 2016).

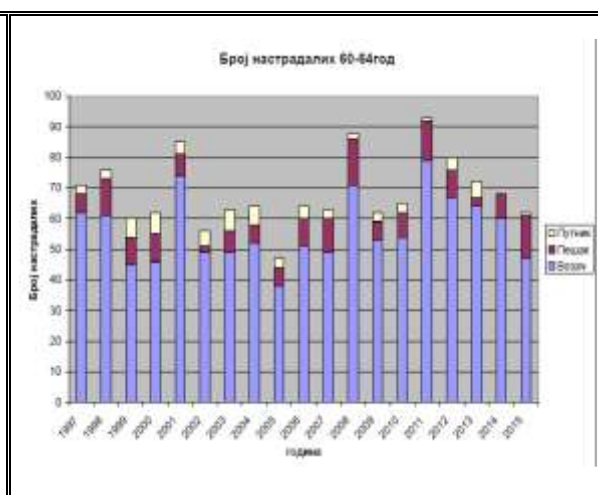
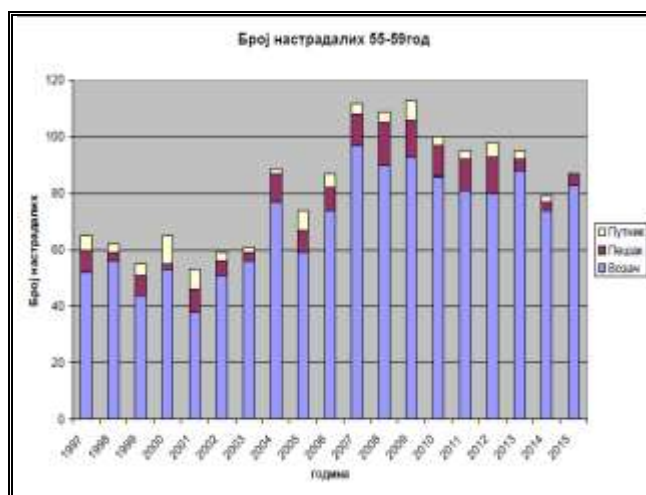
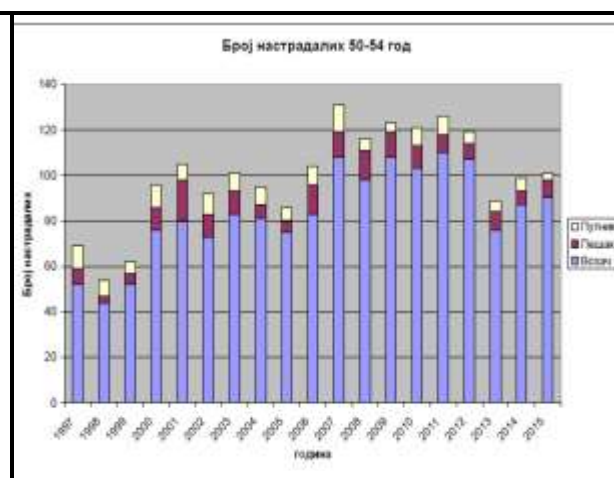
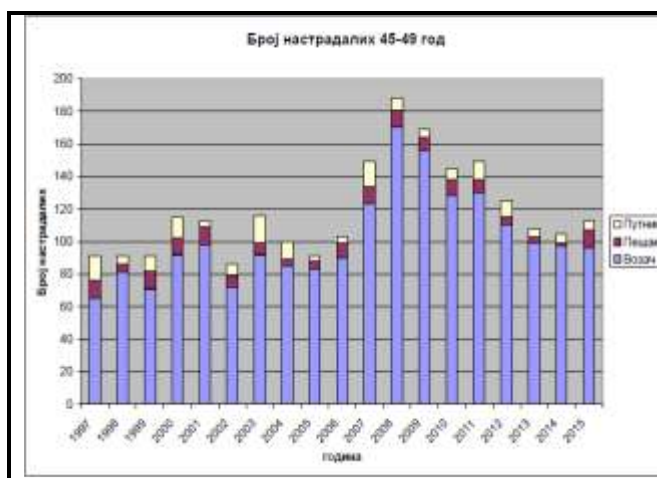
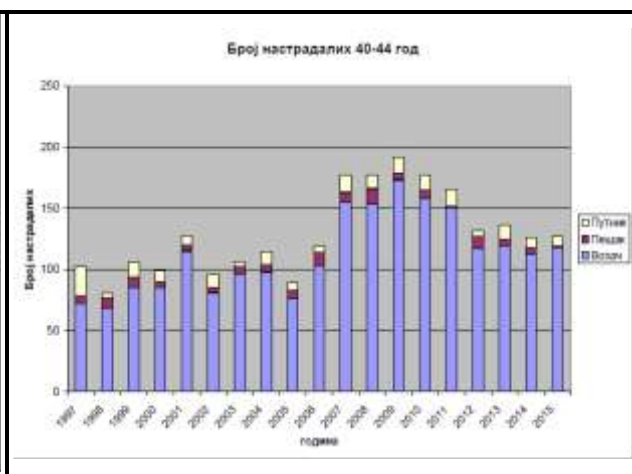
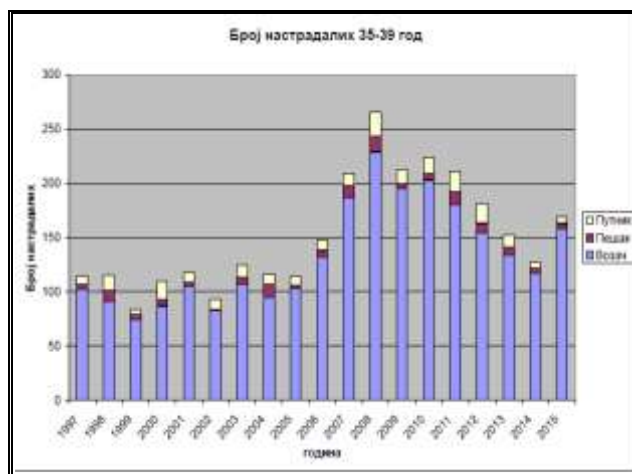
Учешће мотоциклиста у укупном броју саобраћајних незгода на територији Сједињених Америчких Држава, нагло је повећано почетком ове деценије. Интересантно је напоменути да је укупан број незгода у паду, а учешће мотоциклиста у порасту (Табела 4.1).

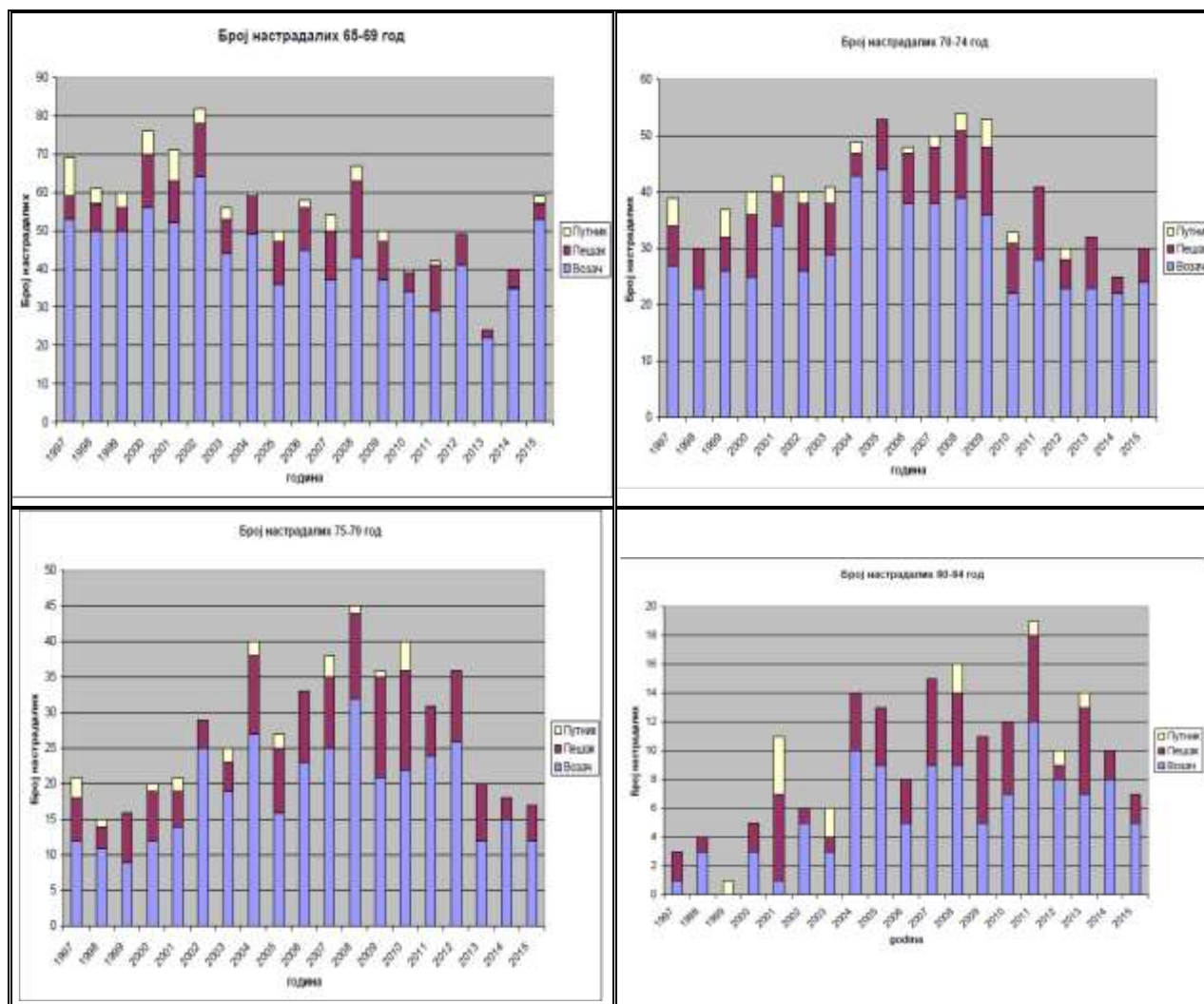
Табела 4.1. Приказ процентуалног учешћа смртно страдалих мотоциклиста у односу на укупан број страдалих у САД. (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2013).

Референтна година	Укупан број смртно страдалих у саобраћајним незгодама	Смртно страдали мотоциклисти	%
2000.	41945	2829	7 %
2001.	42196	3123	7 %
2002.	43005	3187	7 %
2003.	42884	3641	8 %
2010.	32999	4324	13 %
2011.	32479	4403	14 %
2012.	33782	4695	14 %
2013.	32719	4381	13 %

На следећим дијаграмима (слика 4.7) је дат приказ броја настрадалих као возача, путника или пешака, у периоду од 1997 до 2015 године, на територији републике Србије у саобраћајним незгодама са мотоциклима и мопедима, а подела је извршена према старосној доби (ABS, 2016).





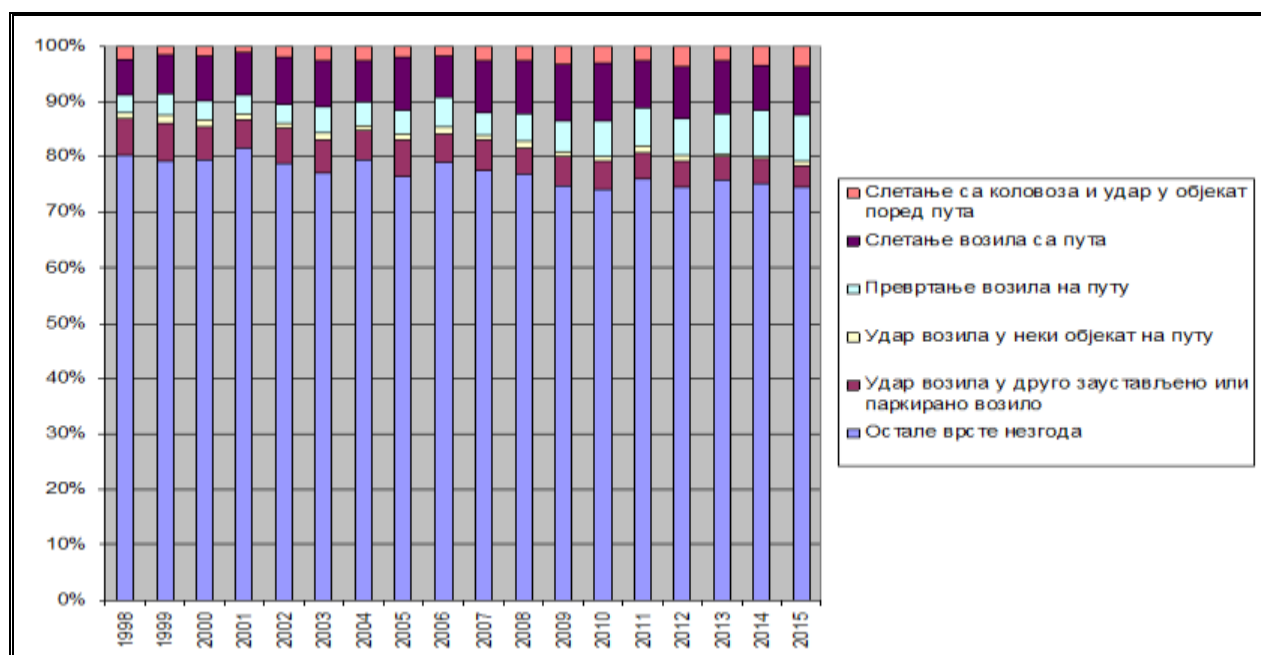


Сл 4.7 Приказ броја настрадалих у саобраћајним незгодама са мотоциклима и mopедима, према (ABS,2016)

На дијаграмима се може уочити тренд пораста броја саобраћајних незгода у којима учествују мотоцикли и mopеди, од 2006. године, када је либерализован увоз мотоцикала све до 2009.године, као и опадање истих после 2009. године. За разумевање ових промена треба имати у виду све већи број мотоцикала, а посебно mopеда у саобраћају, различитих категорија, техничког стања, које углавном возе млађи возачи без адекватне обуке и непоштовања прописа. Законска регулатива друмског саобраћаја која је ступила на снагу у Србији 2009. године, допринела је поред осталог и безбеднијем понашању мотоциклиста, као учесника у саобраћају и бољем поштовању саобраћајних прописа.

Детаљнија анализа структуре саобраћајних незгода у којима су учествовали мотоцикли су значајна база за утврђивање узрочника и предузимање мера за њихово одклањање.

Најбитнији елементи структуре саобраћајних незгода су: тежина саобраћајне незгоде, место догађања (урбана средина, отворен пут, рурална средина итд.), временски показатељи (година, годишње доба, месец, седмица, дан, време), учесници у саобраћајној незгоди, врста и тип саобраћајне незгоде, тип мотоцикла према основним техничким карактеристикама и намени, брзина кретања и брзина судара, понашање возача мотоцикла у непосредној фази пре судара.



Сл 4.8 Врсте судара мотоцикала. Подаци интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја (ABS, 2016)

На слици 4.8 је истакнута врста саобраћајних незгода која се своди на судар мотоцикла са неким фиксним објектом или делом инфраструктуре пута.

Врсте саобраћајних незгода у којима имамо и остале учеснике у саобраћају која су у покрету (путничка возила, теретна возила, аутобусе и сл.) на приказаном дијаграму воде се под остало и нису сегмент анализе овог дијаграма.

Мотоциклисти показују велике проблеме у избегавању објекта приликом незгода. Приликом извођења ових маневара, најчешће се дешавају снажна кочења, неконтролисана убрзавања, као и заносења.

У саобраћајно - техничким вештачењима, анализирајући настанак саобраћајне незгоде у којима су учесници мотоциклисти, возачи су често навели разлог: „Имали смо проблем са кочењем!“ Ова запажања возача су наравно њихов субјективни осећај, који може да се сагледа у смислу повећања техничких перформанси мотоцикала, а може и да се размотри у смислу квалитетне обуке возача мотоцикала и предочавања опасности које их вребају. (Green D. 2006).

Резултати из базе података о увиђају саобраћајних незгода, са учешћем мотоцикла показују, да у 45% случајева тешких саобраћајних незгода возач мотоцикла није реаговао у фази кретања непосредно пре судара; у 39% случајева дејствовао је на систем за кочење; у 8% случајева на систем за управљање и у 8%, истовремено на системе за кочење и управљање (Hedlund J. 2011).

Дакле, велики проценат спонтаног коришћења кочница у критичним ситуацијама, најчешће погрешно, мали проценат коришћења система за управљање. У 11% од свих случајева употребе кочнице, услед неадекватног кочења долазило је да пада возача са мотоцикла, пре судара са другим учесником или непокретним објектом.

Други, такође веома критичан показатељ структуре саобраћајних незгода мотоцикла су вредности брзине кретања пре судара и брзине судара. У просеку ове вредности се крећу у границама 61 – 80 km/h и 41 – 60 km/h, респективно, и знатно су више од вредности одговарајућих брзина осталих учесника у саобраћају (ADAC, 2016).

Наведени показатељи указују да је возаче мотоцикала потребно упознати са најважнијим системима на мотоциклу, њиховим функцијама, опасностима које их вребају током вожње, као и са правилном техником управљања.

4.2. КОНСТРУКЦИЈА КАО ЧИНИЛАЦ БЕЗБЕДНОСТИ МОТОЦИКЛА

У односу на возила са два и више трагова, односно, четири и више точкова, мотоцикл као једнотражно возило са два точка, одликује се следећим специфичностима:

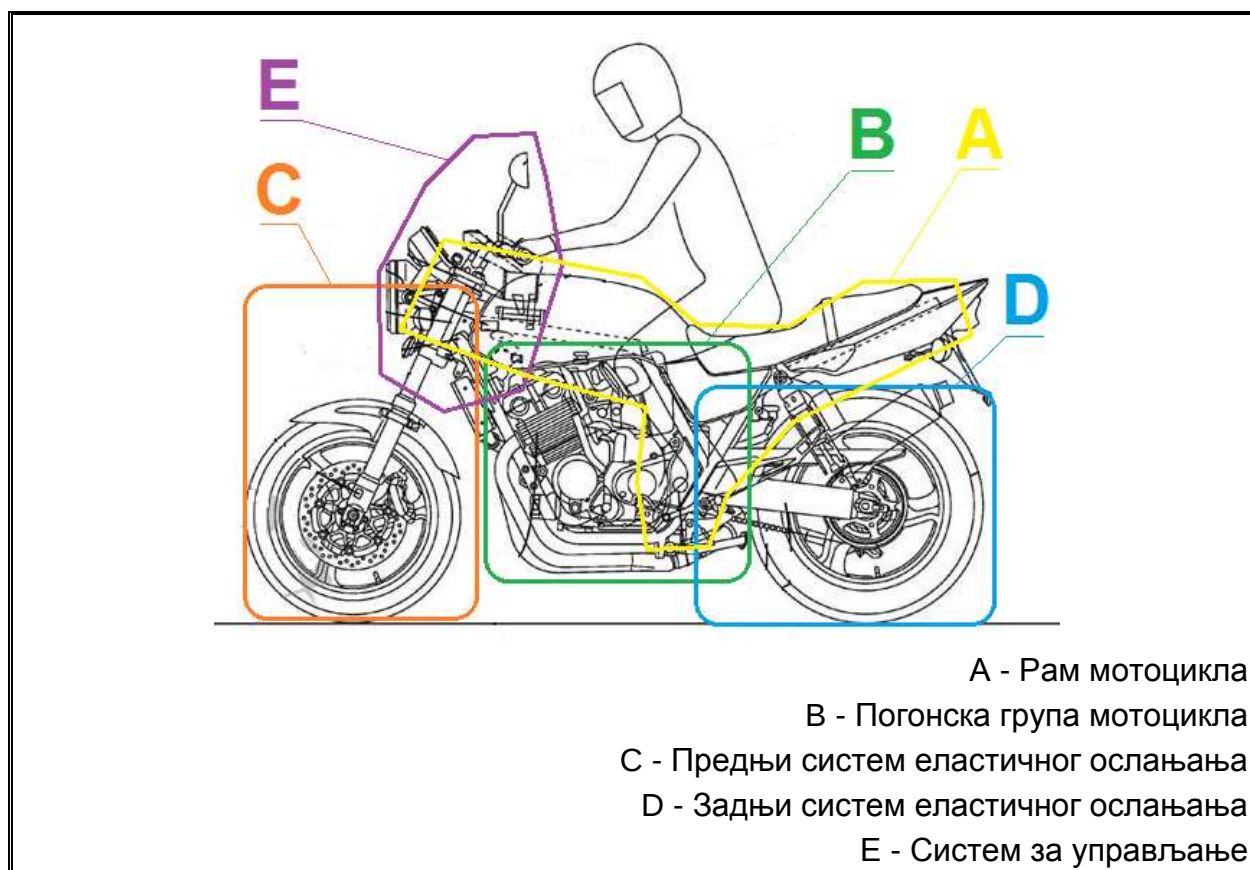
- не поседује способност одржавања положаја и стабилност правца кретања – функцију динамичке стабилизације у оба случаја остварује возач дејством на команде и положајем свог тела;
- у значајном степену се испољава утицај возача на аеродинамику система возач-возило, на однос маса и положај центра маса. Конструктивна изведба и распоред агрегата, команди, такође испољавају утицај на динамичко понашање;
- неповољни односи висине центра маса и растојања точкова, h/l (утицај на коефицијенат подужне стабилности) као и трага точкова и висине центра маса, $S/h \rightarrow 0$, $S \rightarrow 0$, приказује утицај коефицијента бочне стабилности;
- ограничен смештајни и радни простор за агрегате, опрему, гориво, возача и сувозача;
- слободан приступ агрегатима, односно, противуречност захтева у погледу изведбе делимичног или потпуног оклопа возила у смислу заштите од задрљаности, корозије, ветра, са једне стране и могућности ваздушног хлађења термички оптерећених агрегата са друге стране;
- висока цена рада и изведбе конструкције од лаких материјала и виталних агрегата минијатурних димензија, мотор – спојница – мењач – погон точка, кочни систем, систем еластичног ослањања, систем управљања итд.;
- изведба возила по принципу задовољавања појединачних захтева, посебно у вишој и високој класи, што има за последицу шири спектар могућих концепција различитих модела и веома често неоправдано предимензионисане перформансе, снага мотора, брзина кретања, потрошња горива, емисије буке, издувних гасова, вибрација – једном речју својства која доприносе агресивности возила у саобраћају и окружењу;
- динамичност и спортски дух возача мотоцикала у извесном степену може успорити трендове увођења компонената аутоматизације и контроле радних процеса агрегата и режима кретања, као што су аутоматски мењачи, АБС системи, системи за контролу управљивости и стабилности кретања итд.

Основна структура мотоцикла приказана је на слици 4.9., имајући у виду примарне функције, спреге и захтеве у склопу, приказаних основних склопова, Табела 2.

Овакав приказ даје полазне оквири како за анализу историје развоја конструкције мотоцикла, тако и за сагледавање актуелних проблема и прогнозирања будућих трендова.

Табела 4.2. Структура конструкције мотоцикла

СТРУКТУРА КОНСТРУКЦИЈЕ МОТОЦИКЛА				
МОТОР				
Принцип рада		Тактност		Број и распоред цилиндара
ПРЕНОСНИК СНАГЕ				
Спојница	Мењач	Задњи пренос		Погонски точак
НОСЕЋА И ЗАШТИТНА СТРУКТУРА				
Рам	Седиште	Наслон	Оклоп	Ветробран
СИСТЕМ ЕЛАСТИЧНОГ ОСЛАЊАЊА				
Предњег точка			Задњег точка	
СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ				
Телескопска виљушка			Распрегнути систем	
КОЧНИ СИСТЕМ				
Независни		Интегрални		Са или без ABS-а
КОМАНДЕ				
Ручне, Ножне				
ОПРЕМА				
Електрична, светлосна, безбедносна				
ТОЧАК (Наплатак са пнеуматиком)				



Слика 4.9 Приказ структуре конструкције мотоцикла

Системи на мотоциклу имају понекад двоструку улогу, па су одређени елементи система вишефункционални (припадају не само једном систему).

Претходно наведена констатација је нарочито изражена код система предњег еластичног ослањања и система за управљање, где су виљушке са опругама истовремено и делови система еластичног ослањања, али и система за управљање.

4.2.1. КОНСТРУКЦИЈА МОТОЦИКЛА - ПОГОНСКИ АГРЕГАТ

Радни принцип погонског агрегата мотоцикла је мотор са унутрашњим сагоревањем.



Сл 4.10 Класични погон мотоцикла (МСУС)
(Yamaha, 2016)

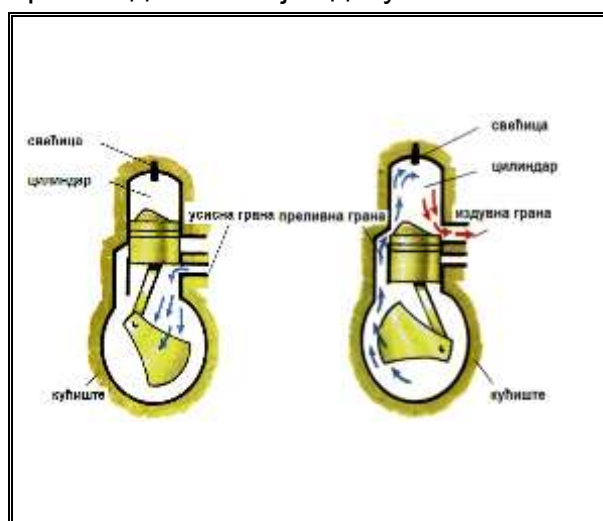


Сл 4.11 Мотоцикл на електрични погон (Zero motorcycles, 2016)

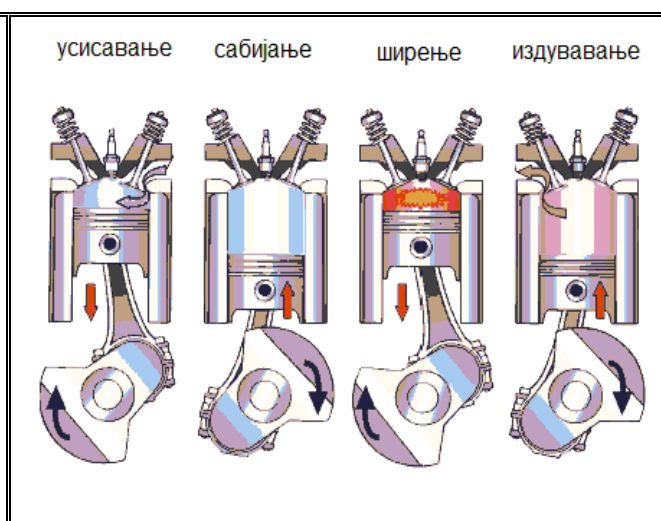
Напретком технологије и све строжим еколошким захтевима (зелено возило), у новије време се све више срећу решења у којима се као погонски агрегат користи електрични мотор.

Тактност мотора

Мотори са унутрашњим сагоревањем који се уграђују на мотоциклима су најчешће изведени као четворотактни. Примена двотактних мотора је углавном везана за мотоцикле старијих генерација, као и за крос и ендуро мотоцикле произведене новијих датума.



Сл 4.12 Двотактни мотор
(Britannica, 2016)

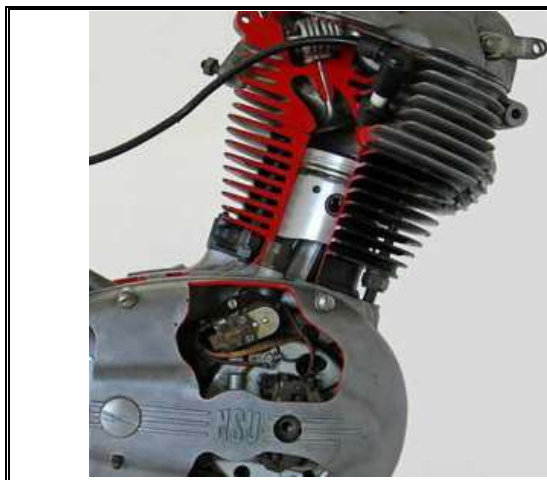


Сл 4.13 Четворотактни мотор
(Autoexclusive, 2016)

Број и распоред цилиндара

Што се броја и распореда цилиндра тиче, велика је разноврсност конструктивног извођења мотора, а нека од најчешћих би била:

- са једним цилиндром
- са два цилиндра у линијском или V распореду
- са три цилиндра у линији
- са четири цилиндра у линијском или V распореду
- са више (5,6,8) цилиндара



Сл 4.14 Мотор са једним цилиндром
(Britannica, 2016)



Сл 4.15 Мотор са два цилиндра у линији
(Britannica, 2016)



Сл 4.16 Мотор са два цилиндра у
V распореду (Britannica, 2016)



Сл 4.17 Мотор са четири цилиндра у
линијском распореду (Britannica, 2016)

4.2.2.

КОНСТРУКЦИЈА МОТОЦИКЛА - ПРЕНОСНИЦИ СНАГЕ

Спојница

Најчешће коришћене спојнице су са ламелама и у зависности од конструктивног извођења по броју ламела могу бити једноструке или вишеструке. На слици 4.18 је приказана вишеструка спојница реномираног произвођача Exedy, која се примењује код већег броја мотоцикала.



Сл 4.18 Вишеструка спојница (Exedy, 2016)

Мењач

Конструктивно извођење мењача углавном је степенасто, док се ређе користи варијабилни пренос снаге.



Сл 4.19 Степенасти преносник (Yamaha, 2016)



Сл 4.20 Варијабилни преносник (Yamaha, 2016)

Задњи пренос

Пренос снаге на задње точкове се најчешће остварује преко ланчаног преносника, а ређе коришћењем карданског преноса, или каишног преносника.



Сл 4.21 Ланчани пренос (Mcchain, 2016)



Сл 4.22 Кардански пренос (BMW, 2016)

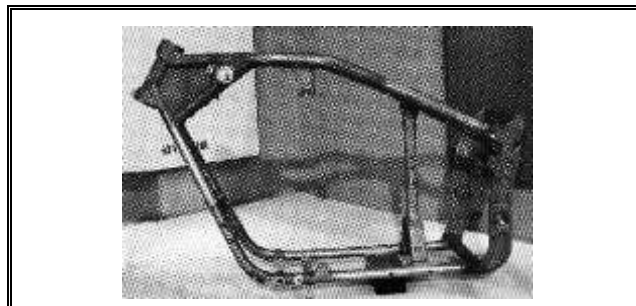
4.2.3. КОНСТРУКЦИЈА МОТОЦИКЛА - НОСЕЋА И ЗАШТИТНА СТРУКТУРА

Рам мотоцикла

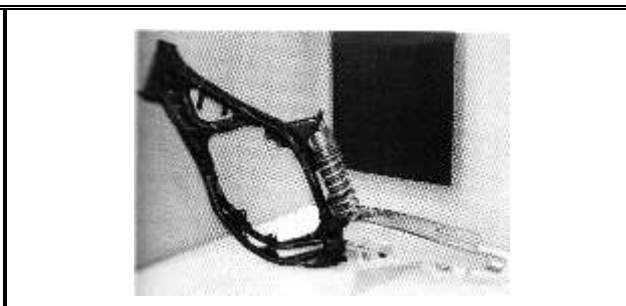
Основна улога рама мотоцикла је да носи све виталне склопове и подсклопове мотоцикла, да их повеже у једну целину и обезбеди њихово функционисање.

Из наведених разлога приликом конструкције рамова постављају се захтеви у погледу чврстоће, еластичности, што дужег радног века, мање масе, као и утицаја на активну и пасивну безбедност.

Најчешћи начин израде рама је од цевастих профила и може да буде израђен на више начина, у зависности од задњег система еластичног ослањања.

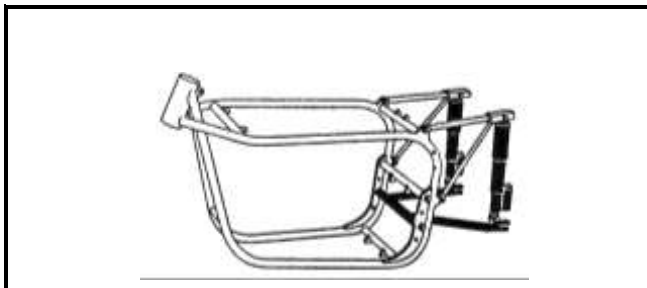


Сл 4.23 Цевасти рам са бочним амортизерима позади (Stoffregen, 2006)

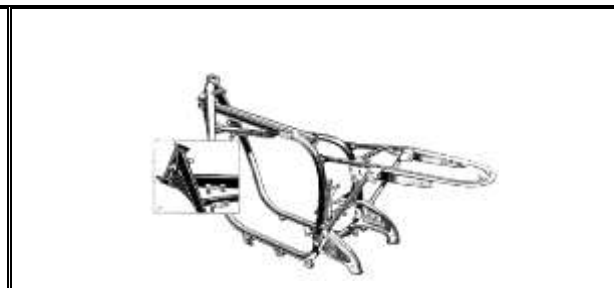


Сл 4.24 Цевасти рам са централним амортизером позади (Stoffregen, 2006)

Употребом нових материјала и технологија, челичне рамове (слике 4.23-4.26) заменили су рамови израђени од чвршћих и лакших материјала слике 4.27-4.30.



Сл 4.25 Цевасти рам у облику колевке (Stoffregen, 2006)



Сл 4.26 Дупли рам на коме се налази двовентилски боксер мотор (Stoffregen, 2006)

Титаниумски рам на мотоциклу марке HUSQVARNA, Шведска, појавио се 1971. год. али се није користио у серијској производњи већ само за тркачке мотоцикле слика 4.27.



Сл 4.27 Мотоцикл марке HUSQVARNA, са титанијумским рамом (Husqvarna, 2016)

Средином 80-тих, појављују се мотоцикли са алуминијумским рамом. Ови рамови нису израђени од чистог алуминијума, пошто алуминијум има малу механичку чврстоћу. Због тога се у мото индустрији користе легуре алуминијума које у различитим процентима садрже елементе попут силицијума или магнезијума које алуминијуму дају кристалну структуру, па се од њега производи рам мале масе, а са друге стране чврст материјал добрих механичких карактеристика, идеалан за израду рамова за мотоцикле.

Први алуминијумски рам се серијски примењује на мотоциклу HONDA VFR 750, слика 4.28.



Сл 4.28 Алуминијумски рам мотоцикла HONDA VFR 750 (Stoffregen, 2006)

Као одговор на HONDIN алуминијумски рам, YAMAHA је конструисала "DELTA BOX" рам на моделу FZR 1000, 1987. године слика 4.29.



Сл 4.29 Алуминијумски рам на мотоциклу YAMAHA FZR 1000 (Paul Thede, et al., 2010)

На слици 4.30 је приказан рам који се састоји од греде за који се везује мотор и задњег дела на коју се монтира систем задњег еластичног ослањања и трансмисија мотоцикла. Овај тип рама се користи углавном код ендуро мотоцикала.



Сл 4.30 Рам „Ендуро“ мотоцикла (Stoffregen, 2006)

На слици 4.31, је приказан рам који је карактеристичан за италијанске произвођаче мотоцикала. Код оваког конструктивног решења, рам се састоји од кратких цеви (алуминијумске и челичне) које су међусобно заварене и образују решетку. Овакав тип рама није само једноставан за производњу, већ је и веома чврст.



Сл 4.31 „Решеткасти рам“ мотоцикла (Paul Thede, et al., 2010)

„DELTA BOX 3“ рам који користи YAMAHA R1, одликује се изузетном чврстином и крутошћу што даје изузетну стабилност мотоциклу при великим брзинама у кривинама, слика 4.32.



Сл 4.32 Рам „DELTA BOX 3“ мотоцикла YAMAHA R1 (Stoffregen, 2006)

Седиште и наслон

Са становишта ергономије имају веома значајан утицај на квалитет вожње а самим тим посредно и на безбедност.



Сл 4.33 Седиште без наслона (Aprilia, 2016)



Сл 4.34 Седиште са наслоним (Harley-Davidson, 2016)

Оклоп мотоцикла

Оклоп мотоцикла са једне стране као битан дизајнерски део због изгледа мотоцикла, а опет са друге стране и функционалан у смислу усмеравања струјања ваздуха и заштите осталих делова.



Сл 4.35 Оклоп мотоцикла HONDA Goldwing (Honda, 2016)

Ветробран

Ветробран има функционалну улогу да омогући струјање ваздуха око возача и тиме обезбеди већу стабилност током вожње, а уједно је важан дизајнерски део мотоцикла.



Сл 4.36 Ветробран мотоцикла Kawasaki ZX 12 (Kawasaki, 2016)

Точак - Наплатак и Пнеуматик

Наплатак се конструктивно изводи као жичани или ливени, слике 4.37 и 4.38.

Пнеуматици мотоцикла могу бити без дезена-шара ("слик"), специјално протектирани "штампани слик", нормални дезен-шара и са крампонима, слике 4.39 - 4.42.



Сл 4.37 Жичани наплатак (Harley-Davidson, 2016)

Сл 4.38 Ливени наплатак (Kawasaki, 2009)



Сл 4.39 Слик пнеуматик (Michelin, 2016)



Сл 4.40 Штампани слик (Michelin, 2016)



Сл 4.41 Нормални-стандардни пнеуматик (Michelin, 2016)



Сл 4.42 Пнеуматик са крампонима (Michelin, 2016)

4.2.4. КОНСТРУКЦИЈА МОТОЦИКЛА - СИСТЕМ ЕЛАСТИЧНОГ ОСЛАЊАЊА

Систем еластичног ослањања предњег точка

Задаци система еластичног ослањања код мотоцикла су: да смање и пригуше ударне силе са точка на рам, да обаве вођење точка, остваре што бољи контакт точка са подлогом, а самим тим бржи и сигурнији пролазак кроз кривине, као и да пренесу кочне и погонске силе на рам мотоцикла и на тело возача безбедно.

Већина данашњих произвођача мотоцикала усвојила је коришћење сада већ потпуно конвекционалног предњег CEO који подразумева предњу телескопску виљушку пуњену флуидом. Употребу телескопа, као најбољег решења, наметнула је свакодневна употреба мотоцикала у пракси. Познате фирме за производњу CEO мотоцикала су KAYABA, Јапан, чије су предње виљушке заступљене као серијске на скоро свим јапанским мотоциклима, затим Showa, Јапан а од европских Ohlins, WP (White Power), Marzochi, SACHS итд.

Без обзира на произвођача и тип, телескопски систем се састоји из телескопа (штапова) и троуглова (мостова). Под појмом телескопа подразумевамо штап виљушке који се састоји од клизне цеви, клизног цилиндра и опруге потопљене у уљу. Клизне цеви направљене су од легираног челика, брушене су и хромиране, или код скупљих пресвучене слојем титанијума, како би биле глатке, чиме се коефицијент трења своди на минимум. Клизни цилиндри најчешће су одливци тврдих легура алуминијума које се касније подвргавају додатној обради. Доњи троугао најчешће је одливак алуминијума или другог метала, а горњи је најчешће од алуминијума.

Овакав CEO својим карактеристикама задовољава мотоцикле предвиђене за друмску употребу као што су, стандардни-кастум, туристички, „огољени“ и мањи спортски мотоцикли.

Код најраспрострањеније „обичне“ варијанте слика 4.43, клизне цеви су фиксирани са троуглом, док су клизни цилиндри, на којима су монтиране кочне чељусти, ти који се својим померањем прилагођавају неравнинама подлоге по којој се мотоцикл креће, тј. имају улогу амортизера.



Сл 4.43 Виљушка предњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)



Сл 4.44 Телескопска цев предњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)

Виљушку „Up side-down“ (изокренута) CEO, слика 4.45. користе спортски мотоцикли. По својој концепцији ова виљушка је слична, али нешто сложенија од обичне виљушке, а главна им је разлика то што су клизни цилиндри фиксирани у троугловима, а клизне цеви „раде“ па се зато и зове „изокренута виљушка“.

Постоје веома квалитетна и скупа уља различитих вискозитета намењена амортизерима за мотоцикле.



Сл 4.45 „Изокренута - Up side – down “ виљушка (Paul Thede, et al., 2010)

Honda је прва 1969. године дала решење пригушења системом „потапања CEO“ представљањем свог TRAC система-Traction Control System Suspension (Систем за регулацију потапања) слика 4.46, који није постао прихваћен све до осамдесетих година прошлог века. Ови системи пригушења ослањања огибљења су се најчешће везивали за хидраулични систем кочница, а најбоље је запамћен модел Kawasaki GPZ900R, где је представљен као AVDS систем (Automatic Variable Damping System), слика 4.47.



Сл 4.46 „Регулатор“ за подешавање карактеристике виљушке (Paul Thede, et al., 2010)

То је био систем који је имао допунски хидраулични цилиндар постављен на предњој виљушци и био повезан са кабловима кочница и хидрауличним уљем које је стајало на виљушкама. Суштина је била да при кочењу, цилиндар искористи притисак у цревима кочница, и притиском затвори контролни вентил. Вентил би редуктовао довод уља и укрутио CEO. Овакви системи су садржали регулатор који се подешавао ручно и који се налазио на управљачу мотоцикла (гуверналу).



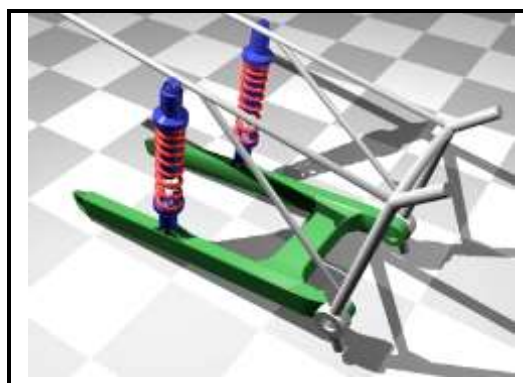
Сл 4.47 „TRAC“ систем (Paul Thede, et al., 2010)

TRAC-систем се разликује од обичних ADVS система. TRAC систем се активира путем реакције клипова кочница на промену обртног момента. На тај начин је потпуно независан од хидраулике кочница. Систем функционише тако што је један од два клипа зглобно повезан за виљушку, а не непокретно причвршћен за њу. Када се заочи, плочице притежу ротирајући диск и покушавају да заротирају клип заједно са диском. Клип се окреће на подлози на којој се налази, притиска контролни вентил система који је уграђен у самој виљушци мотоцикла. Предност „Hondinog“ система је у томе што се показао као адаптивнији на путевима са неравнинама.

На правилно функционисање система еластичног ослањања утиче и одабир пнеуматика, притисак у њима, тежина мотоцикла и возача као и правилна расподела односа тежина (напред - назад). Погрешна процена било ког од ових параметара може у вожњи да изазове појаве које би по својим симптомима личиле на погрешно подешен CEO.

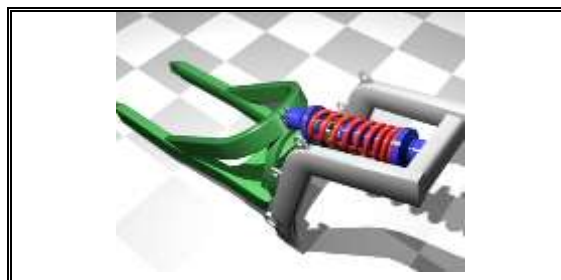
Систем еластичног ослањања задњег точка

Виљушка у облику латиничног слова „Н“, слика 4.48. повезана је са рамом и по једним амортизером са опругом на свакој грани слова „Н“. Ово је један од најједноставнијих облика ослањања. Почине да нестаје средином осамдесетих година двадесетог века, када се појављују нови материјали мање тежине и веће чврстоће. Чињеница је да овакве виљушке никако нису биле добро решење, јер су биле подложне увијању при екстремним условима вожње, што се решавало додавањем материјала, а то је имало за последицу већу тежину и лошије перформансе.



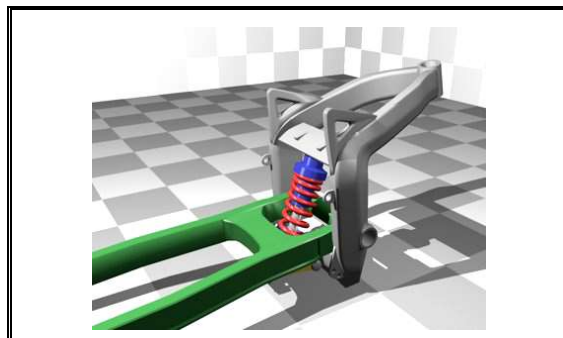
Сл 4.48 Задња „Н“ – виљушка (Paul Thede, et al., 2010)

Године 1977. појавио се систем са једним амортизером на тркачким мотоциклима. Мада, је био присутан још од тридесетих година двадесетог века, тек је осамдесетих почео да се појављује на фабричким, серијским моделима, слика 4.49. Опруга и амортизер, који су саосни, везују се за „U“ виљушку и рам.



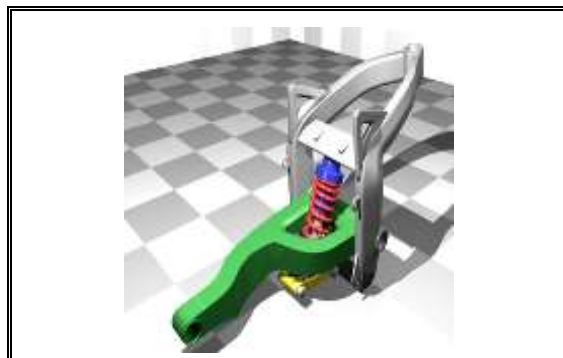
Сл 4.49 „U“ виљушка задњег CEO (Paul Thede, et al., 2010)

На слици 4.50 имамо сложену везу СЕО са рамом на доњем делу рама где се везује сама опруга. Битно код овог система је редовно подмазивати све везе. Оваква веза допушта да опруге буду постављене под мањим углом према вертикали у односу на стари модел, са једним амортизером.



Сл 4.50 Рам са сложенем везом СЕО (Paul Thede, et al., 2010)

Најбоља и најновија генерација ових рамова је асиметричан или „једнострани“ рам. Прва примена оваквих рамова била је на „Hondinin“ мотоциклима VFR 750 из 1991.год. слика 4.51.



Сл 4.51 „Једнострани“ рам са једним амортизером (Paul Thede, et al., 2010)

4.2.5. КОНСТРУКЦИЈА МОТОЦИКЛА - СИСТЕМ ЗА КОЧЕЊЕ

Кочни системи предњих точкова

Добош системи за кочење на предњим точковима су карактеристични за мопеде и мотоцикле мале снаге (слика 4.52).



Сл 4.52 Добош кочница (Тга, 2016)

Најчешће коришћени системи за кочење на предњим точковима данашњих мотоцикала су једноструки или двоструки кочни дискови, који могу бити са више кочних клешта (слика 4.53).



Сл 4.53 Кочни дискови (Brembo, 2016)

Кочни системи задњих точкова

Добош системи за кочење на задњим точковима су карактеристични за мопеде и мотоцикле мале снаге (слика 4.54).



Сл 4.54 Добош кочница (BMW, 2016)

Најчешће коришћени системи за кочење на задњим точковима данашњих мотоцикала су једноструки кочни дискови, који могу бити са више кочних клешта (слика 4.55).



Сл 4.55 Диск кочница (BMW, 2016)

Новије генерације мотоцикала поседују и систем против блокирања кочница ABS (anti lock braking system) (слика 4.56).



Сл 4.56 Систем против блокирања кочница ABS (BMW, 2016)

4.2.6. КОНСТРУКТИВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОТОЦИКЛА YAMAHA R6

Мотоцикл YAMAHA YZF R6 представља мотоцикл новије генерације и приказан је на слици 4.57.

Основни подаци:

Марка: YAMAHA,
Модел: YZF R6,
Запремина мотора: 600cm³
Снага мотора: 88,2 kw
Маса: 183 kg



Сл 4.57 Мотоцикл YAMAHA YZF R6

Рам мотоцикла YAMAHA R6

Рам мотоцикла YAMAHA YZF R6 припада по типу DELTA BOX, рам који је карактеристичан за овог произвођача мотоцикла.



Сл 4.58 Рам мотоцикла YAMAHA YZF R6

Предњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6

Предњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6 слика 4.59 припада групи изокренутих телескопских виљушки "Up side-down"



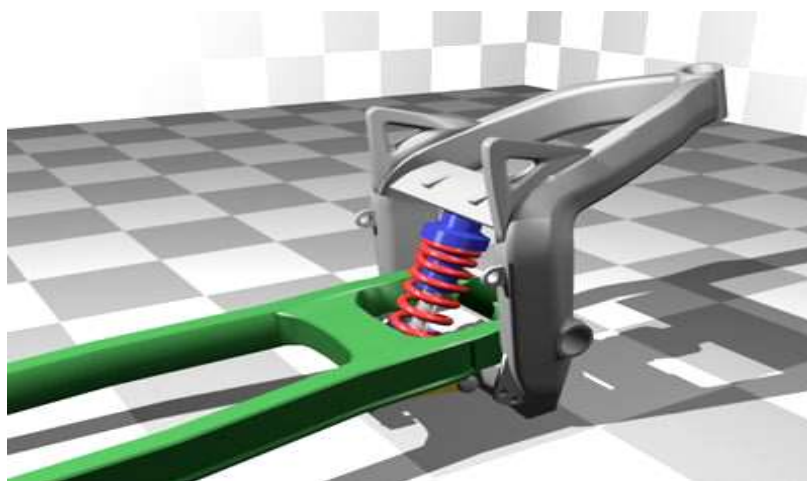
Сл 4.59 Предњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA YZF R6

Задњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6

Задњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA R6 слика 4.6 припада групи "Н" симетричних виљушки, а њен концепт је приказан на слици 4.61.



Сл 4.60 Задњи систем еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA YZF R6



Сл 4.61 Тип задњег система еластичног ослањања мотоцикла YAMAHA YZF R6
(Paul Thede, et al., 2010)

5. РАЗВОЈ И АНАЛИЗА ДИНАМИЧКОГ МОДЕЛА

Динамичке карактеристике мотоцикла се приказују у три равни:

- у подужној вертикалној равни за: осцилаторне процесе режима: залета и кочења при праволинијској вожњи,
- у бочној равни, за режиме криволинијске вожње,
- у хоризонталној равни за проблеме управљања.

У општем случају кретања постоји вишеструка спрега ових равни динамике посматраног система.

Међутим, при строго дефинисаним условима у погледу промене брзине, облика путање и квалитета коловоза могу се одвојено посматрати карактеристични режими кретања:

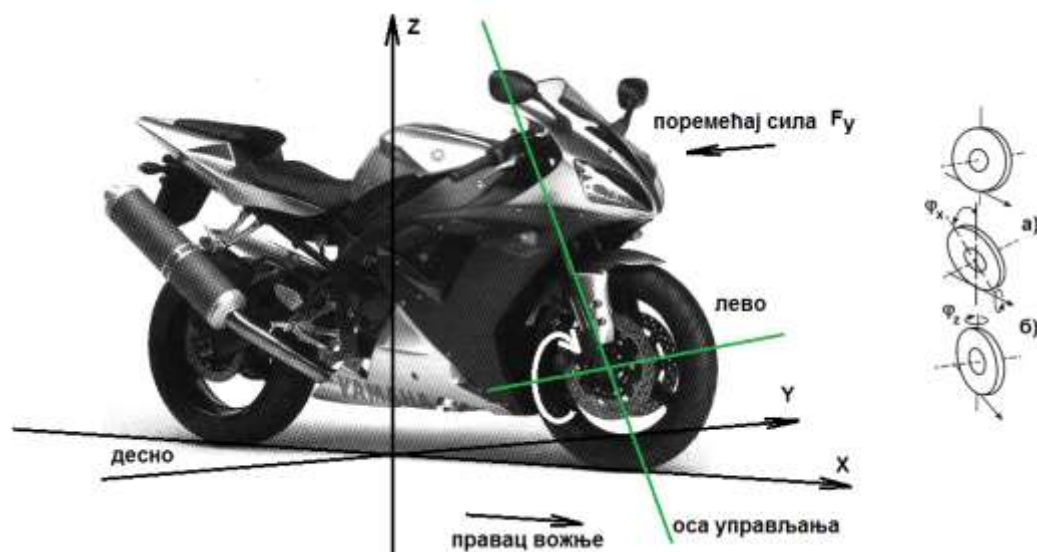
- кочење мотоцикла,
- залет мотоцикла и
- осцилације мотоцикла.

Ови режими имплицирају и одговарајуће динамичке раванске моделе.

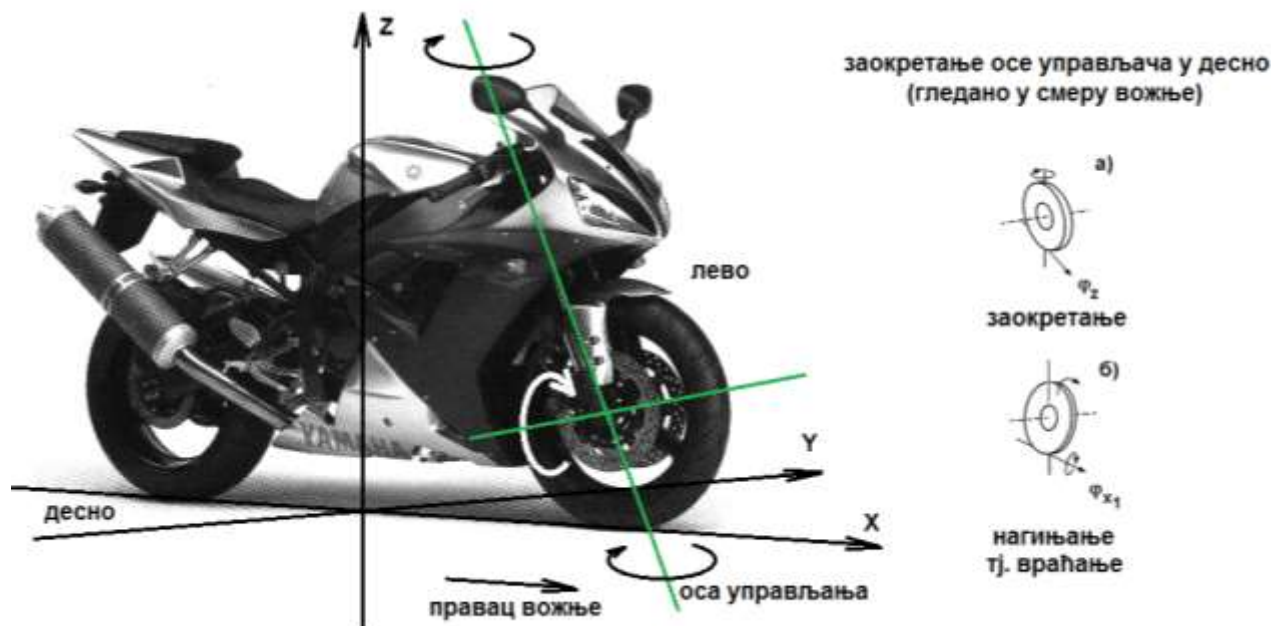
5.1. ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ДИНАМИКУ МОТОЦИКЛА

5.1.1. ЕФЕКАТ САМОСТАБИЛИЗАЦИЈЕ ДВОТОЧКАША

На слици 5.1 је приказано кретање мотоцикла на равном и правом путу, без уздужног или бочног нагиба. Ако се, гледано у смеру вожње, раван предњег точка нагне у десно (ротација око осе x , ϕ_x), онда оса управљања, као последица нагињања, има заокрет удесно (ротација око осе z , ϕ_z).



Сл 5.1 Стабилизовање праволинијске вожње фаза 1: а) бочно нагињање предњег точка, б) заокретање око осе z [Stofregen, 2006]



Сл 5.2 Стабилизовање праволинијске вожње, фаза 2:

а) заокретање око осе z ; б) бочно нагињање (враћање) равни точка
[Stofregen, 2006]

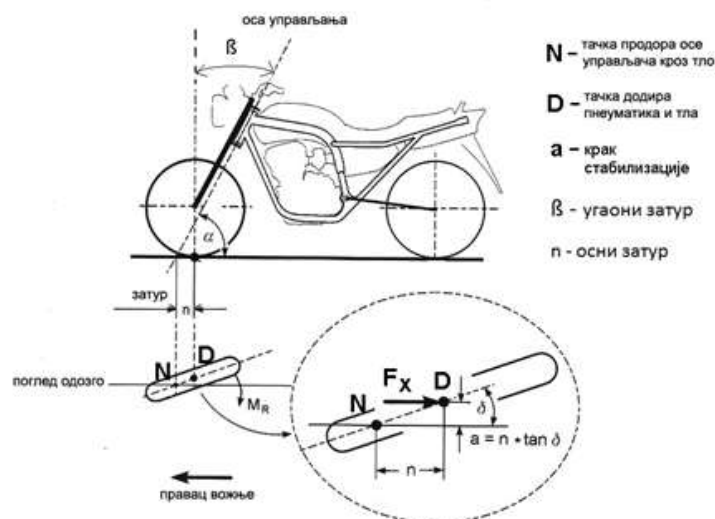
Као реакција на ротацију φ_z у лево, раван точка се нагиње улево, тј. угао нагиба точка се мења у супротном смеру (враћа се) и на тај начин двоточкаш постиже свој ефекат стабилизације. За то је потребно да се точак окреће (ротација φ_y), јер ова ротација доприноси стабилизацији. У суштини, предњи точак никада нема чисту ротацију φ_y , и правац кретања x , већ непрекидно осцилује, нагињући се десно-лево и правећи ротацију исте амплитуде око осе управљања, ако се креће праволинијски, [Stofregen, 2006].

Да би точак постигао ефекат „самостабилизације“, тј. да иде право без утицаја возача, потребна је нека минимална гранична брзина која за класичне конструкције износи око 35 km/h (Радоњић, 2010.). Другим речима, погонски момент има утицај самостабилизације. Наведена гранична брзина је оријентациона и зависи од конструкције модела. За брзине испод граничне, од великог утицаја на стабилност је положај тежишта возача и његово активно управљање. На двоточкашима уопште, спора вожња је тежа за управљање него брза, па зато често деца лакше управљају него одрасли.

Утицај затура на ефекат стабилизације

У анализи стабилности вожње, кључну улогу има угао затура, слика 5.3.

Са слике 5.3 је јасан утицај угаоног затура β . Овај угао директно утиче на положај тачке N, тј. на величину осног затура n .



Сл 5.3 Стабилизујуће дејство затура точка [Stofregen, 2006]

При праволинијској вожњи, раван точка се нагиње око осе „X“ (угао равни точка φ_X је мали) што за последицу има мале углове ротације точка око осе управљача, па према слици 5.3 важи релација:

$$a \approx n \cdot \delta \tag{5.1}$$

где је a крак обимне силе F_x која производи момент стабилизације, док је сам момент стабилизације:

$$M_R = F_X \cdot a = F_X \cdot n \cdot \delta \quad (5.2)$$

Јасно је да ако затур расте, расте и момент стабилизације.

5.1.2. РИЗИЧНЕ ОСЦИЛАЦИЈЕ МОТОЦИКЛА

На основу претходно изнетог о дејству сила, јасно је да динамичке силе на мотоциклу имају осцилаторни карактер, осим амплитуде тј. амплитудно фреквентне карактеристике. Фаза, тј. фазно фреквентна карактеристика је веома битна карактеристика овог осцилаторног кретања, с обзиром да фаза одражава кашњење одзива од побуде.

Суштина стабилности система мотоцикл-возач-пут је у:

- законitosti ротационог кретања предњег точка око осе управљања и
- силама пријањања између пнеуматика мотоцикла и пута.

У овој динамичкој спрези точак игра комплексну улогу: он је истовремено и еластични и пригушни елемент.

Практично, за стабилност су битне две сопствене фреквенце и то: лепршање и ваљање.

Осцилације лепршања предњег точка око осе управљања

Резонантне осцилације предњег дела мотоцикла, предњи точак и делови CEO, око осе управљања у резонантној области су познате као „лепршање точкова“, у немачком језику користи се термин „Flattern“, а у енглеском говорном подручју Shimmy-Effekt. Најчешће имају учестаност 5-10 Hz.

Настају при брзини 40-80km/h, када се кружна фреквенца предњег точка изједначи са сопственом фреквенцом конструкционе целине система предњег ослањања и система управљања.

Ако постоји неуравнотеженост предњег точка, која делује као спољашња побудна сила, она може да изазива осцилације које у интеракцији са сопственим осцилацијама система управљања дају додатни ефекат лепршању точка.

Велики утицај на укупне осцилације имају приањање, пригушење које је подесиво и момент стабилизације, као и сам возач који чврстим држањем управљача мање или више пригушује овај ефекат.

На сопствене осцилације мотоцикла утичу:

- крутост CEO, укључујући точак,
- чврстоћа рама,
- маса CEO, маса рама,
- оптерећење предњег точка,
- затур точка – положај осе управљања,
- пнеуматик,
- евентуална неуравнотеженост точка.

Крутост предњег CEO, неослоњена маса-точак и момент инерције точка директно утичу на сопствену фреквенцу лепршања управљачког точка. На основу опште формуле за сопствену учестаност непригушених система

$$\omega^2 = \frac{c}{m} \quad (5.3)$$

јасно је да велика крутост лаких и компактних конструкција предњег дела даје високу сопствену учестаност.

Момент на управљачу који потиче од инерције ротације предњег дела мотоцикла је

$$M = I \cdot \omega' \quad (5.4)$$

где је ω' угаона брзина око осе управљања, па велики момент инерције (I) може да буде веома опасан реметилачки фактор управљања.

Веће вертикално оптерећење предњег точка има за последицу већу адхезиону силу између пнеуматика и тла, што пригушује осцилације око осе управљања. Растерећење предњег точка (нпр. стављањем терета иза возача) може да доведе до ниже резонантне учестаности.

Што се тиче самих пнеуматика, с обзиром на врсту, профил, притисак и комплексна и спрегнута дејства ових фактора са другима, не може једноставно да се да нека генерална препорука. Ипак, стоји да су коришћени–похабани пнеуматици склонији осцилацијама око осе управљања него нови.

Сам возач утиче као пригушни елемент на осцилације лепршања, јер умањује утицај задњег дела мотоцикла, који увек постоји, чак и када су осцилације предњег и задњег дела у великој мери распрегнуте. С обзиром на ову чињеницу, многи возачи који нису возили „без руку“, пустивши управљач, нису ни имали прилике да осете ове осцилације, јер су их држањем управљача спречили. Велике амплитуде осцилација лепршања изазивају осећај хармонијских удара на управљачу.

Произвођачи испитују ове осцилације тако што на равном правом путу убрзавају мотоцикл до око 100 km/h, и затим га пусте да иде слободно - тзв. „вожња без руку“. Код мотоцикла који су осетљиви на осцилације, Shimmy-Effekt се јавља већ при 60km/h. Ако је управљач сасвим миран на 30 km/h сматра се да је ефекат

лепршања задовољавајући и то за класу стандардних мотоцикала који су најчешће у употреби. Разуме се, ова граница мора да буде другачија зависно од намене мотоцикла.

Тачнија испитивања лепршања се изводе тако што се поставе давачи убрзања на виљушку и мере се убрзања дуж осе управљања и нормално на њу, изврши се аквизиција тих података и из њих се интеграљењем добијају брзине и то:

$$v_x = \int a_x dt \quad (5.5)$$

$$\text{бочна} \quad v_y = \int a_y dt \quad (5.6)$$

Однос компонената бочне и подужне брзине даје меру лепршања.

Ваљање мотоцикла

Други сопствени облик осциловања је ваљање-клаћење, који је много опаснији него лепршање. Ово су сложене осцилације које представљају спрегнуто осциловање предњег и задњег дела мотоцикла, такође око осе управљања.

- осциловање **предњег дела** обухвата: предње ослањање и предњи точак, управљач и предњи део рама мотоцикла.
- осциловање **задњег дела** обухвата: рам са погонским агрегатом, задњи точак и возача.

За разлику од некадашњих мотоцикала где критично ваљање настаје и при мањим брзинама (50 km/h, када су мотоцикли били спорији), код данашњих мотоцикала настаје при великим брзинама $v > 100 \text{ km/h}$ тј. у горњој области могуће брзине мотоцикла. Са порастом брзине, повећава се амплитуда ових сложених осцилација. Сопствена фреквенца ваљања-клаћења износи 3-4 Hz, тј. значајно је нижа него фреквенца лепршања. Ваљање је карактеристично за вожњу кроз кривину. Задњи точак доприноси већем ваљању, а центрифугална сила га стабилизује.

Са повећањем брзине кретања, значајан утицај на ваљање има и смањење пригушне моћи система мотоцикл-возач услед масе возача. Ово пригушење иначе је код тежих мотоцикала мање јер је однос масе возача и масе мотоцикла мањи. Ако у тренутку смањеног пригушења наступи резонанца, тада веома повећану амплитуду ваљања не може да савлада ни утренирани возач и мотоцикл губи стабилност.

Ваљање може да изазове возач заокретањем. Може да га изазове и пут, усечен траг или неравнине. Такође, могу да га изазову и аеродинамичне силе, бочни ветар или пролазак брзог возила – теретног нарочито.

Ваљање мотоцикла може да се минимизира конструктивним мерама, али притом треба водити рачуна да кретање мора да буде стабилно у свим режимима као и да постоји иницијално ваљање, које не може да се избегне.

Важније напомене за стабилност мотоцикла при великим брзинама су:

- велика крутост система за вођење точка, самог точка и рама мотоцикла,
- што мањи момент инерције око осе управљања,
- велики затур и приближно раван угао главе управљача,
- мале масе точкова,

- што веће оптерећење предњег точка,
- што већа маса возача,
- нови пнеуматици.

Већа крутост и мањи момент инерције око осе управљања, смирују осцилације ваљања, баш као и лепршања. Ове мере доприносе да резонанца наступи при брзини већој од максималне, чиме се избегава ризично понашање мотоцикла. Довољно је да ова сопствена фреквенца ваљања буде што нижа.

Велики затур, тј. „раван“ угао главе управљача, прави велики момент стабилизације. Пошто у ваљању учествује цело возило, то велики затур има ефекат стабилизације, док код лепршања, где учествује само управљач, има ефекат дестабилизације.

Веће оптерећење предњег точка и тежи возач стабилизују ове осцилације, тј. повећавају момент стабилизације. Возач својом масом делује као пригушивач сопствених осцилација, па је повољно да постоји и сувозач иза, без обзира што мало помера тежиште уназад (јер чини целину са возачем). Терет позади (одвојен), нарочито висок, је неповољан, јер практично делује као одвојена маса.

Мањи момент инерције точкова доприноси мањем ваљању, генерално. Међутим, при великим брзинама већи је и број обртаја точка, веће су обимне силе, па мала маса и моменти инерције могу да буду врло неповољни за поремећаје, нарочито бочне. Није добро смањивати момент инерције смањујући само масу. Обимна сила на точку може да се напише као

$$F = \frac{m \cdot v}{t} = \frac{m \cdot \omega \cdot r}{t} \quad (5.7)$$

где је

m – маса точка

v - обимна брзина

ω - кружна брзина

r - динамички полупречник точка

Из релације (5.7) произилази да ако кружна брзина расте, да ће расти и обимна сила на точку, а самим тим се повећава и момент стабилизације, тј.

$$\omega \uparrow \Rightarrow F \uparrow \Rightarrow M_s \uparrow \quad (5.8)$$

а такође, ако полупречник точка расте, расте и обимна сила и момент стабилизације.

$$r \uparrow \Rightarrow F \uparrow \quad (5.9)$$

Ова аналогија указује да се момент стабилизације повећава и са повећањем кружне брзине и са повећањем полупречника точка.

Ваљање много зависи и од понашања возача, да ли слободно или чврсто држи управљач у почетном тренутку ваљања. Иницијално мало и безопасно ваљање може да се повећа и постане неконтролисано, ако возач снажно, чврсто стегне управљач.

Возач много може својим понашањем да утиче на даљи развој неког иницијалног ваљања. Тешко је дати општи савет за све ситуације, јер како је речено, лабаво држање управљача повећава лепршање. У принципу, добро је смањити брзину, чиме се смањују и екстремне вредности оба облика осциловања. Често се ваљање значајно пригуши ако возач лабаво држи управљач. На тај начин

смањује спрезање предњег дела мотоцикла са задњим, па се ваљање смањује. Међутим, интензивно кочење може да доведе до дестабилизације и нагињања мотоцикла.

Произвођачи тестирају мотоцикле и на лепршање и на ваљање при праволинијској вожњи са $v = \text{const.}$, када делује бочни поремећај, тј. одређени импулс, после чијег дејства се региструје бочно померање и угао нагиба око подужне осе.

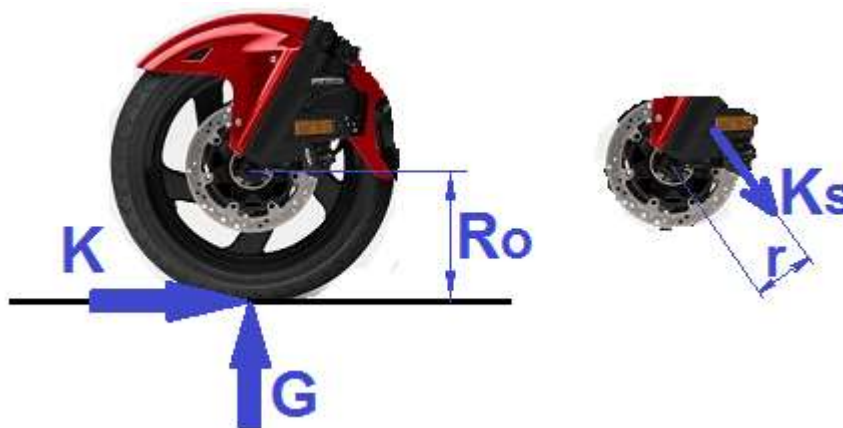
Удар на управљачу

Удар на управљачу (kick-back) је релативно ново испитивање стабилности. Изводи се тако што се управљач нагло заокрене, што производи велике ударне силе које могу да прозрукују велики нагиб мотоцикла и губитак контроле вожње. Ово је веома тешко радити експериментално и ради се углавном као рачунарска симулација. Испитивање се изводи при различитим брзинама.

5.2. АНАЛИЗА КОЧЕЊА МОТОЦИКЛА

5.2.1. ПРОЦЕС КОЧЕЊА

На слици 5.4 су приказане силе на коченом точку.



Сл 5.4 Силе на коченом точку

K_s – обимна сила на диску

R_0 – полупречник точка

r – крак дејства обимне силе на диску

K – реакција тла при кочењу (тангенцијална)

G – вертикална реакција тла

Највећа обимна сила коју точак може да пренесе са аспекта приањања је кочна сила:

$$K = \varphi \cdot G \quad (5.10)$$

где је φ коефицијент приањања

Равнотежа момената око осе управне на раван точка за центар точка гласи

$$K_s \cdot r = K \cdot R_0 \quad (5.11)$$

Ако се занемаре отпори котрљања и ваздуха, промена кинетичке енергије од момента почетка кочења (од брзине v) до заустављања мотоцикла са возачем износи:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5.12)$$

Овде је $m = m_m + m_v$ (маса мотоцикла + маса возача). Није узет у обзир ефекат инерцијалних ротационих сила.

Под претоставком да је кочење константно (реално није), добијају се једноставне кинематске релације, између интензитета кочења (b – успорење), брзине (промена брзине Δv) и протеклог времена (Δt),

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{b} \quad (5.13)$$

Максимално успорење је према [Stofregen, 2006] $b \approx 0.8g \approx 8 \frac{m}{s^2}$

За зауставни пут важи кинематска релација:

$$S = \frac{v^2}{2b} \quad (5.14)$$

Снага коју мора да има кочница је (под претпоставком да се целокупна кинетичка енергија претвори у топлоту):

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (5.15)$$

Ова снага (kW) се ослобађа кроз топлотну енергију при кочењу, па изрази за енергију (5.12) и снагу (5.15) служе за димензионисање кочница.

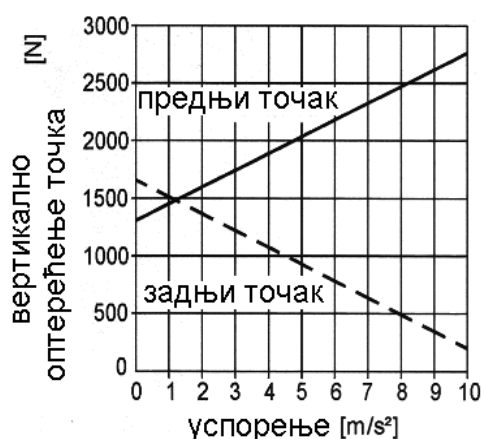
Ако је већа енергија кочења, ослобађа се и већа топлота, па се услед промене температуре мења коефицијент трења кочних папуча (облога) а тиме се смањује ефикасност кочења. Ако су кочнице добро димензионисане, зауставни пут мање зависи од масе.

Из израза (5.14) произилази да је пут при убрзавању и кочењу исти. То није у пракси тако, јер убрзавање траје дуже него кочење. Такође, у овом изразу не фигурише маса, за шта знамо да има утицаја. Познато је да већа сопствена маса захтева и већи интензитет кочења, за исти зауставни пут, што објашњава релација (5.15)

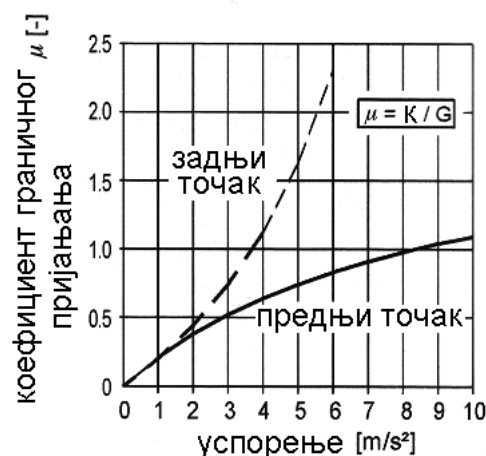
На зауставни пут утиче и прерасподела маса напред/назад.

Ако су кочнице предимензионисане, то има за поседицу да неискусан возач постигне сувише интензивно кочење, ако возило није оптерећено. Ако кочење није оптимално регулисано, мора да постоји компромис између трајања кочења и његовог понављања (тј. „сецкање“, да не би блокирао точак). Зато АБС системи и код мотоцикла имају велику предност.

Познато је да се при растућем успорењу предњи точак додатно оптерећује, а задњи растерећује, слика 5.5 а. Сагласно томе, кочна сила са аспекта приањања на предњем точку расте, а на задњем опада, слика 5.5.б.



Сл 5.5 а Кочна сила на предњем тачку, [Stofregen, 2006]



Сл 5.5 б. Кочна сила на задњем тачку, [Stofregen, 2006]

За стабилност возила уопште, а нарочито мотоцикла, веома је битна бочна сила коју тачак може да пренесе.



Сл 5.6 Зависност бојне и обимне силе при константном коефицијенту трења, [Stofregen, 2006]

На слици 5.6 је дат тзв. „Камшов круг“, који показује зависност обимне и бојне силе за константан коефицијент трења, тј. пријањање $\varphi = 1$. Види се да је у случају када је

$$F_0 = F_{0\max} \quad (5.16)$$

бојна сила:

$$F_s = 0 \quad (5.17)$$

што значи да при максималном кочењу, или убрзавању нема више управљања, тј. тачак не може да пренесе бојну силу. Такође, ако је бојна сила на максимуму, обимна је нула, па тачак не може да пренесе тангенцијалну силу.

Према Камшу, теоријски, исто важи и за убрзавање и за кочење (слика 5.6) док је у пракси другачије. Док год се тачак котрља, при праволинијској вожњи, чак и при максималном кочењу може да пренесе бојну силу све док не блокира и изгуби стабилност. Док блокиран тачак има макар и мало могућности преношења бојне силе, он може у праволинијској вожњи да буде још увек стабилан.

Насупрот аутомобилу, код мотоцикла мора да се избегне да прво блокирају предњи тачкови. У случају када блокирају прво задњи тачкови, мотоцикл је још кратко време по блокирању задњих тачкова стабилан – код аутомобила је обрнуто. Упркос овој чињеници, произвођачи мотоцикала регулишу истовремено и кочење предњег и кочење задњег тачка (не само и првенствено предњих, као што код аутомобила регулишу првенствено задње).

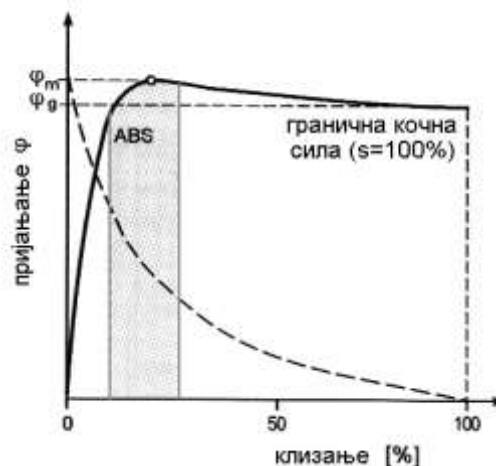
Из теорије аутомобила је познато да се точак креће само ако поред котрљања постоји и мали удео клизања, јер се пријањање точка састоји од компоненте котрљања и компоненте клизања. Коефицијент клизања се дефинише као однос релативне брзине између центра точка и обимне брзине тачке на тлу, према брзини центра точка, (слика 5.7).



Сл 5.7 Обимна V_o и брзина центра точка V_c

$$s = \frac{|V_c - V_o|}{V_c} \quad (5.18)$$

Коефицијент клизања S (5.18) се често изражава у %. На слици 5.8 је дата типична функционална зависност између клизања и пријањања точка.



Сл 5.8 Функционална зависност између клизања и пријањања, [Stofregen, 2006]

Ознаке на слици 5.8 су:

- ϕ_m -максимална вредност коефицијента пријањања (коэф. клизања 10-15%)
- ϕ_g -гранична вредност коефицијента пријањања (коэф. клизања 100 %)

Промена коефицијента пријањања од максималне вредности (ϕ_m) до граничне вредности (ϕ_g), када је клизање $s=1$ или $s=100\%$ догађа се у делу секунде.

За кочење у кривини је карактеристично да се зауставни пут продужава. Немачки аутор Weidele наводи податак да ако се кривина пролази граничном брзином v_{gr} – (теоријски) и кочи се интензивно, зауставни пут се продужава за око 60%. Али ако се вози са 75% од v_{gr} , што је у пракси реално и отпочне интензивно кочење, онда се зауставни пут продужава за око 5-6%. Ово потврђује и Камшов круг (слика 5.6).

За бочну силу (центрифугална сила) важи:

$$F_c = \frac{mv^2}{R} \quad m, R \text{ су const.} \quad (5.19)$$

Ако је вожња граничном брзином:

$$v = v_{gr} \Rightarrow F_{c_1} = \frac{mv_{gr}^2}{R} \quad (5.20)$$

Ако је вожња са 75% граничне брзине:

$$v = 0.75v_{gr} \Rightarrow F_{c_2} = 0.5625 \frac{mv_{gr}^2}{R} \quad (5.21)$$

Ако мотоцикл има АБС и интензивно кочи, брза модулација притиска у кочној инсталацији изазива пулсирајућу кочну силу и променљив момент око осе управљања. Тада реакција возача обично постаје неконтролисана, јер велики момент око осе управљања проузрокује велики угао нагињања точка у кратком временском интервалу, па мали број возача може да контролише мотоцикл у оваквој ситуацији.

Остварено успорење на равном и правом путу се може представити релацијом:

$$\ddot{x}_k = dv_k / dt = \frac{1}{\delta_k m} \left(\frac{P_{ek} \eta}{v_k} - K - R_{fk} - R_{vk} \right) \quad (5.22)$$

где је,

dv_k/dt (ms^2) – подужно успорење мотоцикла при кочењу,

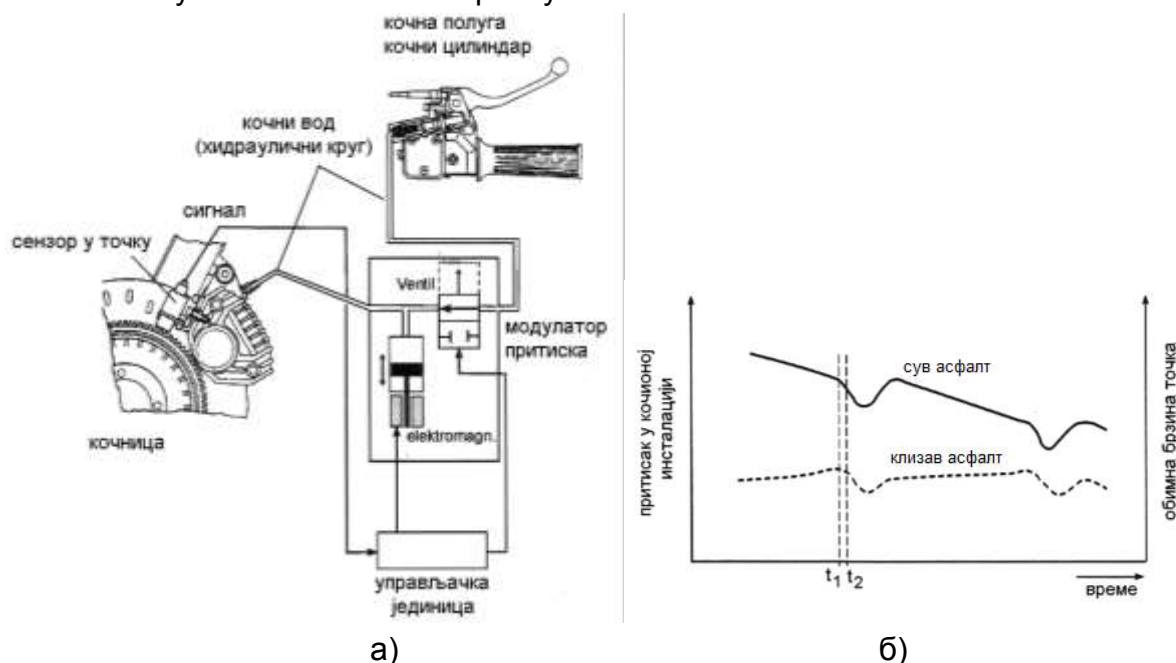
δ_k - коефицијент утицаја обртних маса при кочењу,

P_{ek} (W) – кочно дејство мотора при кочењу мотоцикла са укљученом спојницом, (сходно томе, први члан у загради је аксијална сила коју преноси спојница)

K (N) – укупна сила кочења са аспекта приањања,

R_{fk} , R_{vk} (N) – отпор котрљања и отпор ваздуха при кочењу, респективно.

На слици 5.9. приказана је функционална шема регулације притиска (а) и зависност притиска од времена (б), за случај регулисања притиска при режиму вожње на сувом и клизавом асфалту.

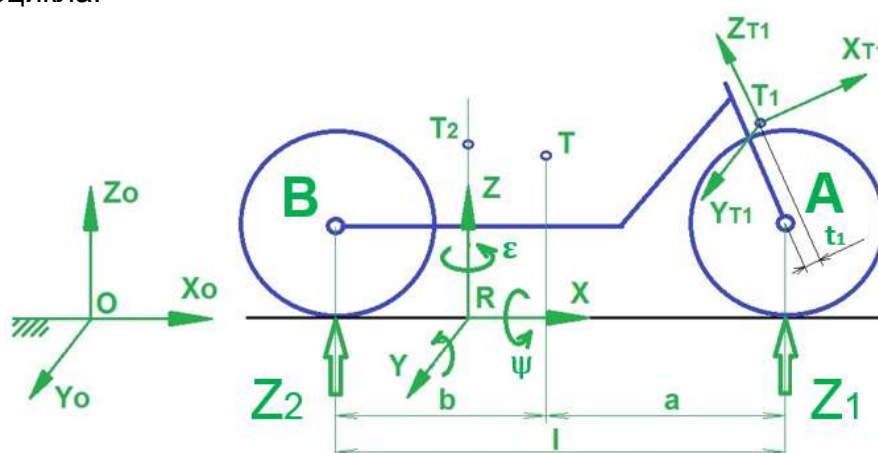


Сл 5.9 Функционална шема регулације притиска (а) и зависност притиска и обимне силе од времена (б), [Stofregen, 2006]

Промена обимне силе ствара промену момента стабилизације на точку. Овај момент нагиње точак ка унутра, услед чега се повећава радијус кривине па се точак извлачи упоље. Ово кретање има за последицу и померање тежишта ка унутрашњој страни кривине, а тиме и нападну тачку инерцијалних сила. Тиме се ствара додатни момент који возач мора да уравни. Ако је кочење униформно, ($p=\text{const}$) онда то возач може да постигне. Али ако је кочење са великим градијентом промене притиска (импулсно) онда мали број возача може својом реакцијом да „смири“ мотоцикл, зато што се јавља додатни поремећај на управљачу због брзе промене кочне силе.

5.2.2. РАВАНСКИ СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ

На слици 5.10 дат је шематски приказ раванског модела мотоцикла, са положајем координатних система, постављених у циљу проучавања подужне динамике мотоцикла.



Сл 5.10 Шематски приказ раванског модела коришћеног у симулацији подужне динамике

Легенда:

(x_0, y_0, z_0) Референтни систем везан за тле

(x, y, z) Покретни координатни систем везан за рам мотоцикла

T – тежиште мотоцикла са возачем

T_1 – тежиште предњег дела мотоцикла (систем управљања и предњи точак)

T_2 – тежиште мотоцикла без возача

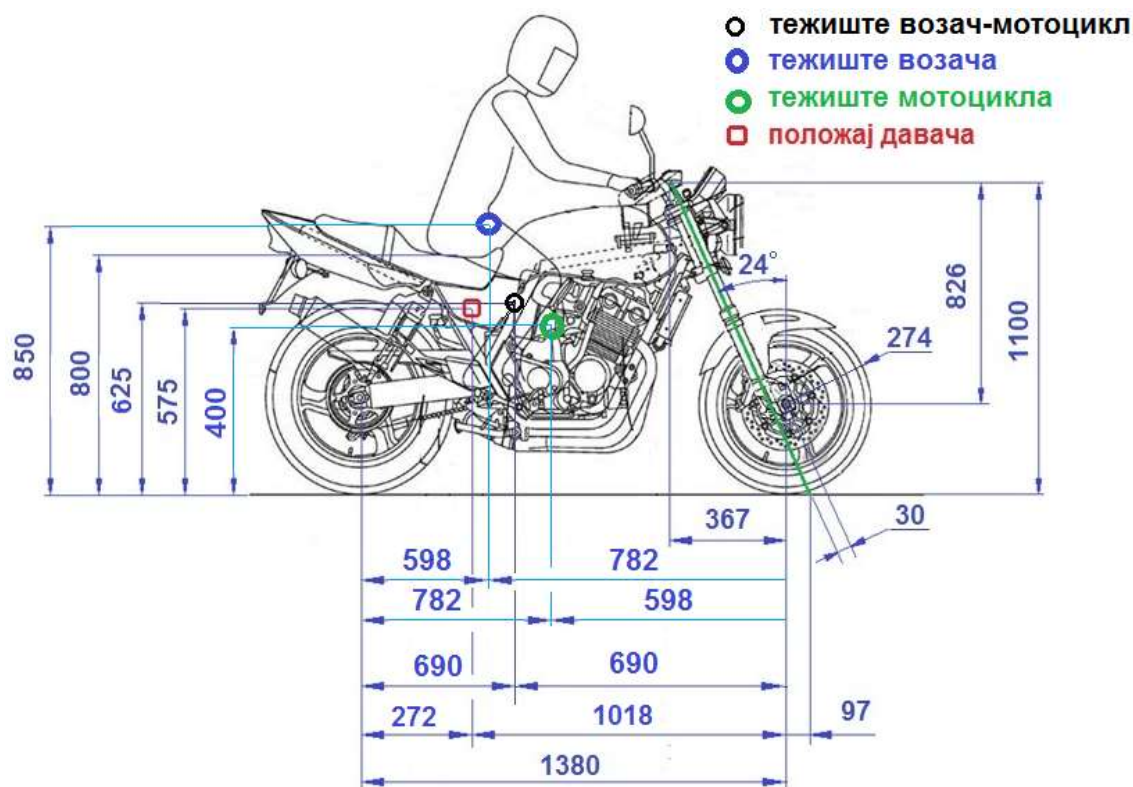
(x_{T1}, y_{T1}, z_{T1}) покретни координатни систем везан за осу управљања

t_1 – одступање правца осе управљања од осе точка због механичких веза.

У овај модел могу да се уведу обимне силе при убрзавању или при кочењу.

Масене и геометријске карактеристике симулираног мотоцикла

На слици 5.11 приказани су геометријски конструктивни параметри за физички модел мотоцикла YAMAHA YZF R6, на основу каталога за стандардног возача.



Сл 5.11 Конструктивни параметри мотоцикла YAMAHA R6

На сликама 5.12 је приказан процес мерења масе, мерењем на ваги мотоцикла заједно са мотоциклистом.

Место мерења: Лабораторија за испитивање возила АМСС ЦМВ, Крагујевац.

Карактеристике ваге:

Произвођач: Метрикс, Србија

Тип: Воп, с/б 57/13

Опсег мерења: 0-15000 kg

Измерене вредности:

Маса мотоцикла са возачем: 264 kg

Осовинско оптерећење предње осовине: 132 kg

Осовинско оптерећење задње осовине: 132 kg



Сл 5.12 а)



Сл 5.12 б)



Сл 5.12 ц)

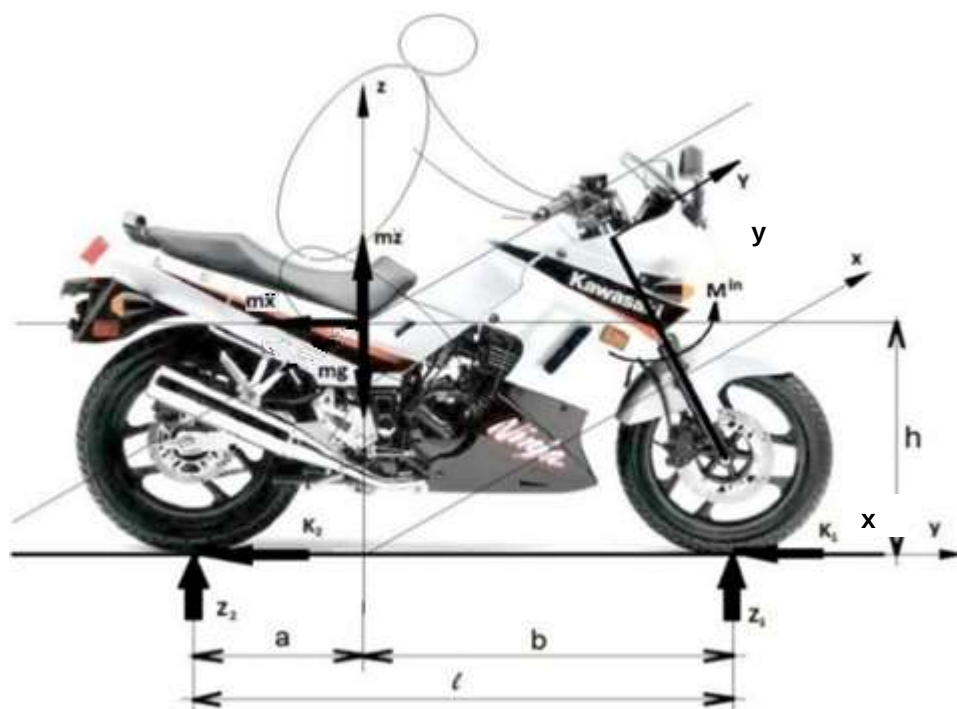


Сл 5.12 д)

Сл 5.12 Мерење масених карактеристика мотоцикла

5.2.3. ДИНАМИЧКЕ ЈЕДНАЧИНЕ У ПРОЦЕСУ КОЧЕЊА

На слици 5.13 је дат модел мотоцикла при кочењу.



Сл 5.13 Стварни изглед симулираног мотоцикла при кочењу

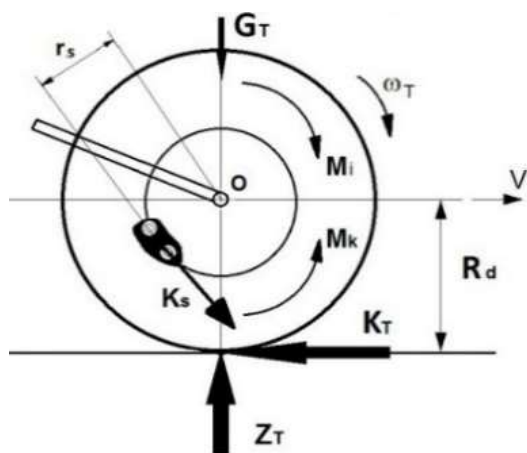
На слици 5.14, приказан је физички модел предњег точка у процесу кочења. Динамички услови равнотеже одређени су системом једначина датим за предњи точкак и за цео мотоцикл.

За предњи точкак, према слици 5.14:

$$K_T R_d = M_K - M_i \quad (5.23)$$

$$M_K = K_S r_S$$

$$M_i = J_T \dot{\omega}_T$$



K_T – кочна сила на критичном точку (предњи)

Z_T – вертикална реакција точка

R_d – динамички полупречник точка

V – транслаторна брзина центра точка

G_T – вертикално оптерећење точка

Сл 5.14 Силе и моменти на коченом точку мотоцикла

За мотоцикл, према слици 5.13 је:

$$\begin{aligned} Z_1 + Z_2 &= mg \\ K &= K_1 + K_2 = m\ddot{x} \\ Z_2 l - mga + mh\ddot{x} &= 0 \end{aligned} \quad (5.24)$$

где су,

K_1, K_2, K – Кочне силе предњег точка, задњег точка и укупна кочна сила, респективно,

K_s, r_s, M_k – Кочна сила, крак дејства и момент кочења кочног механизма, респективно,

$M_i, J_T, d\omega_T/dt$ – инерциони момент услед ротације, момент инерције точка у тежишту, угаоно успорење точка, респективно;

Z_1, Z_2 – вертикалне реакције на точковима;

m – маса мотоцикла,

a, b, h – координате центра маса према слици 5.13

l – осно растојање точкова,

φ_1, φ_2 – коефицијенти приањања предњег и задњег пнеуматика и коловоза, респективно.

Наведене променљиве у систему једначина (5.23) и (5.24), могу се дати у проширеном облику:

$$K_T = \varphi_T Z_T = \varphi_1 Z_1; \quad K_1 = \varphi_1 Z_1; \quad K_2 = \varphi_2 Z_2; \quad K = K_1 + K_2 = \varphi G \quad (5.25)$$

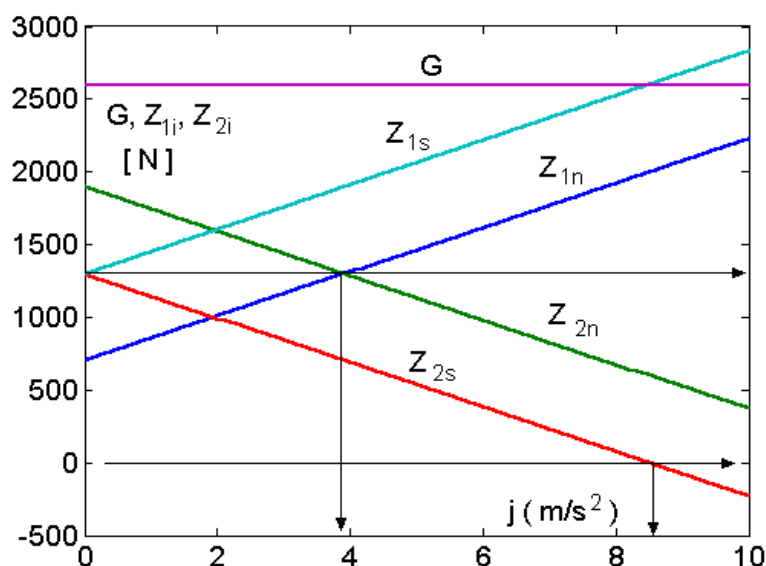
$$Z_1 = (mgb + mh\ddot{x})/l, \quad Z_2 = (mga - mh\ddot{x})/l, \quad (5.26)$$

На основу наведених израза су анализиране реакције тла, вертикалне силе Z_1 и Z_2 ради утврђивања односа обимне и вертикалне силе на точку у функцији времена, као величине меродавне за критично приањање, односно стабилност при кочењу.

Базни параметри мотоцикла за рачунарску симулацију су:

- маса $m = 264 \text{ kg}$,
- осно растојање точкова $l = 1380 \text{ mm}$,
- висина центра маса $h = 0.75m$,

Положај центра маса у односу на центар предњег точка је дат у две варијанте и то $a_s = 0.69m$ - референтни случај, $a_n = 0.95m$ – опитна варијанта. Ознака у индексу, s – симетрично се односи на исту тежинску прерасподелу напред и назад, тј. подразумева тежиште на половини осовинског растојања точкова у статичким условима. Ознака у индексу n - несиметрично се односи на тежиште померено уназад, односно веће оптерећење задњег точка у статичким и квазистатичким условима ($j=0$).



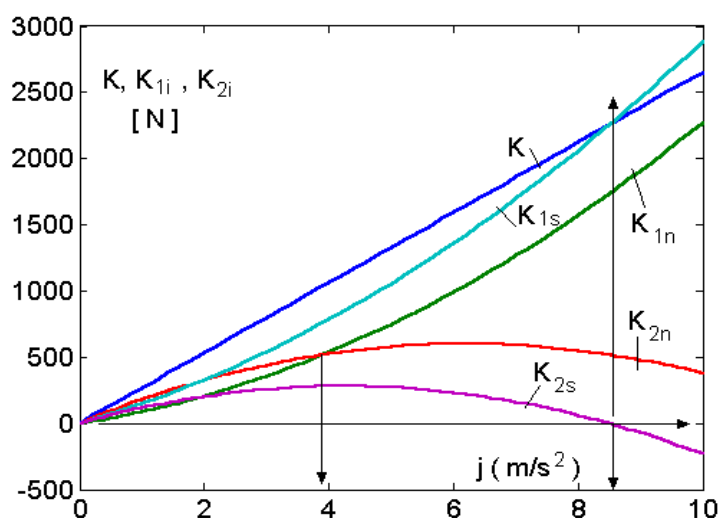
Сл 5.15 Прерасподела вертикалне реакције тла (тежине) зависно од успорења

Слика 5.16-а, приказује расподелу тежине мотоцикла по точковима у функцији успорења при кочењу за две посматране варијанте положаја центра маса.

Као што се види са ове слике, са порастом подужног успорења, односно, интензитета кочења задњи точак се растеређује, а предњи, за исти тај износ допунски оптерећује. Битан утицај испољава положај центра маса, што показују положаји правих Z_{1s} , Z_{1n} и Z_{2s} , Z_{2n} .

Одговарајуће промене кочних сила на точковима приказане су на слици 5.16, са ознакама, K – укупна сила кочења, K_1 – сила кочења предњег точка, K_2 – сила кочења задњег точка.

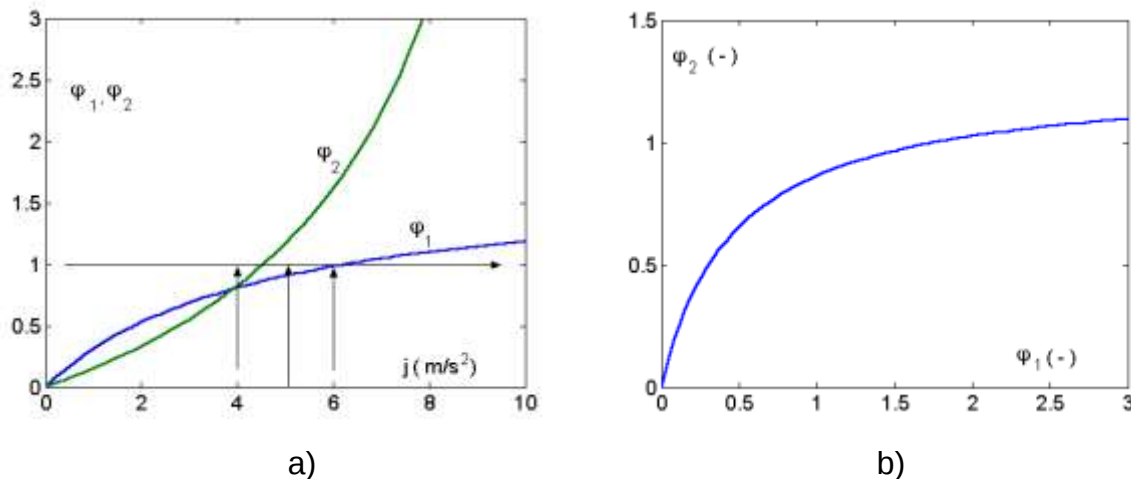
При нижим вредностима успорења, као и при кочењу на путу са нижим вредностима коефицијента пријањања, износи сила кочења предњег и задњег точка су величине приближно истог реда, па при симетричном оптерећењу (криве K_{1s} и K_{2s}) нема блокирања.



б)

Сл 5.16 силе кочења на предњем K_1 , задњем точку K_2 , и укупна сила кочења K , за случајеве симетричног оптерећења индекс s и више оптерећеног задњег точка индекс n

За несиметрично оптерећење (криве K_{1n} и K_{2n}), са порастом успорења, односно вредности искоришћеног коефицијента приањања, опада ефикасност кочења задњег точка што ће довести и до његовог блокирања (на дијаграму 5.16 вредност је нешто мања од $j=4\text{m/s}^2$). Ефикасност кочења предњег точка се може повећати сагласно повећању његове вертикалне силе уколико располаже потенцијалом захтеваног приањања, који се исказује односом тангенцијалне и вертикалне реакције (K/Z). Одговарајућа ограничења у том смислу су приказана на слици 5.17а.



$$\varphi_1 = \frac{K_{1n}}{Z_{1n}} ; \varphi_2 = \frac{K_{2n}}{Z_{2n}} ; Z_{1n} + Z_{2n} = G$$

Сл 5.17 Промена коефицијената приањања, а/ нерегулисан процес кочења, б/ оптимални захтев за регулисан процес кочења

Резултати симулације на сл.5.17-а, приказују односе коефицијената приањања и успорења за нерегулисани процес кочења. Наиме, за захтевани интензитет кочења, $K=mj = mg\varphi$, у домену успорења, $j > 4\text{m/s}^2$, и коефицијента приањања, $\varphi_1 < \varphi \rightarrow 1 < \varphi_2$, задњи точак је блокирао, а предњи точак није искористио расположив потенцијал приањања. Оптимални однос коефицијената приањања предњег и задњег точка, за регулисани процес кочења, сагласно расподели у домену са слике 5.17а, приказан је на слици 5.17-б, као што је познато [Тодоровић, 1988] је квадратна парабола.

За ову слику, релевантни показатељи мотоцикла, који је коришћен за симулацију и спровођење експерименталних истраживања, са аспекта процеса кочења, од почетне брзине 47.22 m/s (170 km/h), до заустављања у временском интервалу, 10 секунди, износе:

- средње успорење, 4.7 m/s^2 ,
- пут кочења 236m ,
- снага процеса кочења, 59 kW .

Интензивније кочење у временском интервалу 5 секунди, за исте полазне параметре карактеришу следећи показатељи:

- средње успорење, 9.44m/s^2 ,
- пут кочења 118m ,
- снага процеса кочења, 118kW .

Може да се закључи да у овом другом случају процес кочења се обавља при граничним вредностима коефицијента приањања.

Слика 5.18-а, приказује прераспделу вертикалних динамичких оптерећења по точковима у функцији подужног успорења при кочењу. Са ове слике се види да са порастом интензитета кочења, односно, подужног успорења, задњи точак се растеређује а предњи, за исти тај износ допунски оптерећује у односу на статичка оптерећења.

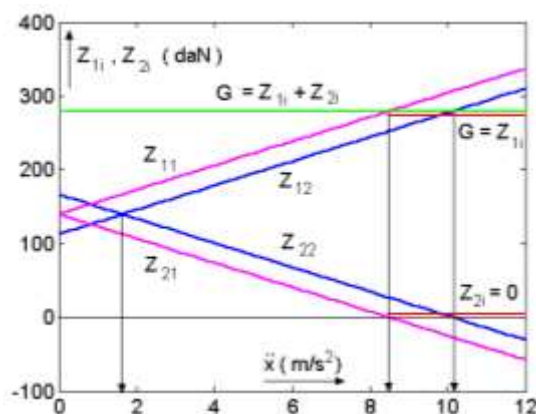
Графици су дати за две варијанте расподеле статичког оптерећења по осовинама:

1-симетрична, $G_1=G_2$, и

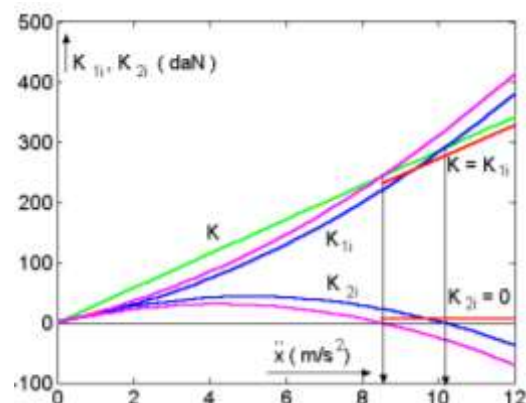
2-несиметрична, $G_1<G_2$.

у оба случаја при $\ddot{x} = 0$.

Одговарајућа промена кочних сила у функцији подужног успорења, за ова два случаја, дата је на сл. 5.18 б. Са аспекта стабилности кретања мотоцикла, карактеристичан је режим кочења при коме задњи точак губи контакт, односно, одваја се од тла. За симетричну расподелу оптерећења то се догађа, при подужном успорењу од 8.4 m/s^2 , а за несиметричну, при 10.2 m/s^2 , сагласно услову на слици 5.18-а, $Z_{2i}=0$. У овим условима, предњи точак прима укупну тежину мотоцикла, $Z_{1i}=G$ и реализује укупну силу кочења, $K_{1i}=K$. Ове вредности могу даље довести до блокирања предњег точка, његовог комбинованог подужно-бочног клизања и сложеног кретања мотоцикла на предњем точку, до превртања.



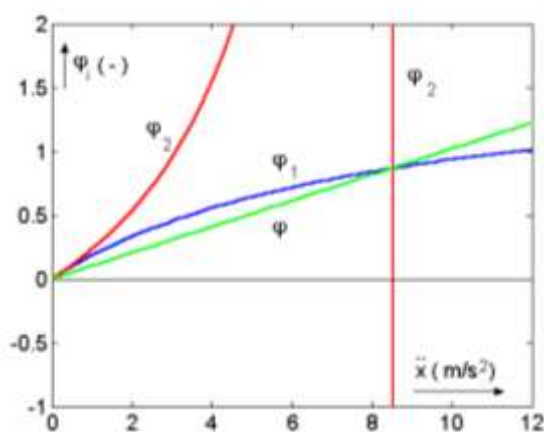
Сл 5.18-а



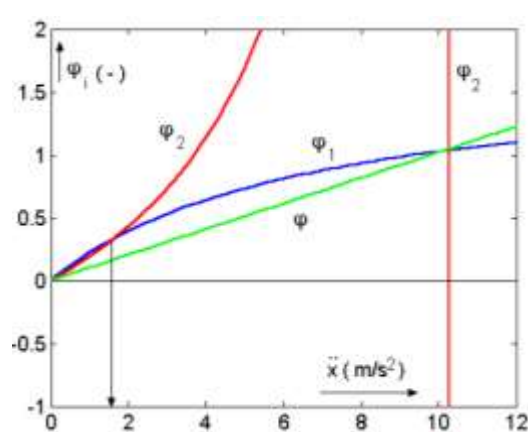
Сл 5.18-б

Сл 5.18 Резултати симулације кочења мотоцикла у функцији подужног успорења: а/ вертикалне силе, б/ силе кочења

Губљење стабилности кретања при кочењу мотоцикла услед блокирања једног од точкова, при различитим стратегијама кочења, може се размотрити на основу симулационих резултата датих на сл. 5.19 а и б. За симетричну расподелу оптерећења, према сл. 5.19-а, и случај кочења само задњим точком, захтевана вредност коефицијента приањања, φ_2 , достиже граничну вредност при успорењу 2.8 m/s^2 , и доводи до блокирања точка, дакле, даљег неефикасног кочења и нестабилног кретања.



Сл 5.19-а



Сл 5.19-б

Сл 5.19 Резултати симулације кочења мотоцикла у функцији подужног успорења: а/ захтеване вредности коефицијената приањања за симетричну расподелу оптерећења, б/ захтеване вредности коефицијената приањања за несиметричну расподелу оптерећења

При кочењу само предњим точком тачка А на дијаграму 5.19.б када је $\phi_1 = \phi$, гранична вредност захтеваног коефицијента приањања, ϕ_1 , је у домену изнад 10 m/s^2 , вредности подужног успорења, према томе, изнад вредности успорења при коме задњи точак губи контакт са тлом, наведена вредност, 8.4 m/s^2 , дијаграм 5.19.а, за овај случај.

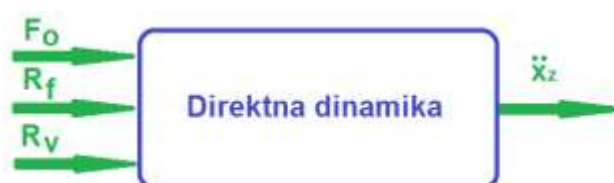
У случају истовременог кочења са оба точка, у домену стабилног кретања, до вредности граничног успорења губљења контакта задњег точка и тла, најниже су вредности захтеваног коефицијента приањања, ϕ .

За несиметричну расподелу оптерећења, према слици 5.19-б, померене су граничне вредности успорења за показатеље анализирани у претходном сегменту и то, за ϕ_2 , на 3.8 m/s^2 , $Z_2=0$, на 10.2 m/s^2 , уз ефикасно и стабилно кочење са оба точка и са предњим точком до и преко 10 m/s^2 , респективно.

5.3. МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕС УБРЗАВАЊА - ЗАЛЕТ МОТОЦИКЛА

Са аспекта активне безбедности, динамика вуче мотоцикла дефинише његову способност процеса убрзавања - залета, претицања, обилажења, пролаза преко раскрсница, извлачења из потенцијално опасних саобраћајних ситуација. У овом смислу основни показатељи динамике вуче базирани су на перформансама залета, сагласно базном моделу слика 5.10. и исказани су као временске функције и/или узајамне зависности примарних излазних променљивих и променљивих стања и то: убрзање dv_z/dt , брзина v_z , пут залета S_z , време залета t_z где индекс "z" означава "залет".

Вучна сила и силе отпора, кроз модел директне динамике, дају убрзање при залету, слика 5.20.



Сл 5.20 Шема модела директне динамике

Залет мотоцикла је посматран као издвојени сегмент сложеног режима испитивања: залет, вожња константном брзином и кочење. Сам режим залета је проучен на принципу инверзне динамике приказане на слици 5.21.



Сл 5.21 Шема модела инверзне динамике

Сада на основу измереног (слика 5.21) или симулацијом генерисаног убрзања (слика 5.20) одређујемо показатеље стабилности кретања мотоцикла, на основу релације за убрзање:

$$\ddot{x}_z = dv/dt = \frac{1}{\delta m} \left(\frac{P_e \eta}{v} - R_f - R_v \right), \quad (5.27- a)$$

$$P_e = (HV\eta_p\lambda_v) \frac{n_e}{\tau} - M_{tr} 2\pi n_e \quad (5.27- б)$$

где је,

- $v(m/s)$ – брзина кретања,
- $dv/dt (m/s^2)$ – подужно убрзање мотоцикла при залету,
- $m (kg)$ – маса система,
- δ - коефицијент утицаја обртних маса,
- $P_e (W)$ – ефективна снага мотора,
- η - степен искоришћења преносника снаге,
- $R_f (N)$ – отпор котрљања,
- $R_v (N)$ - отпор ваздуха.

Ефективна снага мотора у изразу 5.27-б је приказана аналитичким изразом као функција:

- доње топлотне вредности горива $H(J/cm^3)$,
- радне запремине мотора $V (cm^3)$,
- степена искоришћења радног процеса η_p ,
- коефицијента вишка ваздуха λ_v ,
- броја обртаја коленастог вратила мотора n_e ,
- тактности мотора τ ,
- момента унутрашњег трења $M_{tr} (Nm)$.

Практична формула за одређивање тока ефективне снаге, као излазне карактеристике на замајцу мотора, на основу експерименталних података, дата је емпиријским моделом (Radonjić et al. 2010), представљеним релацијом (5.28).

$$P_e = P_{e_{max}} \left[a(n_e / n_p) + b(n_e / n_p)^2 - c(n_e / n_p)^3 \right] \quad (5.28)$$

где је:

- $P_{e_{max}} (W)$ – максимална снага мотора,
- $n_p (1/s)$ – одговарајући број обртаја коленастог вратила,
- a, b, c – константе функције апроксимације тока снаге.

Познато је да за моторе старије изведбе, карбураторске, вредности ових константи износе приближно, $a = b = c = 1$. За савремене моторе са унутрашњим сагоревањем (мотори са директним убризгавањем) поузданија апроксимација

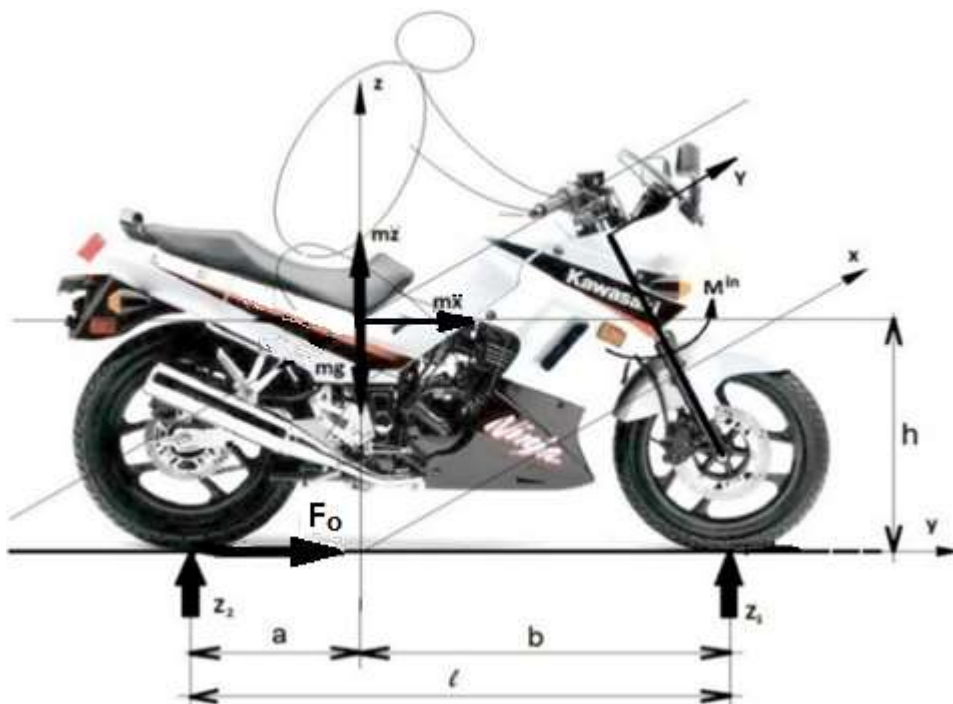
излазне-брзинске карактеристике, може се добити на основу методологије развијене у поменутом раду (Radonjić et al. 2010).

$$\sum X_i = 0 \quad (5.29)$$

На слици 5.22-а је приказан динамички модел у равни док је на фотографији 5.22-б приказан експеримент у реалним условима. Моделу на слици 5.22-а одговарају једначине кретања 5.30 и 5.31.

$$\sum M_2 = 0; Z_1 \cdot l - R_i \cdot h - G \cdot a + m \cdot z'' \cdot a = 0; m \cdot z'' \cdot a \rightarrow 0; G = mg; R_i = m \cdot \ddot{x} \quad (5.30)$$

$$\sum Z = 0; Z_1 + Z_2 = G \quad (5.31)$$



Сл.5.22-а Приказ система возач-мотоцикл као модел за анализу убрзавања



Сл.5.22-б Приказ система, возач-мотоцикл у условима кретања

5.4. ТЕОРИЈСКИ МОДЕЛ СПРЕГНУТИХ ОСЦИЛАЦИЈА ПРЕДЊЕГ И ЗАДЊЕГ ТОЧКА. ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ МОТОЦИКЛА.

У овом делу креиран је модел где су по аналогији са ослањањем возила иначе, симулиране динамичке реакције точка и тежишта мотоцикла. При анализи модела мотоцикла може да се разматра следећих уобичајених 6 степени слободе кретања:

- транслаторно кретање дуж x – осе, y – осе и z - осе
- ротација око x – осе, y – осе, z - осе

као и два линеарно зависна степена слободе и то:

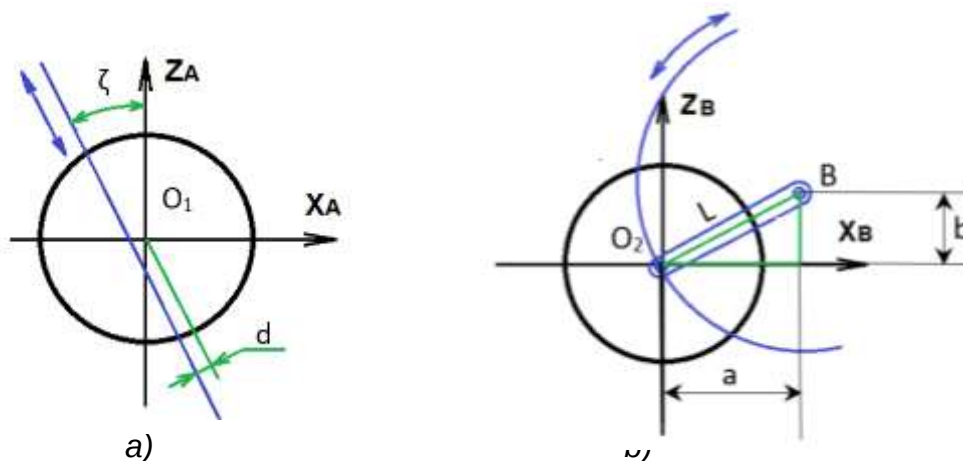
А) транслаторно кретање овешане масе предњег точка дуж осе предње виљушке, на основу измерених геометријских мера, може се представити помоћу линеарне зависности, тј. једначином праве линије:

$$Z_A = \text{ctg}(\zeta) \cdot X_A - d / \sin(\zeta) \quad (5.32)$$

где су:

d -forward offset (растојање положаја предње виљушке на правац осе која пролази кроз центар точка, а паралелна је са њом)

ζ -угао затура.



Сл 5.23 Равански приказ кретања предњег и задњег точка

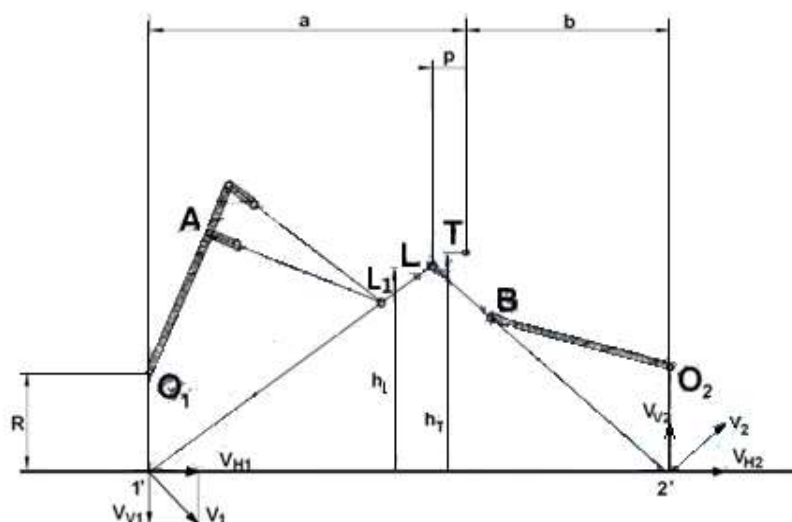
Б) ротација овешане масе задњег точка око тачке везе задње виљушке, може се представити једначином кружности са центром у тачки В:

- L - Растојање центра задњег точка до везе CEO са рамом мотоцикла,
- a - Хоризонтална пројекција од L ,
- b - Вертикална пројекција од L

$$(x_B - a)^2 + (z_B - b)^2 = L^2 \quad (5.33)$$

Последња два степена слободе наведена су због тога, што је мотоцикл као целина систем у коме фигуришу релативна кретања.

Слика 5.24 приказује мотоцикл са карактеристичним тачкама које одговарају слици 5.23. На овој слици представљени су и кинематски полови брзина предњег точка L_1 (брзина $\vec{v}_1$ у контакту предњег точка и тла) и задњег точка L_2 (брзина $\vec{v}_2$ у контакту задњег точка и тла), којима је одређен и пол галопирања L . На слици 5.25 представљен је динамички модел мотоцикла којим су узете у обзир еквивалантне крутости предњег и задњег ослањања па су сходно томе и ознаке.



Сл 5.24 Кинематски модел мотоцикла

T – тежиште целог возила

L – пол галопирања

A – веза предњег CEO

O₁ и O₂ – центри точкова

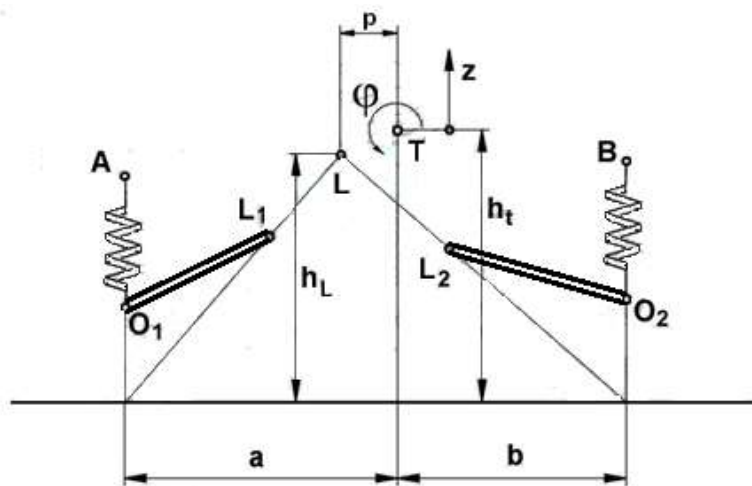
B – веза задњег CEO

$p = \overline{TL}$

$L_2 \equiv B$

Практично се тежи да важе релације $h_T \approx h_L$ и $a \approx b$, а често и $h_A \approx h_B$ оне углавном и важе осим у случајевима посебних тежинских стања или нестационарних режима вожње.

Да би се пратила промена величине галопирања и промена сила на точку потребно је посматрати модел возила рашчлањен на најмање три масе: надградњу, предњу и задњу осовину. Због кинематике вођења точка и еластопригушних карактеристика ослањања, убрзања предњег точка, задњег точка и надградње нису идентичне величине, али су повезане одређеним кинематским релацијама, чиме се број степени слободе у овом моделу смањује.



$$h_h = h_b = h_t$$

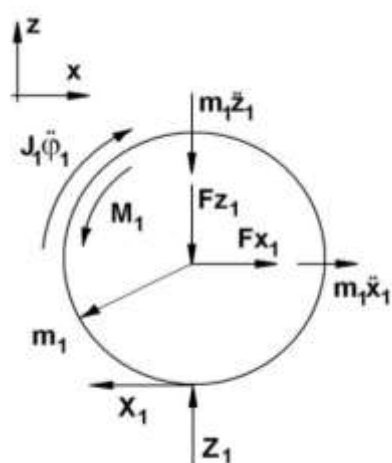
Сл 5.25 Динамички модел мотоцикла

Овим моделом се не узима у обзир померање тачака А и В у односу на тле (утицај неравнина пута). Циљ постављања овог модела је израчунавање динамичких реакција тла, као и приказ положаја тежишта, као величина зависних од крутости ослањања као и других динамичких параметара.

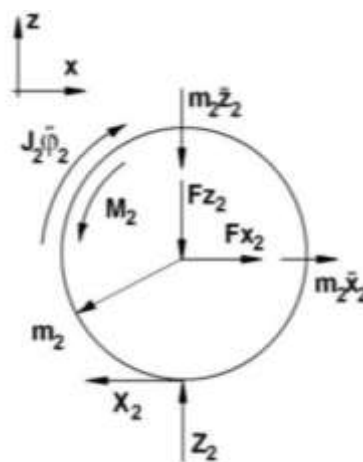
Утврдити промену динамичких реакција на точку услед појаве галопирања и вертикалног померања тежишта при кочењу, је важно због безбедности при кочењу мотоцикла. Различити режими кочења проузрокују различите промене динамичких реакција тла што у интеракцијама променом растојања тачака L и T услед дејства инерцијалних сила има за последицу смањење подужне стабилности.

Динамика точкова

Доминанта померања су x , z и $\varphi_y = \varphi$, па се посматра равно кретање система у равни (x, z) .



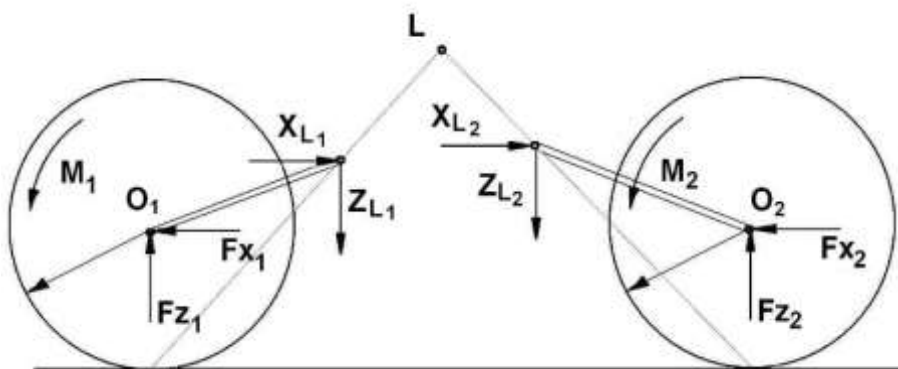
Сл 5.26 Силе и моменти на предњем точку



Сл 5.27 Силе и моменти на задњем точку

$F_{x1} - X_1 + m_1 \cdot \ddot{x}_1 = 0$	(5.34)	$F_{x2} - X_2 + m_2 \cdot \ddot{x}_2 = 0$	(5.37)
$Z_1 - F_{z1} - m_1 \cdot \ddot{z}_1 = 0$	(5.35)	$Z_2 - F_{z2} - m_2 \cdot \ddot{z}_2 = 0$	(5.38)
$M_1 - X_1 \cdot R - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = 0$	(5.36)	$M_2 - X_2 \cdot R - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 = 0$	(5.39)

Систем вођења точкова



Сл 5.28 Систем точкови са вођицама

Ако се везе са рамом раздвоје добијају се једначине на вођицама и то:

"Предња вођица"

$$F_{x1} = X_{L1} \quad (5.40)$$

$$F_{z1} = Z_{L1} \quad (5.41)$$

"Задња вођица"

$$F_{x2} = X_{L2} \quad (5.42)$$

$$F_{z2} = Z_{L2} \quad (5.43)$$

Ако су центри осциловања предњег и задњег точка на приближно истој висини од тла:

$$Z_{L1} = Z_{L2} (Z_L) \quad (5.44)$$

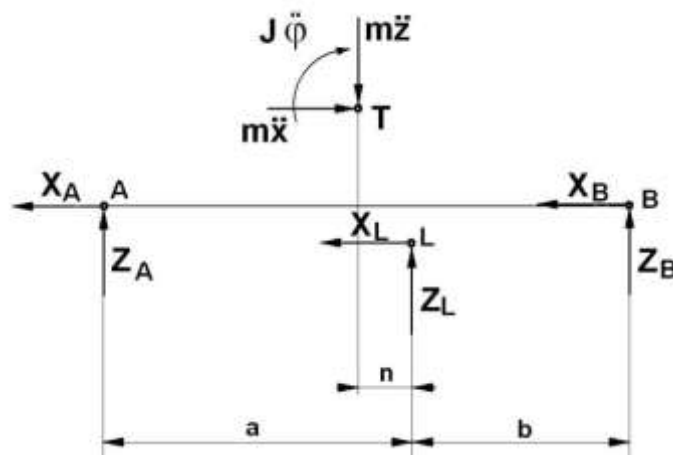
$$M_1 - X_{L1} \cdot (z_L - R) - Z_{L1} \cdot (x_{L1} - x_1) = 0 \quad (5.45)$$

$$M_2 + Z_{L2} \cdot (x_{L2} - x_{O2}) - X_{L2} \cdot (z_L - R) = 0 \quad (5.46)$$

Надградња

Упрошћен случај је:

$$h_T \approx h_L \approx h_A \approx h_B$$



Сл 5.29 Распоред сила и момената на мотоциклу

$$m \cdot \ddot{x} = X_A + X_B + X_L \quad (5.47)$$

$$m \cdot \ddot{z} = Z_A + Z_B + Z_L \quad (5.48)$$

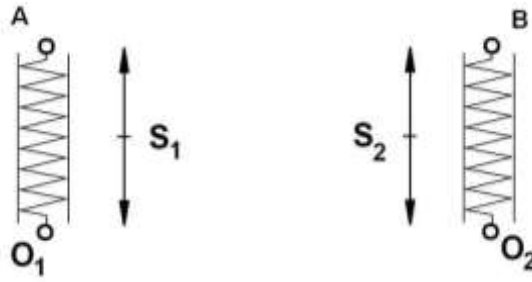
$$J \cdot \ddot{\phi} - Z_A \cdot a + Z_B \cdot b + Z_L \cdot n + X_A \cdot (h_T - h_B) + X_B \cdot (h_T - h_C) + X_L \cdot (h_T - h_P) = 0 \quad (5.49)$$

Еластични елементи

Силе у CEO:

$$S_1 = c_1 \cdot (z - a \cdot \phi) + k_1 \cdot (\dot{z} - a \cdot \dot{\phi}) \quad (5.50)$$

$$S_2 = c_2 \cdot (z + b \cdot \phi) + k_2 \cdot (\dot{z} + b \cdot \dot{\phi}) \quad (5.51)$$



Сл 5.30 Силе у систему еластичног ослањања

Релације за померања и силе су добијене из услова да се каросерија при кочењу нагиње напред као и да су тачке А, В, Т приближно колинеарне.

Између ротације тачка и транслаторног померања центра тачка постоји релација (ако нема клизања):

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{\ddot{x}_1}{R}; \quad \ddot{\varphi}_2 = \frac{\ddot{x}_2}{R} \quad (5.52)$$

У систему фигуришу три транслаторна померања x_1 , x_2 и x која су међусобно повезана кинематским механизмом за вођење тачка, тј. релацијама релативног кретања механизма за вођење тачка у односу на надградњу.

Из услова равнотеже еластичног елемента следи:

$$Z_A = S_1 \quad (5.53)$$

$$Z_B = S_2 \quad (5.54)$$

Очигледно је:

$$-(X_{L1} + X_{L2}) = X_L \quad (5.55)$$

С обзиром на релације (5.40), (5.42) и (5.55) следи:

$$X_L = F_{x1} + F_{x2} \quad (5.56)$$

Обимне силе X_1 и X_2 рачунамо из (5.36) и (5.39):

$$X_1 = \frac{M_1 - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1}{R} \quad (5.57)$$

$$X_2 = \frac{M_2 - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2}{R} \quad (5.58)$$

Сада се за X_L добија израз:

$$X_L = \frac{M_1 - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1}{R} - m_1 \cdot \ddot{x}_1 + \frac{M_2 - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2}{R} - m_2 \cdot \ddot{x}_2 \quad (5.59)$$

Аналогно је:

$$Z_L = -(Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (5.60)$$

Из (5.45), тј. (5.46) је:

$$Z_{L1} = [M_1 - X_{L1} \cdot (z_L - R)] \cdot \frac{1}{X_{L1} - X_{O1}} \quad (5.61)$$

$$Z_{L2} = [M_2 - X_{L2} \cdot (z_L - R)] \cdot \frac{1}{X_{L2} - X_{O2}} \quad (5.62)$$

На основу (5.40) и (5.42) је: $X_{L1} = F_{x1}$; $X_{L2} = F_{x2}$

F_{x1} и F_{x2} рачунамо из (5.34) и (5.37):

$$F_{x1} = X_1 - m_1 \cdot \ddot{x}_1 = X_{L1} \quad (5.63)$$

$$F_{x2} = X_2 - m_2 \cdot \ddot{x}_2 = X_{L2} \quad (5.64)$$

Увршћујући (5.34) и (5.35) у (5.40) и (5.41) коначно се добија:

$$X_{L1} = \frac{M_1 - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1}{R} - m_1 \cdot \ddot{x}_1 \quad (5.65)$$

$$X_{L2} = \frac{M_2 - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2}{R} - m_2 \cdot \ddot{x}_2 \quad (5.66)$$

због релативно малог угла дужи O_1L_1 и O_2L_2 према хоризонталу може да се сматра да је $O_1L_1 \approx l_1$ и $O_2L_2 \approx l_2$ тј. $X_{A1} - X_1 \approx l_1$ и $X_{A2} - X_2 \approx l_2$ па је из (5.61) и (5.62):

$$Z_{L1} = \left[M_1 - \left(\frac{M_1 - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1}{R} - m_1 \cdot \ddot{x}_1 \right) \cdot (z_L - R) \right] \cdot \frac{1}{l_1} \quad (5.67)$$

$$Z_{L2} = \left[M_2 - \left(\frac{M_2 - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2}{R} - m_2 \cdot \ddot{x}_2 \right) \cdot (z_L - R) \right] \cdot \frac{1}{l_2} \quad (5.68)$$

Заменом (5.67) и (5.68) у (5.60) следи:

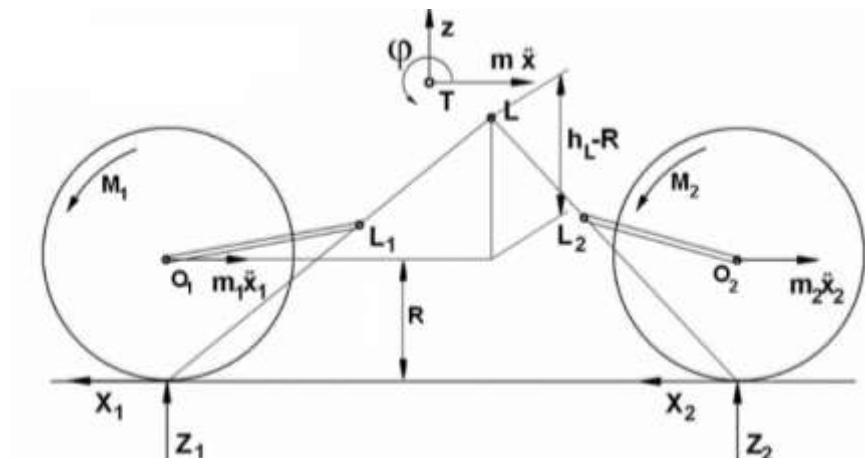
$$Z_L = -\frac{1}{l_1} \cdot \left[M_1 - \left(\frac{M_1 - J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1}{R} - m_1 \cdot \ddot{x}_1 \right) \cdot (z_L - R) \right] - \frac{1}{l_2} \cdot \left[M_2 - \left(\frac{M_2 - J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2}{R} - m_2 \cdot \ddot{x}_2 \right) \cdot (z_L - R) \right] \quad (5.69)$$

Равнотежа система

На слици 5.31 је приказан динамички модел са две вођице.

$O_1L_1 = l_1$

$O_2L_2 = l_2$



Сл 5.31 Силе на мотоциклу

Померање центра точка (x_1 -предњи, x_2 -задњи) је збир померања тежишта x и релативног померања центра у односу на тежиште (x_{O1} и x_{O2}).

$$x_1 = x + x_{O1}; \quad x_{O1} = f_1(t, \varphi, z) \quad (5.70)$$

$$x_2 = x + x_{O2}; \quad x_{O2} = f_2(t, \varphi, z) \quad (5.71)$$

Ако се посматра линеаризован случај кретања где се ради о малим угловима ротације, онда је зависност путање центра точка и тежишта изражена релацијом:

$$x_1 = x - z \cdot \frac{h_L - R}{\sqrt{l_1^2 - (h_L - R)^2}} - \varphi \cdot (h_T - h_L); \quad \psi_1 = \frac{h_L - R}{\sqrt{l_1^2 - (h_L - R)^2}} \quad (5.72)$$

$$x_2 = x + z \cdot \frac{h_L - R}{\sqrt{l_2^2 - (h_L - R)^2}} - \varphi \cdot (h_T - h_L); \quad \psi_2 = \frac{h_L - R}{\sqrt{l_2^2 - (h_L - R)^2}} \quad (5.73)$$

Убрзања су:

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x} - \ddot{z} \cdot \frac{h_L - R}{\sqrt{l_1^2 - (h_L - R)^2}} \quad \ddot{x}_2 = \ddot{x} + \ddot{z} \cdot \frac{h_L - R}{\sqrt{l_2^2 - (h_L - R)^2}} \quad (5.74)$$

Кинематске релације кретања:

$$\ddot{x} \cdot (m + m_1^* + m_2^*) + \ddot{z} \cdot (-m_1^* \cdot \psi_1 + m_2^* \cdot \psi_2) - \ddot{\varphi} \cdot [(m_1^* + m_2^*) \cdot (h_T - h_L)] = \frac{M_1 + M_2}{R} \quad (5.75)$$

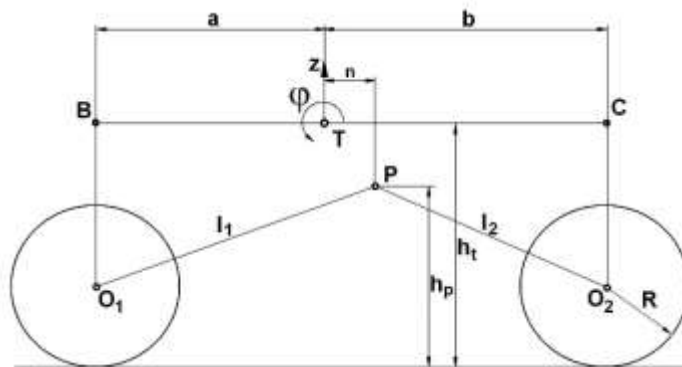
У вертикалном правцу:

$$\begin{aligned} & \ddot{z} \cdot [m + \psi_1^2 \cdot m_1^* + \psi_2^2 \cdot m_2^*] + \ddot{x} \cdot (m_2^* \cdot \psi_2 - m_1^* \cdot \psi_1) + \ddot{\varphi} [m_1^* \cdot (h_T - h_L) \cdot \psi_1 - m_2^* \cdot (h_T - h_L) \cdot \psi_2] + \\ & + \dot{z} \cdot (k_1 + k_2) + z \cdot (c_1 + c_2) + \dot{\varphi} (-k_1 \cdot a + k_2 \cdot b) + \varphi \cdot (-c_1 \cdot a + c_2 \cdot b) = \frac{M_2}{R} \cdot \frac{h_L}{a} - \frac{M_1}{R} \cdot \frac{h_L}{b} \end{aligned} \quad (5.76)$$

Моментна једначина:

$$\begin{aligned} & \ddot{\varphi} \cdot [J_y + m_2^* \cdot (h_T - h_L)^2 + m_1^* \cdot (h_T - h_L)^2] + \ddot{z} \cdot [-m_2^* \cdot (h_T - h_L) \cdot \psi_2 + m_1^* \cdot (h_T - h_L) \cdot \psi_1] + \\ & + \ddot{x} \cdot [-m_2^* \cdot (h_T - h_L) - m_1^* \cdot (h_T - h_L)] + \dot{\varphi} \cdot (k_1 \cdot a^2 + k_2 \cdot b^2) + \varphi \cdot (c_1 \cdot a^2 + c_2 \cdot b^2) + \\ & + \dot{z} \cdot (-k_1 \cdot a + k_2 \cdot b) + z \cdot (-c_1 \cdot a + c_2 \cdot b) = -\frac{M_1 + M_2}{R} \cdot (h_T - h_L) \end{aligned} \quad (5.77)$$

Кинематске релације у систему



Сл 5.32 Геометријске мере на мотоциклу

$$\begin{array}{lll}
 T(0,0) & L(-n, -(h_t - h_p)) & O_1(a, -(h_t - R)) \\
 A(a,0) & O_2(-b, -(h_t - R)) & B(-b,0)
 \end{array} \quad (5.78)$$

Ротација система за угао φ , који је позитиван при кочењу, формално може да се напише као ортогонална трансформација ротације система за овај угао, где је матрица трансформације:

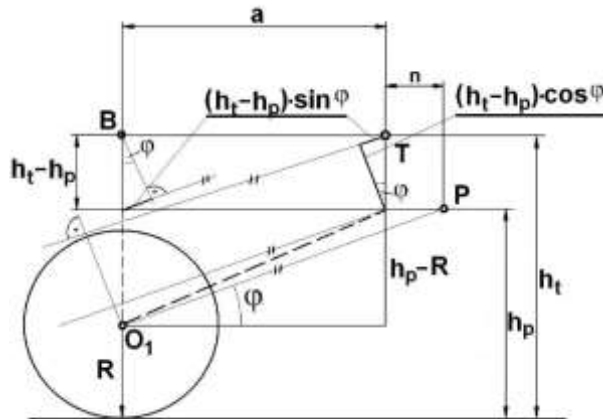
$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (5.79)$$

За тачке В и С важи ова трансформација јер су оне на раму и нема релативних померања између њих и рама.

Тачке O_1 и O_2 осцилују и њихове координате треба наћи посебно из кинематских релација осциловања.

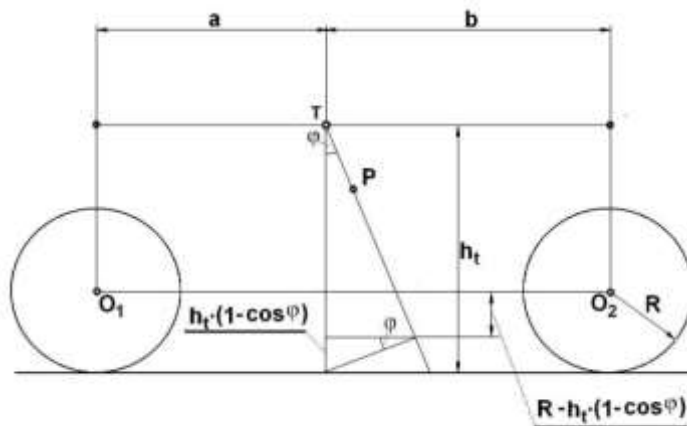
После ротације долази до померања тежишта за величину "z".

Тачке O_1 и O_2 имају своја померања X_1 и X_2 која зависе од X и Z , као и од угла φ (троугао TO_1O_2 није крут), па је померање тачке O_1 израчунато из планетарних релација помераних тачака:



Сл 5.33 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу

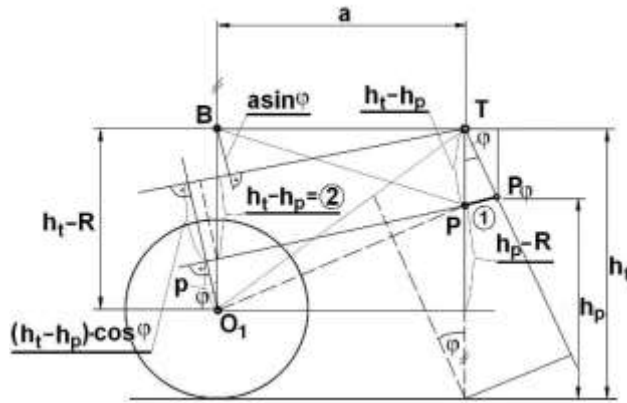
$$\{O_1\} = \begin{Bmatrix} a \cdot \cos \varphi & -(h_t - R) \cdot \sin \varphi \\ -a \cdot \sin \varphi & -(h_t - R) \cdot \cos \varphi \end{Bmatrix} \quad \text{да је крута веза} \quad l_1 = \overline{O_1P} \cdot \varphi_1 \quad (5.80)$$



Сл 5.34 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу

$$P = (h_t - R) \cdot \cos \varphi - a \cdot \sin \varphi - (h_t - h_p) \cdot \cos \varphi - h_t \cdot \cos \varphi - R \cdot \cos \varphi - a \cdot \sin \varphi - h_t \cdot \cos \varphi + h_p \cdot \cos \varphi$$

$$P = (h_t - R) \cdot \cos \varphi - a \cdot \sin \varphi - (h_t - h_p) \cdot \cos \varphi - R \cdot \cos \varphi - a \cdot \sin \varphi + h_p \cdot \cos \varphi \quad (5.81)$$



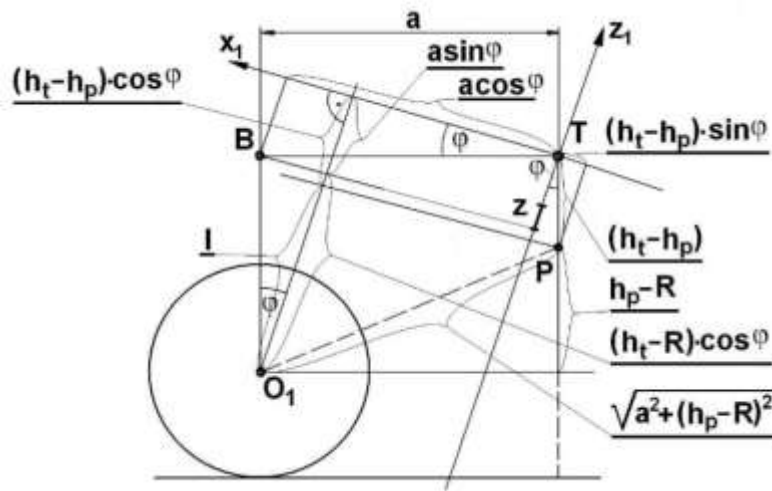
Сл 5.35 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу

$$X_{O1} = -(h_t - h_p) \cdot \sin \varphi + \sqrt{O_1 P^2 - p^2} \quad X_{O1} = -(h_t - h_p) \cdot \sin \varphi + \sqrt{(h_p - R)^2 + a^2 - p^2} \quad (5.82)$$

$$\textcircled{1} (h_t - h_p) \cdot \sin \varphi$$

$$\overline{O_1 P} = \sqrt{a^2 + (h_p - R)^2} \quad (5.83)$$

② $h_t - h_p$ као одсечци између паралелних правих



Сл 5.36 Карактеристичне геометријске мере на мотоциклу

$$B_\varphi = \begin{Bmatrix} a \cdot \cos \varphi \\ -a \cdot \sin \varphi \end{Bmatrix} \quad (5.84) \quad P_\varphi = \begin{Bmatrix} -(h_t - h_p) \cdot \sin \varphi \\ -(h_t - h_p) \cdot \cos \varphi \end{Bmatrix} \quad (5.85)$$

$$O_1 \left\{ \begin{array}{l} -(h_t - h_p) \cdot \sin \varphi + \sqrt{a^2 + (h_p - h_t)^2} \\ -(l + (h_t - h_p) \cdot \cos \varphi) = -(a \cdot \sin \varphi + (h_p - R) \cdot \cos \varphi + (h_t - h_p) \cdot \cos \varphi) = \\ -(a \cdot \sin \varphi + (h_t - R) \cdot \cos \varphi) \end{array} \right\} \quad (5.86)$$

$$l = a \cdot \sin \varphi + (h_t - R) \cdot \cos \varphi - (h_t - h_p) \cdot \cos \varphi = a \cdot \sin \varphi - R \cdot \cos \varphi + h_p \cdot \cos \varphi =$$

$$= a \cdot \sin \varphi + (h_p - R) \cdot \cos \varphi \quad (5.87)$$

$$l \approx a \cdot \varphi + (h_p - R) \quad (5.88)$$

За нумеричке податке узете као за стандардни спортски мотоцикли :

$$l_1 \approx l_2 = 0.6[m]; \quad m = 220[kg]; \quad m_1 = m_2 = 18[kg]; \quad c_1 = c_2 = 15000[N/m]; \quad R = 0.35[m];$$

$$k_1 = k_2 = 1000[N \cdot s/m]; \quad h_L = 0.65[m]; \quad h_T = 0.85[m]; \quad J_y = 50[m^2 \cdot kg];$$

$$\text{је:} \quad m_1^* = m_2^* = 22; \quad \psi_1 = \psi_2 = \frac{0.3}{\sqrt{0.52}} = 0.57$$

Претпостављена временска функција кочног момента је:

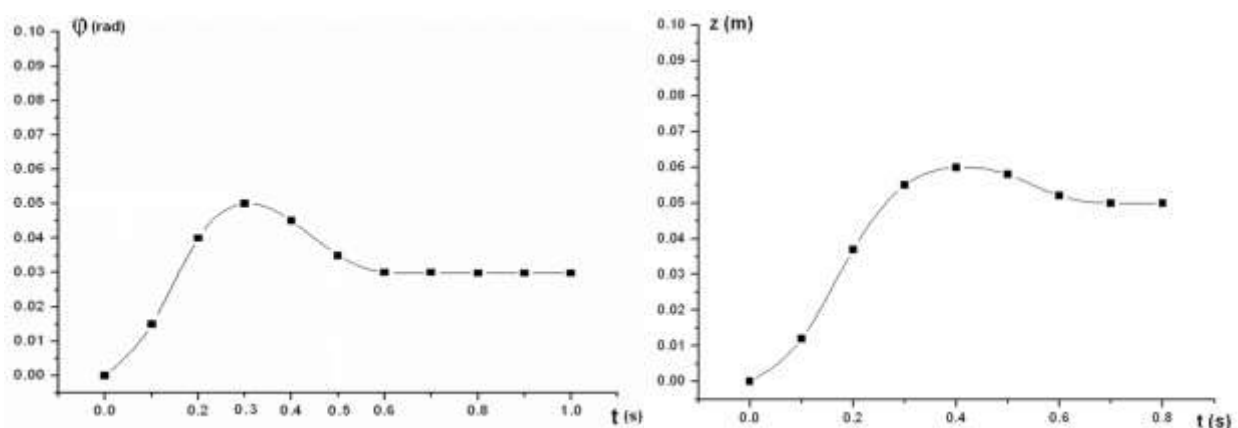
$$M = M_1 \cdot (1 - e^{\alpha t}) \quad (5.89)$$

где је за оштријег возача $\alpha = -20$ (Willumeit, H.P.1994)

На слици 5.37 дата је временска промена угла галопирања и вертикалног померања тежишта, у току 1s, као интервала времена које приближно одговара временској реакцији возача.

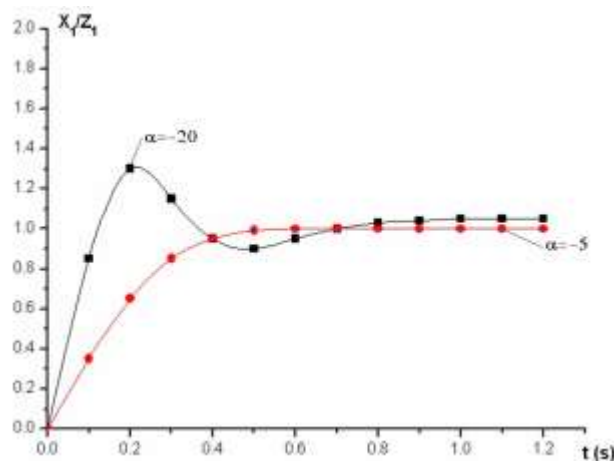
Ова методологија омогућава још и анализу промене сила у конструкцији елемената CEO, увођење различитих режима кочења и убрзавања, па се може користити и за испитивање различитих типова возача и праћење њиховог кретања у саобраћају. Формиран је симулациони програм за анализу динамике кочења мотоцикла у задатим условима, праволинијски, хоризонталан пут, асфалт у добром стању.

За наведене вредности, временски одзиви вертикалног и угаоног померања тежишта представљени су на слици 5.37.



Сл.5.37 Померање тежишта

На слици 5.38 је представљен кључни преносни однос за стабилност, а то је однос хоризонталне и вертикалне реакције, x/z на предњем точку



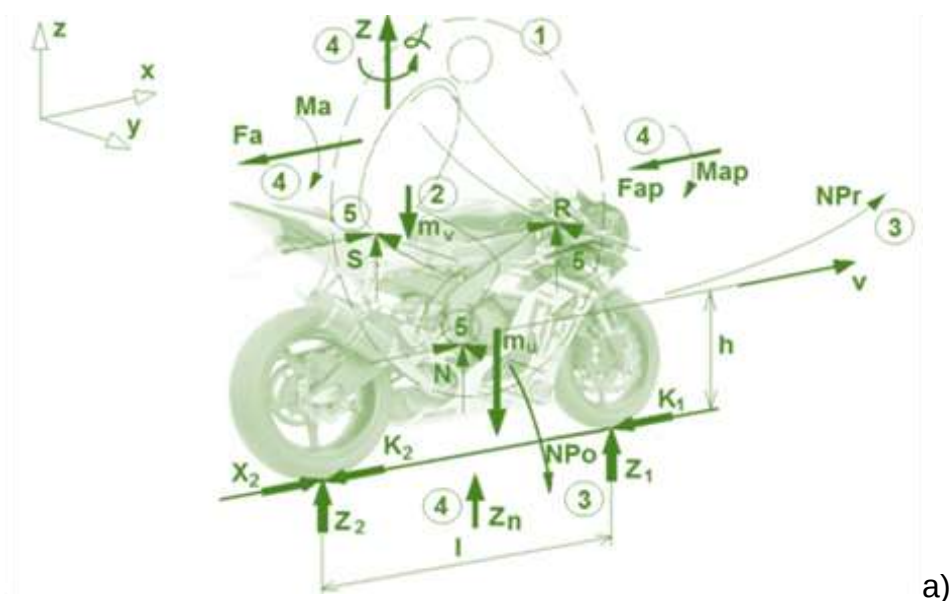
Сл 5.38 Промена односа обимне и вертикалне силе на точку

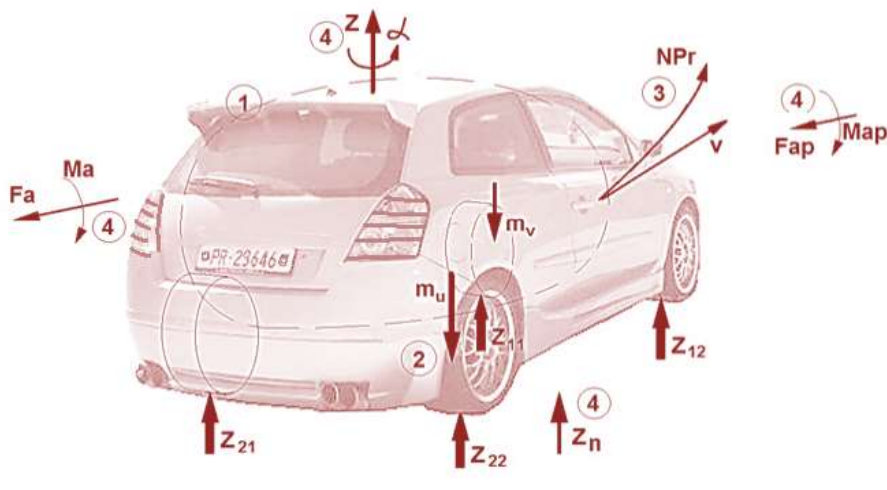
5.5. РАВАНСКИ СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ ОСЦИЛАЦИЈА МОТОЦИКЛА АНАЛОГИЈА СА МОДЕЛОМ ВОЗИЛА

Носећа структура мотоцикла је са отвореним простором за возача и сувозача, сл. 5.39-а, за разлику од затвореног простора путничког аутомобила, сл. 5.39-б, заједничка ознака, 1. То значи, да се у случају саобраћајне незгоде, превртања мотоцикла, не може говорити о неком очувању интегритета унутрашњег простора.

Маса возача и мотоцикла су величине истог реда за разлику од путничког аутомобила. Из тог разлога свака промена масе возача утиче битно на динамичке карактеристике и понашање укупног система возач – мотоцикл, ознака 2, на сл. 5.39 а, б.

За разлику од двотражног возила са еластичним пнеуматичима, које не поседује сопствену стабилност држања правца без помоћи возача, ознака 3 NP_r , на сл. 5.39-б, мотоцикл као једнотражно возило, не поседује ни стабилност држања правца нити стабилност држања вертикалног, усправног положаја, ознаке 3 NP_i 3 NP_o , респективно на сл. 5.39-а, без помоћи возача. Ово је један од разлога да је улога возача мотоцикла веома сложена и напорна.





б)

Сл 5.39 Поређење техничких својстава једнотражног (а) и двотражног (б) возила

Због своје специфичне конфигурације, контурних и контактних услова са окружењем, мотоцикл је осетљивији на побуде од неравнина пута, ознаке 4 $Z_n \rightarrow Z$, α и аеро ефеката, ознаке 4 F_{ap} , $M_{ap} \rightarrow F_a$, M_a , него двотражно возило, поређење на сл. 5.39-а, -б.

Комплексна функција управљања возача, положај у односу на мотоцикл и команде, неповољни контактни услови преко руку, ногу, целокупног тела, доводе до високих нивоа његовог менталног и физичког оптерећења. Дакле, вожња мотоцикла је типичан пример излагања људског оператора комплексном дејству вибрација, са високим ризиком и са аспекта његовог здравља и са аспекта безбедности саобраћаја.

Осцилације мотоцикла се могу представити релацијама:

$$\ddot{z} = \frac{1}{m}(Z_1 + Z_2), \quad \ddot{\theta} = \frac{1}{J}(Z_1 a + Z_2 b) \quad (5.90)$$

где је

d^2z/dt^2 (m/s²) - вертикално убрзање центра маса,

Z_1, Z_2 (N) – вертикалне реакције предњег, задњег точка, респективно,

$d^2\theta/dt^2$ – угаоно убрзање мотоцикла око бочне осе,

J – момент инерције мотоцикла око бочне осе,

a, b (m) – подужне координате центра маса (Sharp et al., 2007).

За формуле физичко-математичких модела у циљу истраживања вибрационих процеса пошло се од концепта и конструктивних карактеристика мотоцикла приказаног на слици 5.40. са вредностима полазних података, маса $m=174\text{kg}$, момент инерције око попречне осе $J_y= 35 \text{ kgm}^2$, растојање између точкова $L= 1430 \text{ mm}$, идентификоване су вредности координата центра маса a, b, h , као и еласто-пригушне карактеристике система еластичног ослањања и пнеуматика дате општим ознакама C_i, K_i, C_{ip}, K_{ip} .

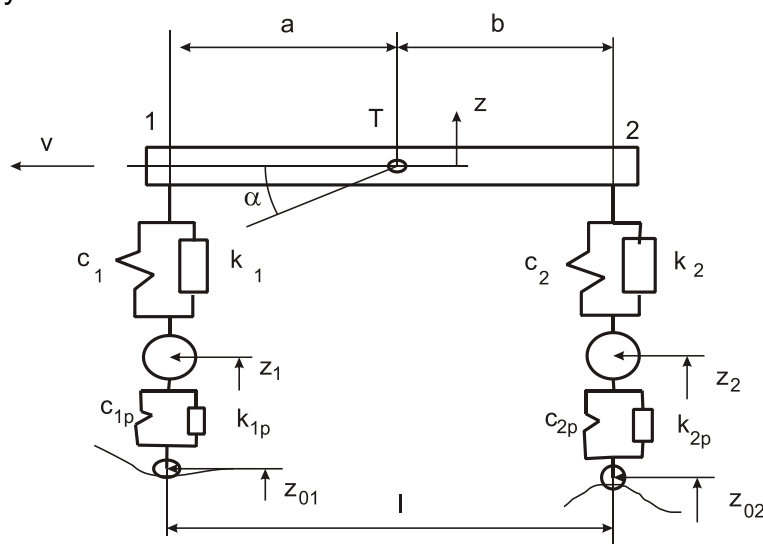
Полазни подаци, изражени општим ознакама су укупна сопствена маса, m , размак између точкова, L , положај центра маса T , координате a, b и висина h , расподела маса по точковима. Адекватан модел овог система, за анализу у вертикално-подужној равни је приказан на слици 5.41



Сл 5.40 Мотоцикл kawasaki GPX 400

У општем случају модел поседује 5 степени слободе кретања и то: два степена слободе тзв. ослоњене масе m , транслација z , ротација α , по један степен слободе кретања сваке неослоњене масе m_1 , z_1 , и m_2 , z_2 и један степен слободе основног, подужног кретања брзина v .

Диференцијалне једначине кретања изведене су из услова динамичке равнотеже дејствујућих сила и момената у односу на статички положај равнотеже написане у општем облику (5.91), (5.92), за ослоњену масу (5.93), (5.94) за сваку неослоњену масу посебно



Сл 5.41 Осцилаторни модел мотоцикла

$$m\ddot{z} + F_{ck1} + F_{ck2} = 0 \quad (5.91)$$

$$-l\ddot{\alpha} - F_{ck1}a + F_{ck2}b = 0 \quad (5.92)$$

$$m_1\ddot{z}_1 - F_{ck1} + F_{pck1} = 0 \quad (5.93)$$

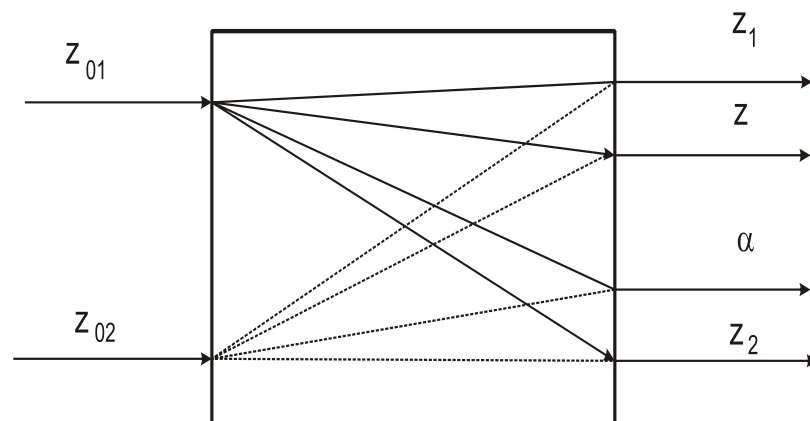
$$m_2\ddot{z}_2 - F_{ck2} + F_{pck2} = 0 \quad (5.94)$$

где су, поред ознака датих на слици 5.41, уведене и следеће ознаке, F_{cki} , $i=1,2,\dots$ – резултанта релативне и пригушне силе ослањања предњег, односно, задњег точка, респективно; F_{pcki} , $i=1,2,\dots$ – резултанта релативне и пригушне силе предњег односно, задњег пнеуматика, респективно. Проширени изрази ових сила садрже утицај крутости и пригушења, c_i , k_i , c_{ip} , k_{ip} , сагласно приказу на слици 5.41, а функције су релативних померања и релативних брзина ослоњених и неослоњених маса мотоцикла.

Треба напоменути да су ово редуковане карактеристике система еластичног ослањања добијене свођењем реалног система на раван вертикалне динамике. За горе дефинисан математички модел претпостављена је константна брзина подужног кретања за једну симулациону реализацију (корак). Иста се може варирати од једне до друге реализације у смислу праћења ефеката њене промене на параметре вибрационих процеса. Зависно од односа конструктивних параметара, а пре свега, масе, момента инерције, расподеле масе, координата центра маса, односа крутости и пригушења предњег и задњег ослањања и одговарајућих пнеуматика, могуће је утврдити различите степене спреге између основних модова осциловања овог система – па тако исто упростити за конкретне задатке и услове испитивања.

На бази приказаног осцилаторног модела на слици 5.41, извршена су бројна симулациона истраживања, уз помоћ развијеног програма у интерактивном окружењу модуларних блокова и варираних параметара.

Приказани су и анализирани илустративни примери истраживања вибрационих процеса мотоцикла генерирани специфичним побудама одскочног и импулсног дејства, сагласно структури идентификационог модела са два улаза и четири излаза датог на слици 5.42.

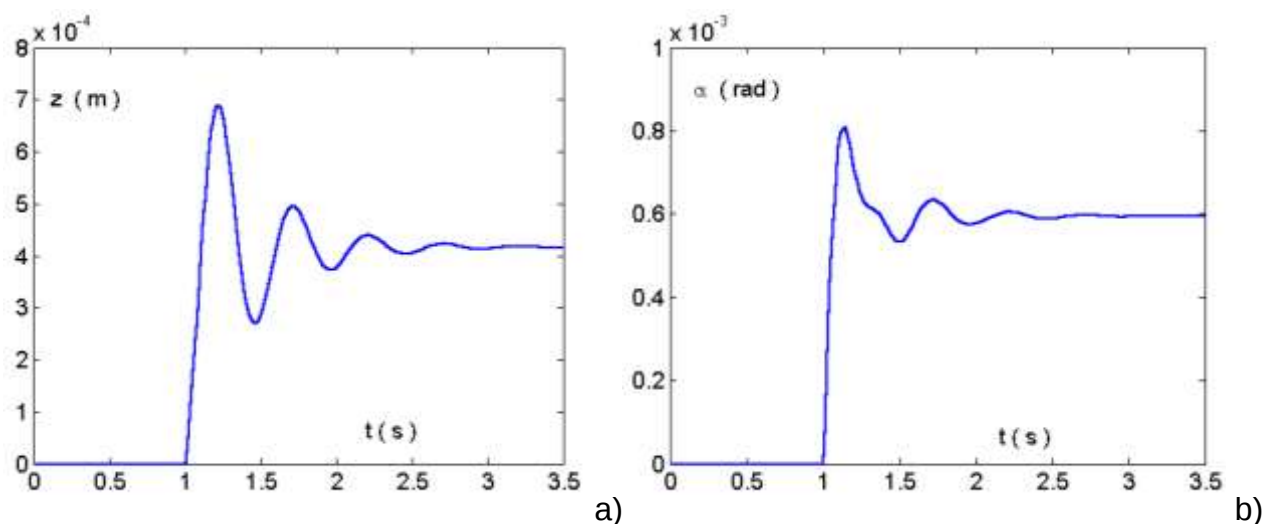


Сл. 5.42 Идентификациони модел мотоцикла

При томе су посматрана три карактеристична случаја:

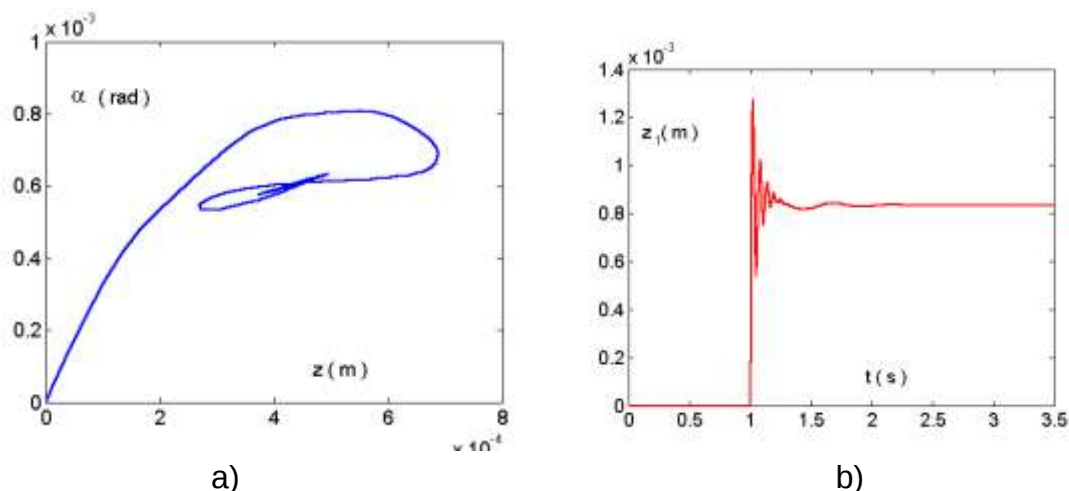
- Побуђивање само предњег точка
- Побуђивање само задњег точка
- Побуђивање оба точка са временом кашњења побуде сагласно вредностима брзине подужног кретања и међусобног растојања точкова

Илустративни примери резултата симулационих истраживања приказани су на сл. 5.43. При томе, резултати се односе на симулирање вибрационих процеса мотоцикла изложеног степ побуди само на предњем точку. Сагласно овим приказима истичу се следећа својства процеса. Вертикално, z и угаоно α , померање ослоњене масе, m , према сл. 5.43. а и б, су пригушни прелазни вибрациони процеси, међусобно различити према току одвијања и према вредностима сопствених учестаности, што се може закључити и на основу графика њихове узајамне спреге, приказаног на сл. 5.43-а. На бази ових резултата могу се одредити координате центра ротације ослоњене масе и његов положај у односу на центар укупне масе, као и у односу на положаје седишта возача и сувозача, као битних показатеља утицаја карактеристика мотоцикла на вибрациона оптерећења људског фактора.



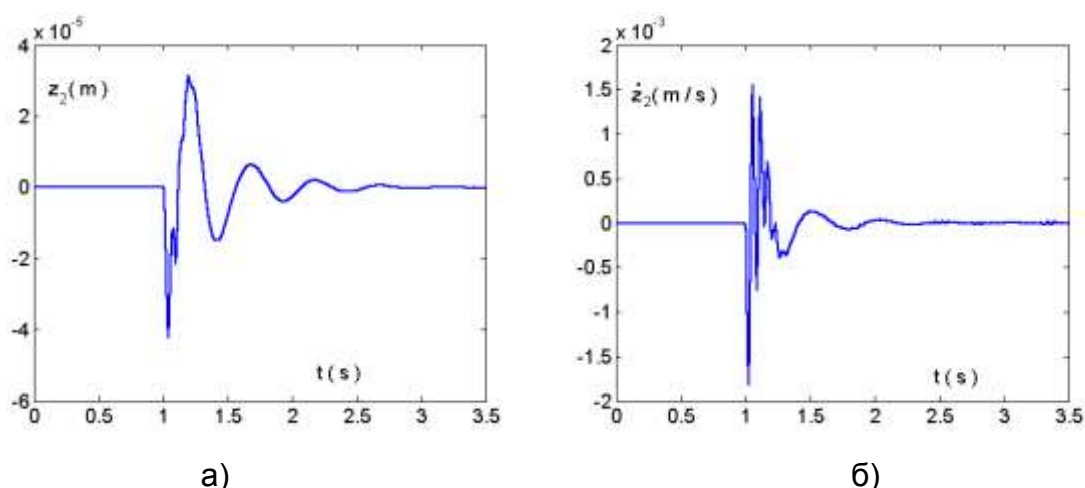
Сл. 5.43 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко предњег точка

Приказна слици 5.44-б, указује на карактеристично суперпонирање нискофреквентних вибрација од ослоњене масе и високофреквентних од неослоњене масе, условљених значајном разликом крутости система еластичног ослањања и пнеуматика.



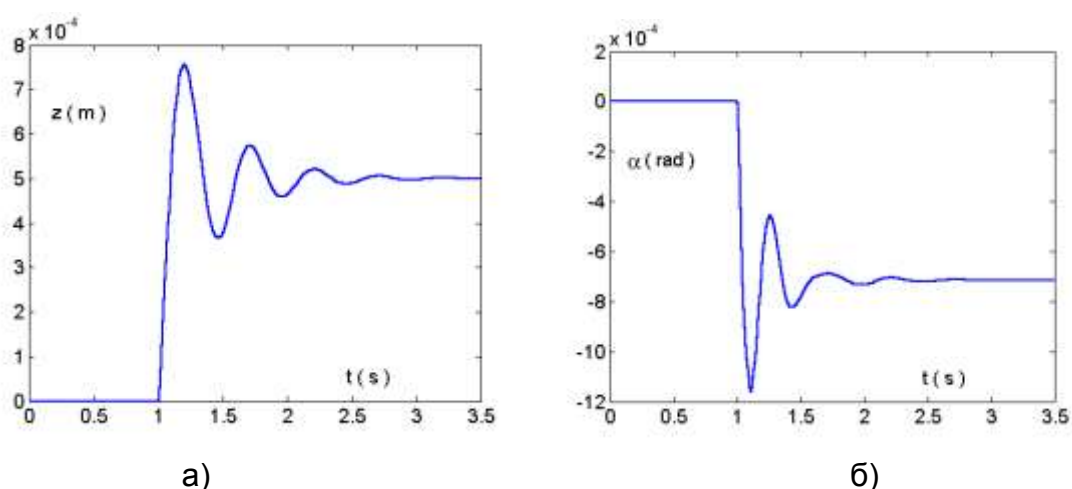
Сл 5.44 а/ узајамна спрега вибрационих процеса са слике 5.43, б/ вертикално померање центра неослоњене масе предњег точка за горе наведен тип побуде

Поређењем вибрационих процеса на сл. 5.45-б и сл. 5.46-а, истиче се значајна разлика у њиховим токовима што се тиче удела нискофреквентне и високофреквентне компоненте. Разлози за ово су различити правци и контуре преношења побуде у једном и другом случају. Увид у присуство високофреквентних вибрација у другом случају је потпунији на основу тока брзине вибрација, приказане на сл. 5.44-б. У том смислу виши временски изводи посматраних процеса дају и више информација о њиховом току.



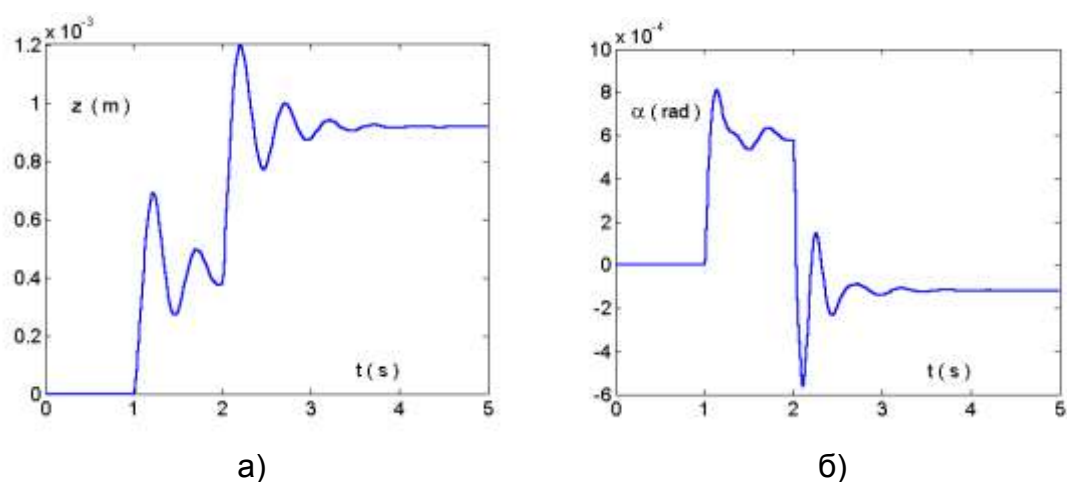
Сл. 5.45 а/, б/ вертикално померање и одговарајућа брзина центра неослоњене масе задњег точка, респективно, за дати вид побуде

Карактеристични примери вибрационих процеса при увођењу степ побуде преко задњег точка мотоцикла дати су на сл. 5.46-а,-б, за вертикално и угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла. У поређењу са сликом 5.43-а,-б, приметни су повишени нивои оба прелазна процеса и промена смера угаоног кретања, сл. 5.45-б.



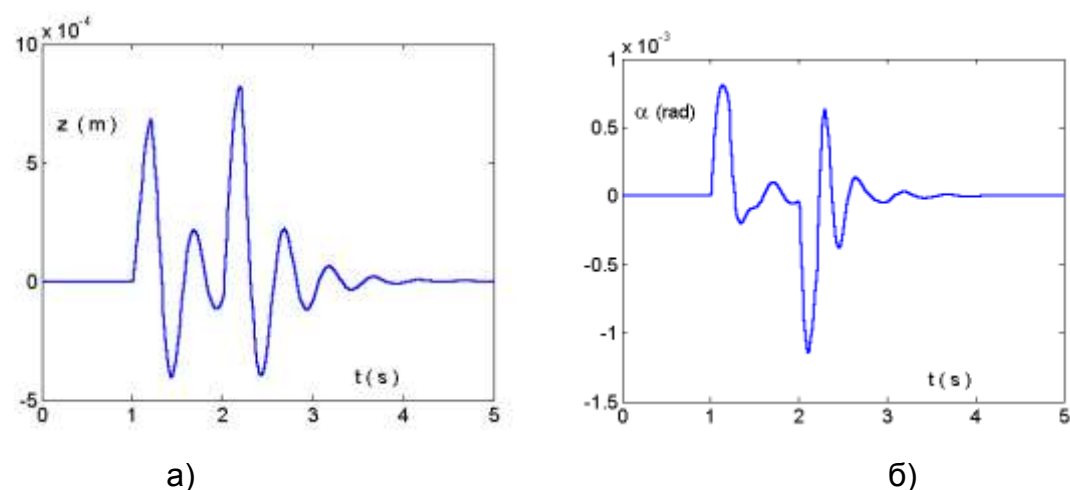
Сл. 5.46 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко задњег точка

На сл. 5.46 и 5.47, приказани су карактеристични примери вибрационих процеса мотоцикла при увођењу побуде на оба точка са адекватним временом кашњења зависним од вредности подужне брзине кретања и међусобног растојања точкова. У првом случају за степ побуде, а у другом за импулсне побуде. Дат је и приказ вертикалних померања предње и задње неослоњене масе, на сл. 5.47.

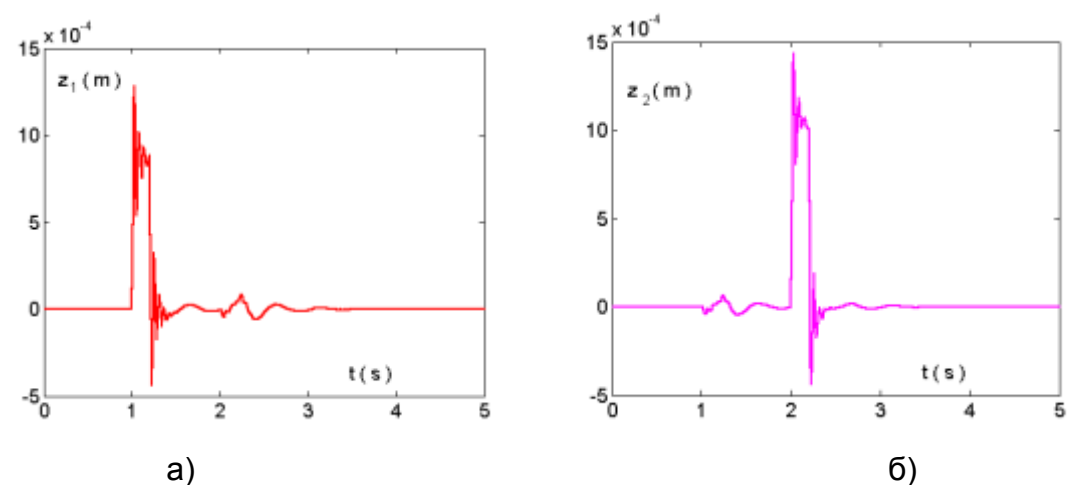


Сл 5.47 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при степ побуди преко оба точка

На основу претходно датих илустративних приказа симулираних вибрационих процеса мотоцикла, при краткотрајним временским побудама могу се истаћи релевантни параметри за њихово вредновање са аспекта захтеваних перформанси.



Сл. 5.48 а/ вертикално, б/ угаоно кретање ослоњене масе мотоцикла при импулсној побуди преко оба точка



Сл.5.49. а/, б/ вертикална померања неовешаних маса мотоцикла, предње и задње респективно

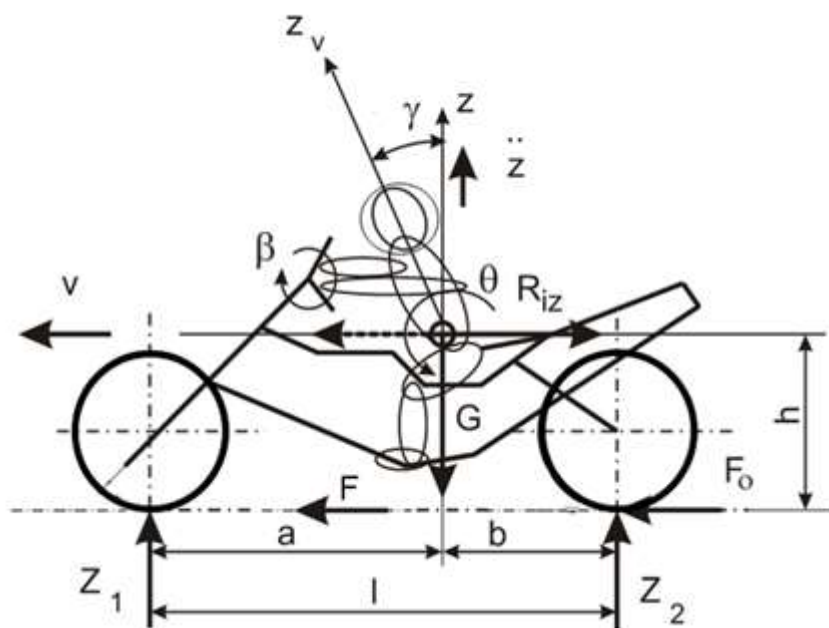
Генерално посматрано то су, параметри вредновања токова процеса, нивоа, односа суперпонираних компонената, хармоника, њихове учестаности, карактера и интензитета пригушења. У крајњем резултату овај скуп параметара процене своди се на показатеље њиховог фреквентног садржаја исказаних преко снаге самог процеса у временском и фреквентном домену а са аспекта комфора, стабилног и безбедног кретања. У овом смислу се и траже компромисна решења у фазама пројектовања, изведбе, коришћења мотоцикла, то јест усаглашавања његових конструктивних и експлоатационих карактеристика, дакле, оптерећења расподеле маса, избор пнеуматика, одржавање захтеваног техничког стања.

5.6. МОДЕЛ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА

На слици 5.50 је дат интегрисани модел мотоцикла и возача који има додатне степене слободе и то:

- око осе управљања и
- вертикално померање.

Возач као додатна маса увећава број степени слободе, али и њихов избор па би било погодно анализирати и осцилације у сва три правца и нарочито у зависности од угла нагињања возача ка назад (угао γ).



Сл.5.50 Приказ система, возач-мотоцикл као модел за анализу убрзавања

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

6.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ МОТОЦИКЛОМ KAWASAKI GPX 400

6.1.1. МЕРНА ОПРЕМА НА МОТОЦИКЛУ KAWASAKI GPX 400

У оквиру експерименталних истраживања вршених на ауто–мото стази „Шумадија сајам“ обављено је испитивање мотоциклом KAWASAKI GPX 400, са следећим карактеристикама:

- Радна запремина: $V=399\text{ cm}^3$,
- Максимална снага $P_{\text{max}}/\eta_p=43.3\text{ kW}$, при 12000 o/min,
- Сопствена маса мотоцикла : $m_s = 174\text{ kg}$.

На слици 6.1 приказано је како је постављена мерна опрема, мерач и анализатор вибрација на телу возача.



Слика 6.1 Мерач вибрација на телу возача



Слика 6.2 Постављање троосног давача на рам мотоцикла

Мерна опрема постављена на мотоциклу KAWASAKI GPX 400 произвођача „Brüel and Kjær“ (B&K) Данска, састојала се од анализатора вибрација „B&K 4447“ и троосног давача „B&K 4520-B-001“. У даљем тексту наведене су детаљне карактеристике мерне опреме.

6.1.2. АНАЛИЗАТОР ВИБРАЦИЈА НА ТЕЛУ - УРЕЂАЈ „B&K 4447“

Анализатор вибрација „B&K“ модел „4447“ је покретни мерни систем. Врло је ефикасан и лак за употребу и задовољава интернационални стандард ISO8041:2005. Намењен је мерењу вибрација којима је изложен људски оператор, а погодан је и за причвршћивање на покретним деловима машина (овде рам мотоцикла). Може да се користи при анализи кретања и других моторних возила. Приказ уређаја и радног дисплеја дат је на слици 6.3, (Brüel & Kjær, 2016)



Сл 6.3 Анализатор вибрација – уређај „B&K 4447“

Карактеристике уређаја

- Компактан уређај, са батеријским напајањем;
- Руковање је преко четири контролне типке, лак је за коришћење, идеалан за рад на терену и може да се користи са рукавицама;
- Има мали број кабловских веза - један давач са кабловском везом код основног уређаја;
- Служи за троосна и једноосна мерења;
- Мерење и приказивање параметара је сагласно правилницима ЕУ;
- Брза теренска процена изложености вибрацијама, приказ свих релевантних података;
- Истовремено регистровање и приказивање вибрација дуж X, Y и Z осе, као и њихове резултате;
- USB веза: пренос података у компјутер ради касније обраде и архивирања;
- Садржи PC софтвер, "B&K 4447" системски и апликативни BZ-5623 ("B&K 4447" Vibration Explorer BZ-5623), за пренос, контролу и прорачун података на рачунару.

Анализатор вибрација, модел "B&K 4447" је погодан за коришћење у свим истраживањима генерално, а посебно у следећим областима:

- Едукацијама,
- Медицини,
- Заштити на раду,
- Механизацији,
- Производњи анти-вибрационих уложака, седишта и опреме личне заштите,
- Производњи ручних алата,
- Сервисирању и поправци специфичних врста уређаја.

Модел "B&K 4447" укључује захтеве мера здравља и безбедности на раду по међународном стандарду ISO8041:2005 што се односи на човекове реакције на вибрације, као и на мерне захтеве опсега инструмента.

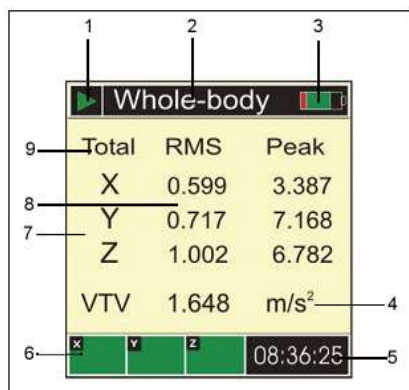
Кориснички интерфејс

Уређај "B&K 4447" је врло лак за руковање са само 4 контролне типке, што је показано на слици 6.4.



Сл 6.4 Чеона страна уређаја "B&K 4447"

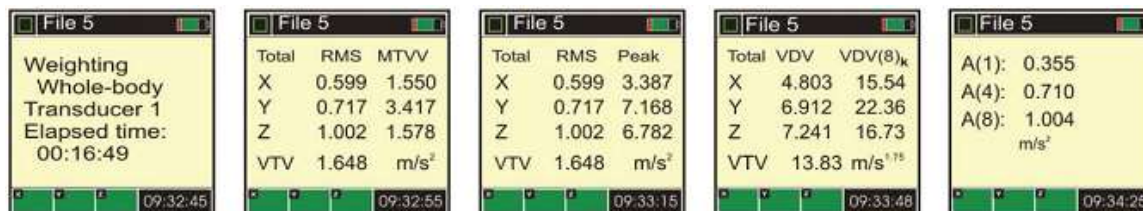
Графички приказ у боји олакшава подешавање мерења и приказивање добијених резултата. Очитавања су у m/s^2 , али се могу изражавати и у g , $\text{dB re. } \mu\text{m/s}^2$, $\text{m/s}^{1.75}$, или $\text{g}\cdot\text{s}^{0.25}$. Током мерења, приказују се резултати по осам појединачно као и резултујућа вредност. На слици 6.5 приказан је пример приказивања резултата мерења. У било ком тренутку мерења могуће је на екрану прегледати додатне приказе параметара, као што су време, врста мерења и друге, слика 6.5.



Сл 6.5 Приказ измерених резултата

1. Статус мерења (мерење, пауза, заустављање)
2. Фреквенција оптерећења (врста мерења)
3. Стање батерије
4. Мерна јединица
5. Време или протекло време (током мерења)
6. Показатељ стања
 - Зелено: CCLD mode – радни мод
 - Црвено: Отворено-коло, кратко-коло или преоптерећеност
 - Жуто: упозорење за вредности ван мерног опсега
7. Осе X, Y, Z
8. Приказ резултата
9. Заглавље (ознаке)

Мерења се чувају у привременој меморији, са капацитетом од 750 мерења. Сачувана мерења, укључујући и прорачунате вредности изложености вибрацијама $A(1)$, $A(4)$ и $A(8)$ (за 1, 4, и 8 часова, респективно), се могу приказати и на дисплеју, што се види на слици 6.6.



Сл. 6.6 Примери сачуваних (меморисаних) података мерења и израчунатих еквивалентних вредности изложености вибрацијама

Остали важнији технички подаци за коришћени Модел 4515- В-002

- Номинална осетљивост - $10\text{mV}/(\text{ms}^{-2})$,
- Филтер - W_d, W_k ,
- Опсег фреквенције - 0.25Hz до 900Hz,
- Линеарни оперативни опсег - $0.1\text{ms}^2 - 320\text{ms}^2$,
- Шум инструмента $< 0.01\text{ms}^2$.

Линеарни оперативни опсег је мерни опсег инструмента, који је дефинисан на основу стандарда ISO8041:2005. Ван овог опсега на инструменту ће се појавити обавештење „Overload“ (изнад горње границе опсега) или „Under-range“ (испод доње границе опсега).

Максимална ударна вредност давача ($\pm$ peak): 50km/s^2 .

Уређај “B&K 4447” је опремељен са три плус једном аналогном улазном прикључницом као и једним USB дигиталним прикључком I/O. Прикључнице су пројектоване за примену троосног и/или једноосног акцелерометра, а уређај је опремљен и са CCLD селективним давачем струје. Осетљивост улазних прикључница је таква да одговара конвенционалним давачима који се користе за мерење вибрација које делују на човека.

Калибрациона провера величине вибрација: 10m/s^2

Калибрациона провера фреквенције: 159.2Hz

Електрична калибрациона провера напона: 100mV за модел 4515-B-002 и 10mV за модел 4520.

Меморија је 64kB , што је еквивалентно 750 извршених мерења (по три осе), који се могу сачувати у сталној меморији.

Инструмент има USB интерфејс USB 2.0 конектор мини В. Часовник на инструменту мери реално време, које може да буде и одштампано.

Батерије су литијумске од 3.7V , 2150mA које се могу накнадно пунити. Након пуњења дуже од 6 часова пуњачем ZG-0459, који је садржан у пакету, могу се користити и до 2.5 сати континуално.

Димензије: $70 \times 135 \times 28\text{mm}$ ($2.7 \times 5.3 \times 1.1''$)

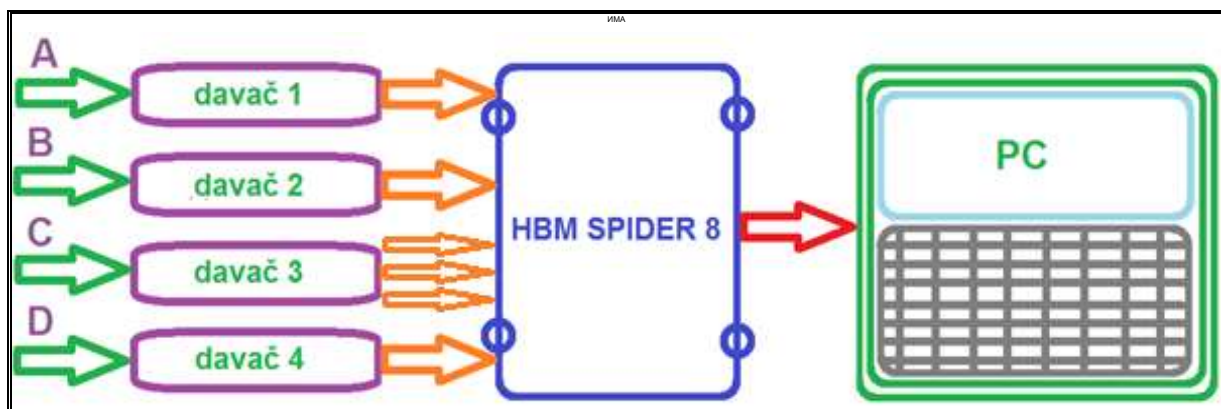
Тежина: 260g (9.2 oz), укључујући батерију.

Наведени подаци указују да је инструмент веома погодан за широк опсег истраживања и комфоран рад.

6.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ МОТОЦИКЛОМ YAMAHA YZF R6

6.2.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕРНИ ЛАНАЦ

Експериментални мерни ланац који је коришћен при испитивањима са мотоциклом YAMAHA YZF R6 приказан је на слици 6.7.

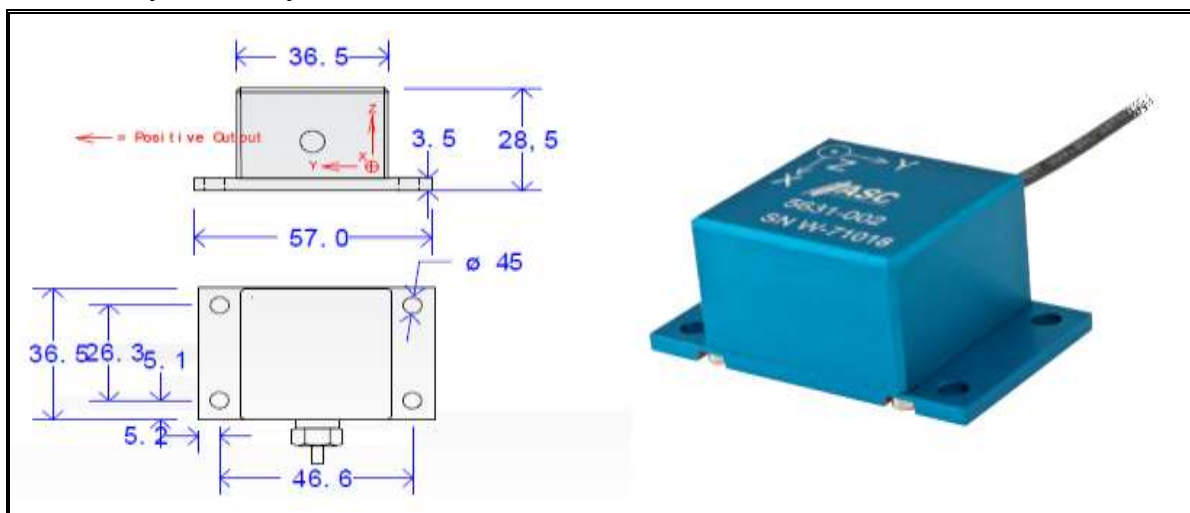


Сл. 6.7 Експериментални мерни ланац

Побуде (А, В, С и D) делују на даваче, који обрађени сигнал шаљу у појачало HBM SPIDER 8, након чега се појачани сигнал шаље у PC на даљу обраду.

6.2.2. ДАВАЧ 1 - ТРООСНИ ДАВАЧ УБРЗАЊА HBM ASC 5631-002 SN W-71003

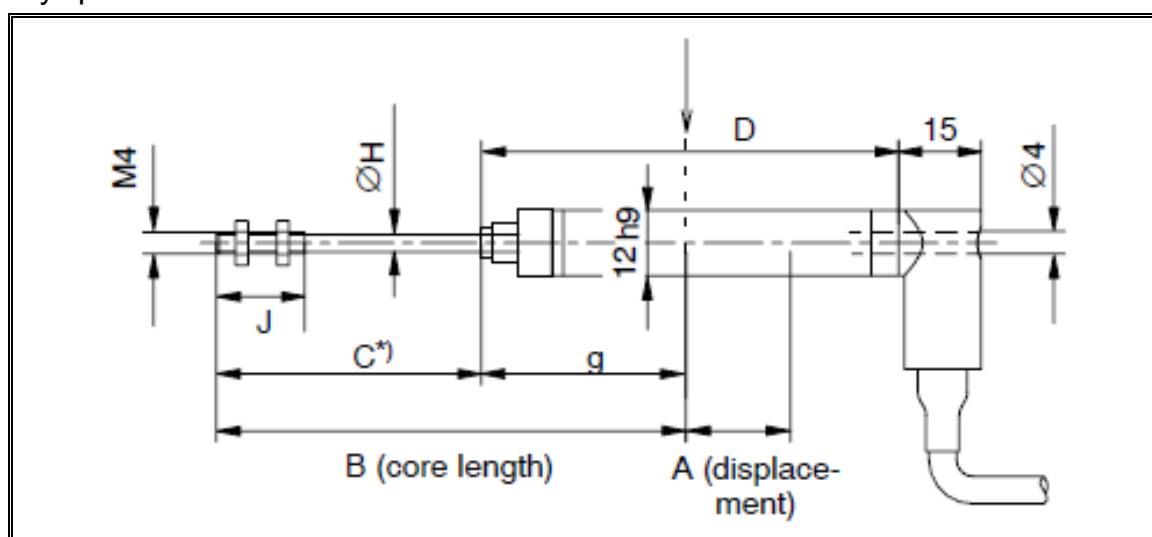
На слици 6.8 приказан је троосни давач убрзања HBM ASC 5631-002 који је постављен у тежишту мотоцикла.



Сл. 6.8 Троосни давач убрзања (Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), 2016)

6.2.3. ДАВАЧ 2 – ДАВАЧ ТРАНСЛАТОРНОГ ПОМЕРАЊА HBM WA/100

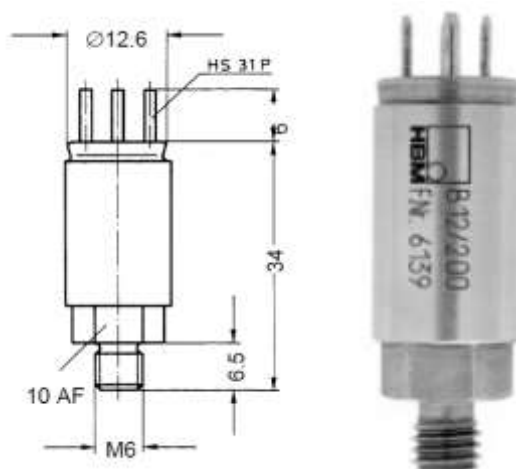
На слици 6.9 је приказан давач транслаторног померања HBM WA/100 који је постављен на управљачу (гуверналу) мотоцикла и показује померање истог при вожњи у кривини.



Сл. 6.9 Давач транслаторног померања (на основу њега се мери угао заокретања управљача) (HBM WA/100)(HBM, 2016)

6.2.4. ДАВАЧ 3 - ЈЕДНООСНИ ДАВАЧ УБРЗАЊА НВМ В12

На слици 6.10 је приказан једноосни давач убрзања НВМ В12 који је постављен у центрима предњег и задњег точка и који је пратио померање у вертикалном правцу.



Сл. 6.10 Једноосни давач убрзања (НВМ, 2016)

6.2.5. УНИВЕРЗАЛНО ПОЈАЧАЛО - НВМ SPIDER 8

НВМ Spider 8 представља једноставно, универзално појачало које може да има од 4 до 8 употребљивих канала (улаза) и има везу са РС рачунаром на коме се, уз софтверску подршку програма произвођача, обрађују мерени сигнали.



Сл. 6.11 HBM Spider 8 (НВМ, 2016)

НВМ Spider 8 је, дакле мулти-канална електронска мерна РС јединица за паралелна, динамична мерења и обраду података.

НВМ Spider 8 представља интегрисану и економски исплативију алтернативу системима који се састоје од екстерних јединица. Цео мерни систем се мора претходно повезати кабловима и конфигурисати.

Код НВМ Spider 8 система за мерење, све што је потребно да би се мерење извршило је смештено у компактном кућишту, не већем од свеске А4 формата. За разлику од старијих система нема сувишних прекидача, потенциометара и за конфигурисање система није потребна plug-in картица са кодом и адресом, тако да се Spider 8 једноставно повезује са компјутером и штампачем, преко прикључка за штампач и одмах је спреман за употребу.

Сваки канал у Spider 8 обезбеђује импулсе за пасивне претвараче, појачаваче, филтере и сопствени A/D конвертор. Сви A/D конвертори делују синхронизовано и могу обезбедити до 9.600 мерења из сваког канала са резолуцијом од 16 bita. У основној јединици се налази четири 4,8 kHz појачавача за мерење фреквенција (тј. од 600 Hz за модел Spider 8-30), стабилних и отпорних на сметње, који омогућавају општу примену Spider 8 и то, за мерење силе, хода, притиска и других механичких величина помоћу система за мерење напона и индуктивних претварача.

Spider 8 може бити проширен на 8 канала у једном уређају или на укупно 64 канала са 8 уређаја. Утични (Plug in) модули су доступни у две верзије за проширење у уређају: један као додатни CF појачавач канала и други као DC верзија, са електрично изолованим улазима за мерења температуре са термопаровима или за мерење директног напона, директне струје и отпора.

6.2.6. ПОСТАВЉАЊЕ МЕРНЕ ОПРЕМЕ НА МОТОЦИКЛ YAMAHA R6

За истраживање утицаја динамичких карактеристика система, возач - мотоцикл - пут, на безбедност саобраћаја, пројектован је експериментални систем и реализован на мотоциклу YAMAHA R6 слика 6.12.

Основни параметри мотоцикла су:

- Радна запремина: $V=599 \text{ cm}^3$,
- Максимална снага $P_{\text{emax}}/\eta_p=89.7\text{kW}$, при 13000 o/min,
- Сопствена маса: $m_s = 183 \text{ kg}$.



Сл. 6.12 Испитни мотоцикл YAMAHA R6

Мерни систем HBM Spider 8 везан са PC рачунаром на седишту сувозача у посебном кућишту причвршћеном на рам мотоцикла слика 6.13



Сл 6.13 Мерни систем HBM Spider8



Сл. 6.14 Троосни давач убрзања HBM ASC 5631-002

Први једноосни давач убрзања HBM B12 је носачем везан приближно у центру предњег точка мотоцикла слика 6.15.



Сл. 6.15 Једноосни давач убрзања HBM B12 на предњем точку

Приказани експериментални систем се по потреби проширује увођењем одговарајућег броја једноосних давача убрзања HBM B12 који могу да се поставе на местима везе предњег и задњег система еластичног ослањања точкова за рам мотоцикла, центру маса система, седишту возача и сувозача, појасу и кациги возача, итд, а у циљу мерења нивоа осцилација којима су изложене компоненте система, као и показатеља динамичке прерасподеле оптерећења по точковима при кочењу и залету. При томе се имају у виду специфичности динамике залета и кочења мотоцикла, у односу на ове динамичке процесе код двотражних возила.

Према плану и програму истраживања експерименти су обављени на деоницама пута различитог стања и геометрије и то 1/праволинијске и хоризонталне деонице асфалтног пута у добром стању, 2/деонице пута са комбинованим праволинијским и криволинијским сегментима у равни, 3/деонице пута сложене конфигурације у простору. Осим стања и геометрије пута дефинисани су и режими кретања као и показатељи вредновања ефикасности система у датим условима. Илустративи примери идентификације динамичких карактеристика вуче и кочења дати су у наредном поглављу.



Сл. 6.16 Мотоцикл YAMAHA YZF R6 са мерном опремом HBM SPIDER 8 снимљен из различитих углова



Сл. 6.17 Мотоцикл YAMAHA YZF R6 на линији техничког прегледа – мерни ваљци



Сл. 6.18 Једноосни давач убрзања HBM B12 на предњем точку



Сл. 6.19 Једноосни давач убрзања HBM B12 на задњем точку



Сл. 6.20 Давач транслаторног померања управљача



Сл 6.21 Мерни систем HBM Spider 8



Сл 6.22 Мерни систем HBM Spider 8 са PC рачунаром

6.3. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

6.3.1. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ПРИ ПРАВОЛИНИЈСКОЈ ВОЖЊИ НА МОТОЦИКЛУ KAWASAKI GPR 400

У овом поглављу су приказани резултати експеримента на мотоциклу који се састојао у убрзавању мотоцикла до 170 km/h, а након тога се дејством на кочни систем смањивала брзина до потпуног заустављања. Наведени режим испитивања поновљен је 6 пута, а резултати мерења су приказани у табелама и на дијаграмима од 6.1 до 6.6.

Убрзавање до 170 km/h и кочење до заустављања – укупно 6 мерења

У следећим табелама су приказане вредности:

RMS – Ефективна вредност (Root Mean Square) – средња квадратна вредност измерених вибрација, назива се и ефективна вредност

$$X_{RMS}^2 = X_{eff}^2 = \bar{X}^2 + \sigma_x^2$$

$$VTV = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2}$$

$$RMS_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad RMS_y = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad RMS_z = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n z_i^2}, \text{ за дискретне вредности}$$

$$RMS_x = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{t_1}^{t_2} [x(t)]^2 \cdot dt}$$

$$RMS_y = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{t_1}^{t_2} [y(t)]^2 \cdot dt}$$

$$RMS_z = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{t_1}^{t_2} [z(t)]^2 \cdot dt}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

за континуалне вредности

MTVV – Maximum Transient Vibration Value – највећа величина **RMS** током мерења, у интервалима од 1s.

Peak – Максимална достигнута вредност вибрације

CF – Корективни фактор, Peak/RMS (crest factor за синусни талас је $\sqrt{2}$)

F – фактор тежине (користи се приликом мерења убрзања на деловима система-тела, у нашем случају је 1)

VTV – (Vibration Total Value) – резултујућа вредност ефективних вредности вибрација

У Математичкој литератури веза са наведеним величинама су:

Stdev- Стандардна девијација:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

RMS –Средња квадратна вредност:

$$\text{RMS}\{x[n]\} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_n x^2[n]}$$

Average – Средња вредност:

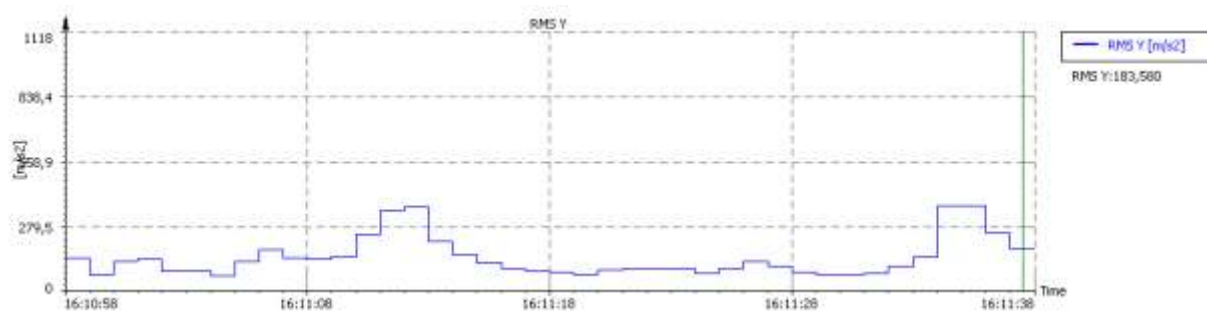
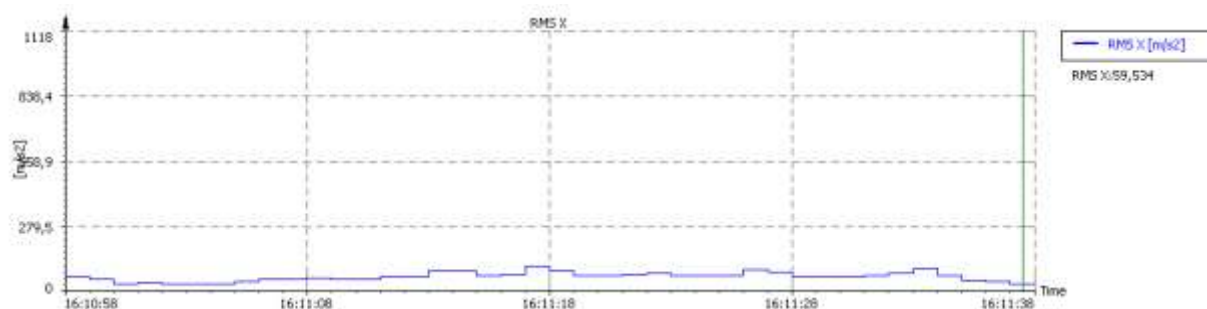
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Average (ABS)- Средње апсолутно одступање:

$$S_0 = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{N}$$

Табела 6.1 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у првом мерењу

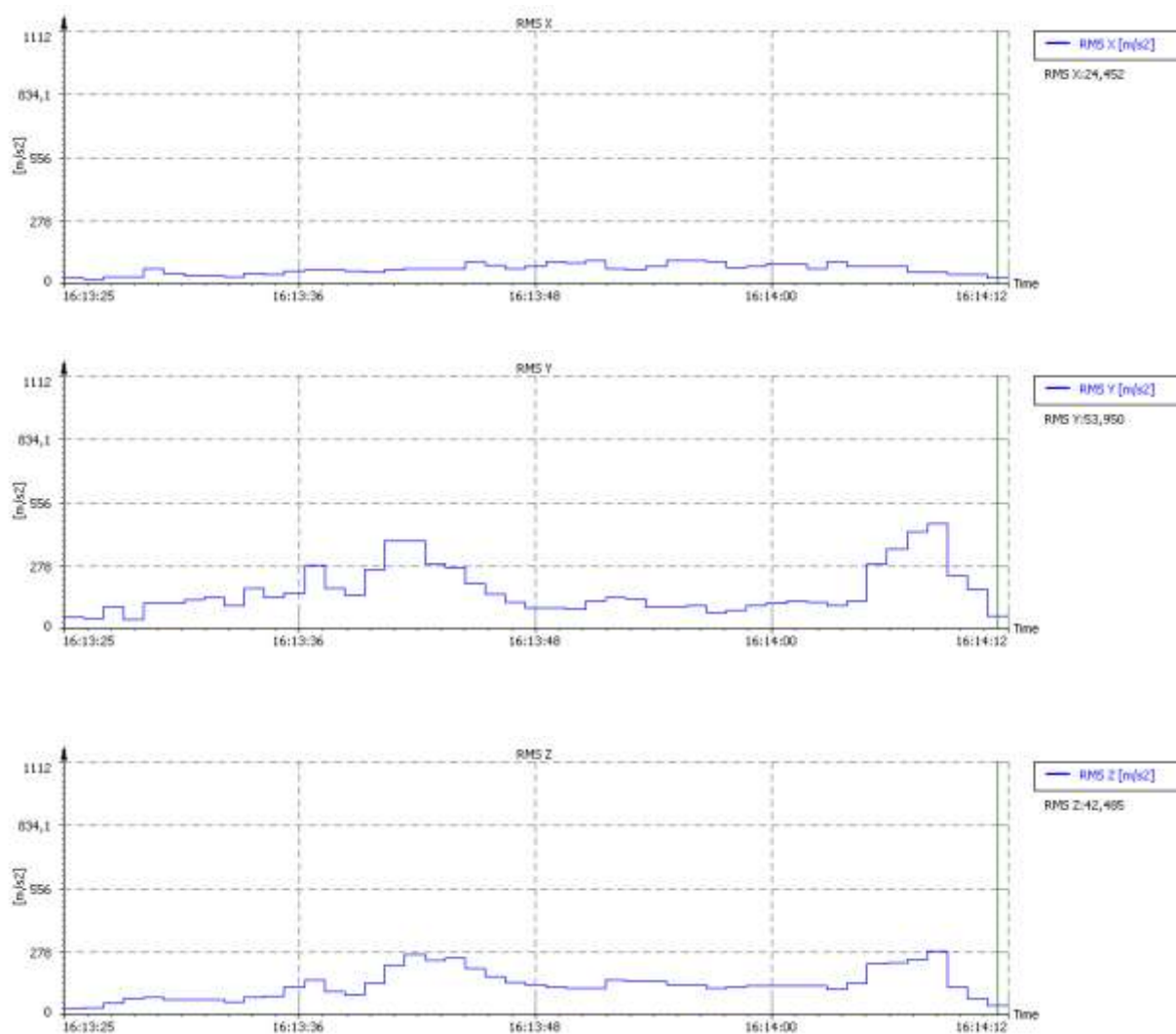
Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	64,513	167,062	132,708	222,897
MTVV	[m/s ²]	99,223	380,969	247,583	
Peak	[m/s ²]	334,637	1064,635	796,173	
CF		5,187	6,372	5,999	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



Дијаграм 6.1 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у првом мерењу

Табела 6.2 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у другом мерењу

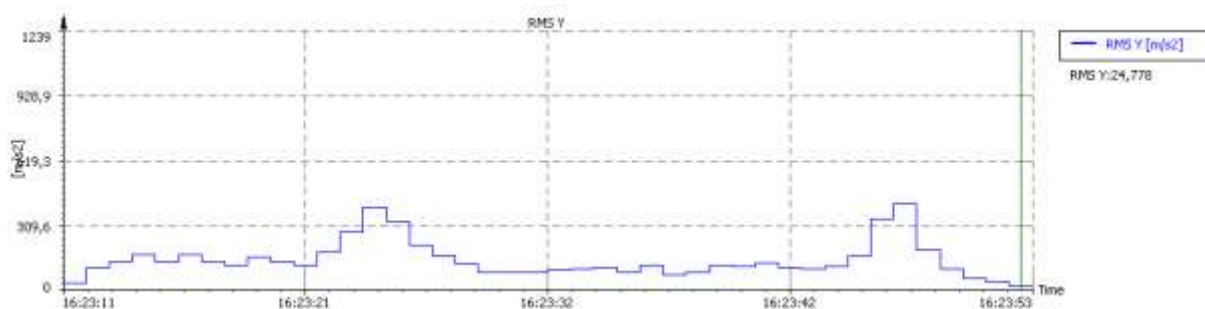
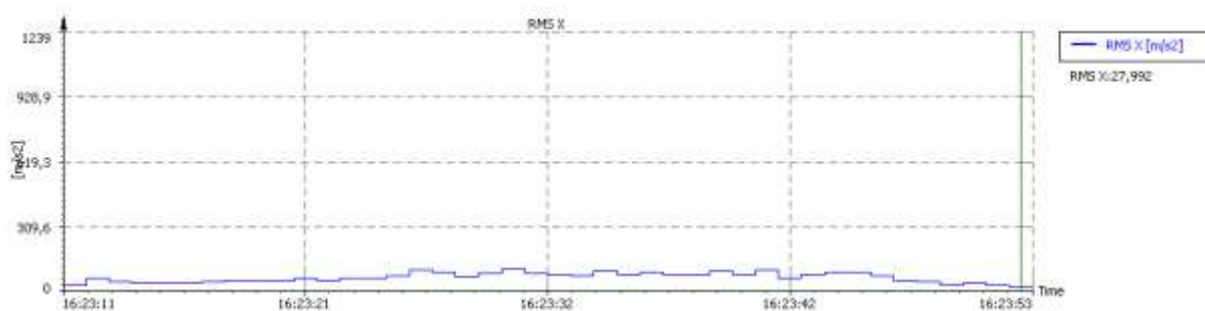
Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	67,212	193,980	145,105	251,399
MTVV	[m/s ²]	106,461	459,898	271,216	
Peak	[m/s ²]	334,838	1059,134	726,163	
CF		4,981	5,460	5,004	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



Дијаграм 6.2 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у другом мерењу

Табела 6.3 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у трећем мерењу

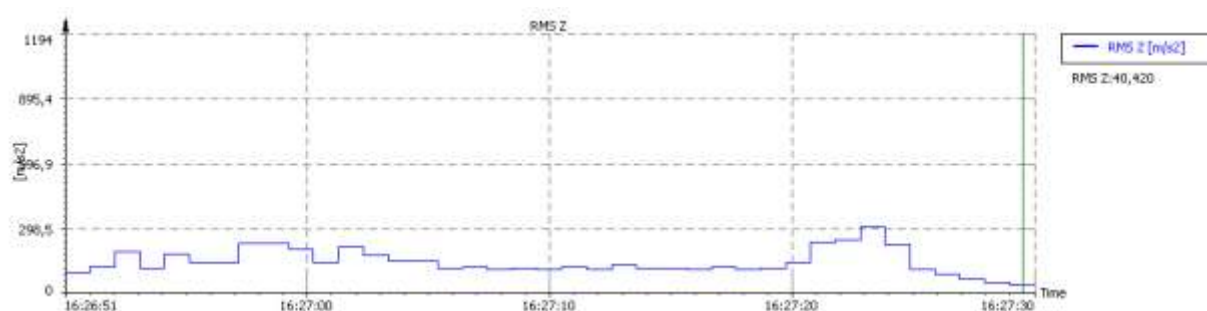
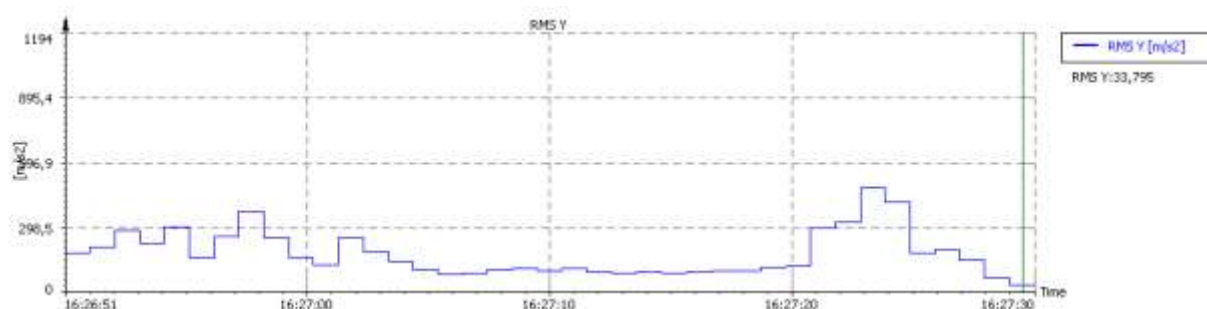
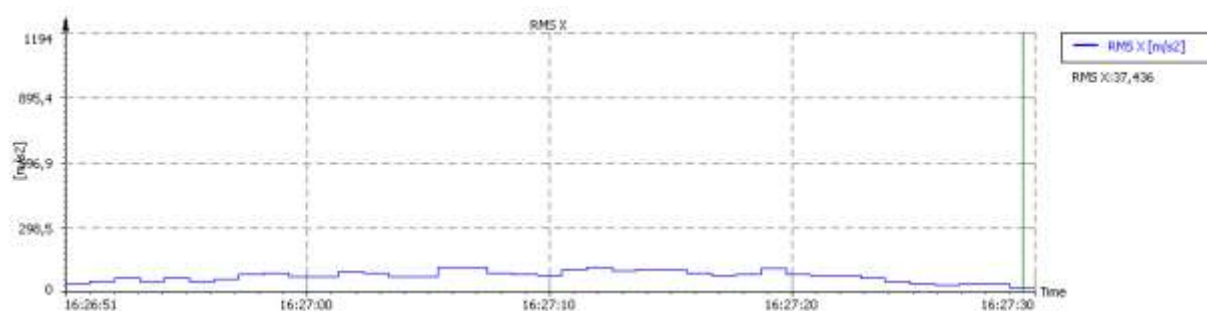
Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	69,609	168,169	129,525	223,389
MTVV	[m/s ²]	100,276	416,683	260,992	
Peak	[m/s ²]	334,637	1179,532	727,709	
CF		4,807	7,013	5,618	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



Дијаграм 6.3 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у трећем мерењу

Табела 6.4 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у четвртном мерењу

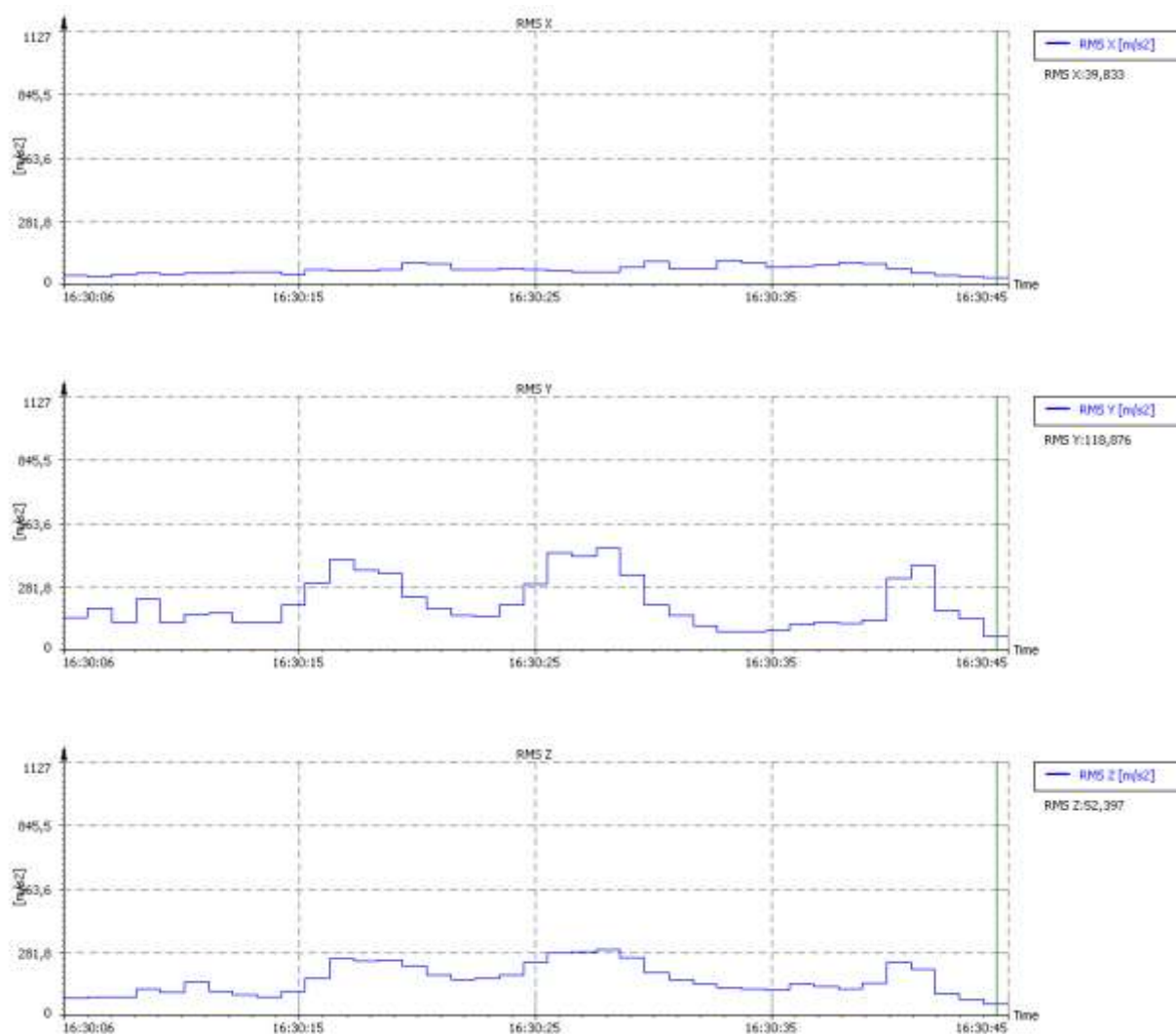
Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	77,530	201,793	153,630	265,205
MTVV	[m/s ²]	114,893	446,845	290,366	
Peak	[m/s ²]	345,497	1136,955	786,014	
CF		4,456	5,634	5,116	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



Дијаграм 6.4 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у четвртном мерењу

Табела 6.5 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у петом мерењу

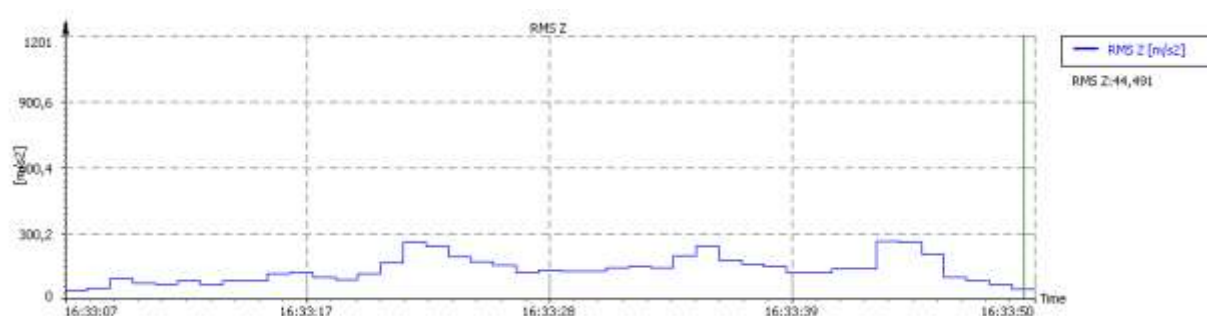
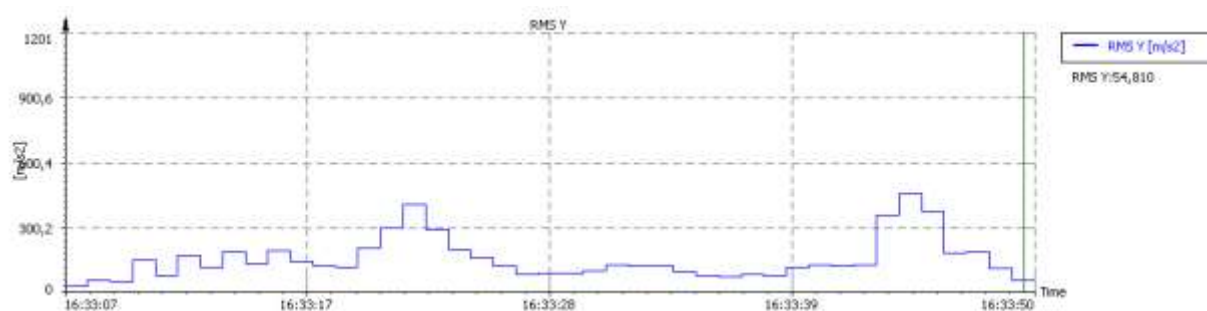
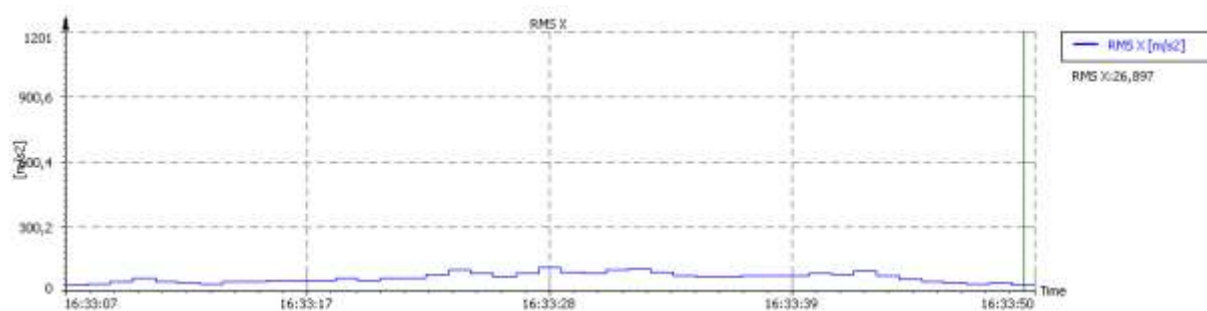
Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	69,303	234,646	172,176	299,176
MTVV	[m/s ²]	102,770	438,296	289,621	
Peak	[m/s ²]	360,379	1073,598	816,492	
CF		5,200	4,575	4,742	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



Дијаграм 6.5 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у петом мерењу

Табела 6.6 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у шестом мерењу

Name	Unit	X	Y	Z	VTV
RMS	[m/s ²]	66,289	180,386	145,735	241,190
MTVV	[m/s ²]	105,305	428,416	275,507	
Peak	[m/s ²]	356,357	1143,678	806,995	
CF		5,375	6,340	5,537	
Factor		1,00	1,00	1,00	
Overload		No	No	No	
Underrange		No	No	No	



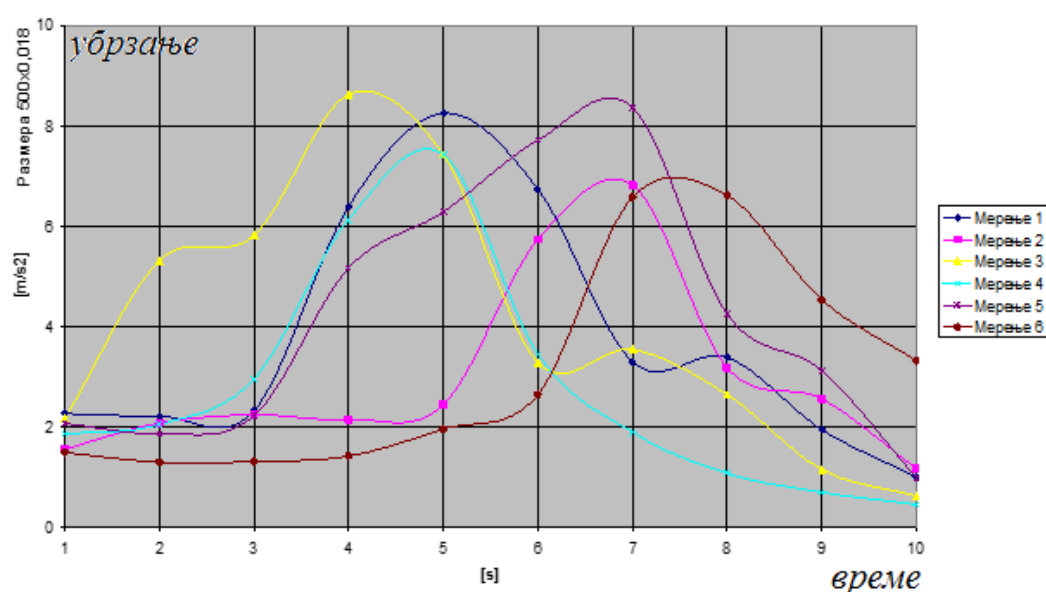
Дијаграм 6.6 Вредности убрзања у X, Y, и Z правцима у шестом мерењу

Однос вредности компонентни X и Z убрзања према Y је приказан следећом табелом (6.7). Компонента Y је бочна компонента, па је дат приказ релативних убрзања X/Y и Z/Y , што може да буде мера стабилности и управљивости.

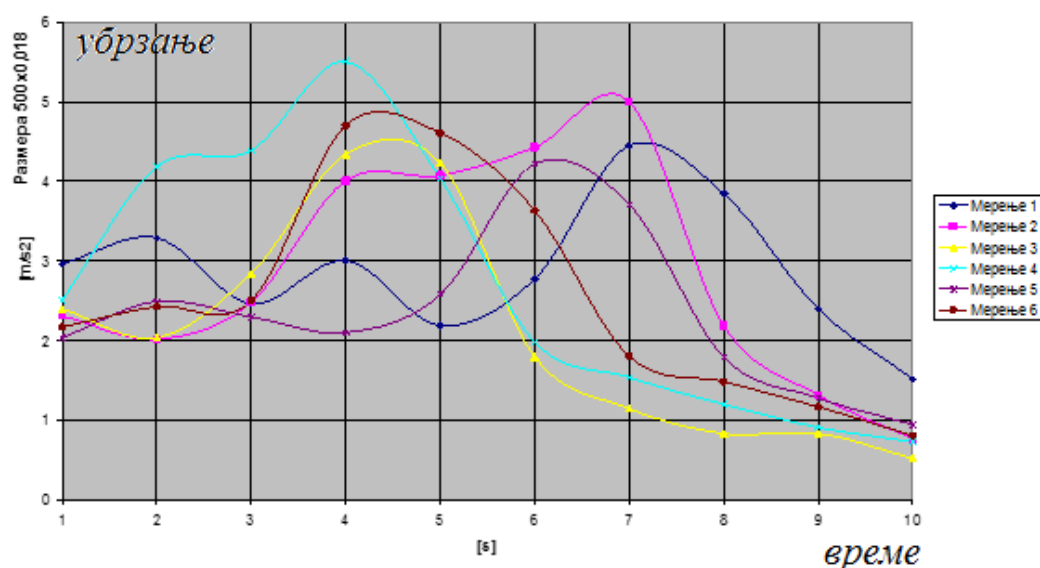
Табела 6.7 Однос вредности компонентни убрзања током интервала убрзавања

Редни број мерења	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Однос убрзања X/Y	0.39	0.35	0.41	0.38	0.29	0.37
Однос убрзања Z/Y	0.79	0.75	0.77	0.76	0.73	0.81

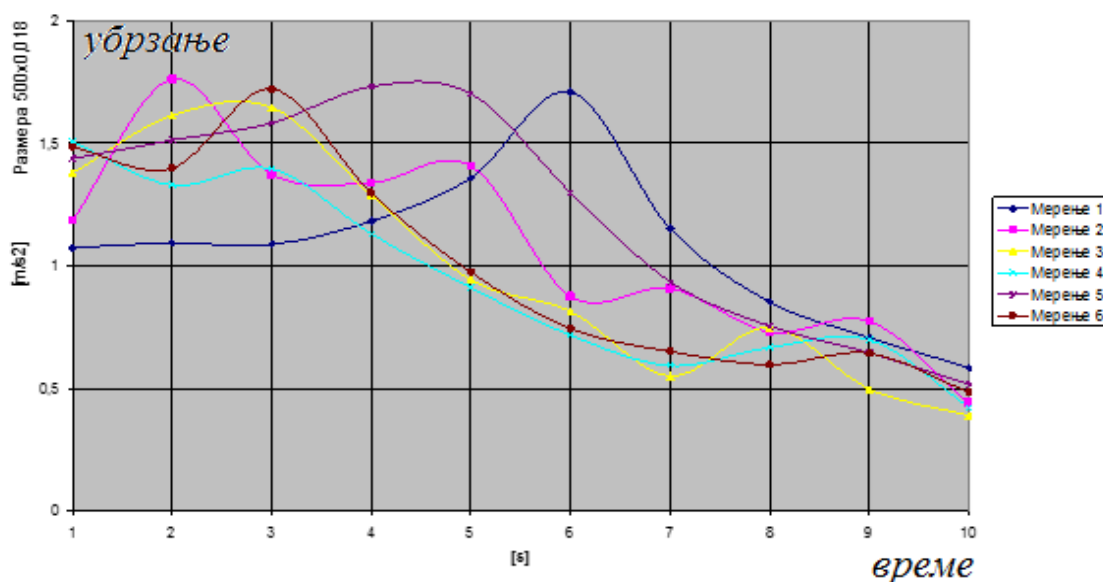
На следећим дијаграмима је приказан интервал кочења током испитивања са мотоциклом KAWASAKI GPX 400 у трајању од 10 секунди.



Дијаграм 6.7: Убрзање у правцу Y осе током интервала кочења



Дијаграм 6.8: Убрзање у правцу Z осе током интервала кочења



Дијаграм 6.9 Убрзање у правцу X осе током интервала кочења

Однос вредности компонентни убрзања током интервала кочења је приказан следећом табелом.

Табела 6.8 Однос вредности компонентни убрзања током интервала кочења

Редни број мерења	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Однос убрзања X/Y	0,36	0,23	0,30	0,21	0,37	0,24
Однос убрзања Z/Y	0,96	0,65	0,70	0,66	0,73	0,64

Табела 6.9 Измерена убрзања и силе на точковима током мерења

Редни број мерења	Максимално успорене	Средње успорене	Показатељ коришћења приањања	Показатељ интензитета кочења	Вертикална сила на предњем точку	Вертикална сила на задњем точку	Сила кочења предњег точка	Сила кочења задњег точка	Укупна сила кочења
	jmax [m/s ²]	j. [m/s ²]	qmax [-]	q sr [-]	Z ₁ [N]	Z ₂ [N]	K ₁ [N]	K ₂ [N]	K [N]
1.	6.67	3.16	0.68	0.32	1182	1417	380	456	836
2.	8.61	4.32	0.87	0.44	1360	1239	598	545	1143
3.	7.02	2.60	0.71	0.27	1097	1502	296	405	701
4.	8.26	3.86	0.84	0.39	1290	1309	503	510	1013
5.	7.02	3.10	0.72	0.32	1173	1426	375	456	831
6.	7.67	3.57	0.78	0.36	1245	1354	448	487	935
Средње вредности	7.54	3.44	0.77	0.35	1225	1374	433	476	909

Нестационарни режим кретања мотоцикла, убрзавање до 170 km/h и кочење до потпуног заустављања, карактеристичан је по начину понашања возача, износу коришћења потенцијала приањања, пнеуматик – коловоз, и сврстава се у режим повећаног ризика од настанка саобраћајне незгоде.

У току ових режима вожње генеришу се комплексни осцилаторни процеси носеће структуре мотоцикла, који утичу на замор возача и ефикасност његовог управљачког дејства.

Добијени резултати указују на комплексну интеракцију саставних компонената система у све три релевантне динамичке равни кретања, којој треба посветити пажњу у даљим истраживањима усмереним ка побољшању безбедносно – техничких карактеристика мотоцикла, а уједно и на едуковању возача у смислу технике вожње и операција које треба обавити како би вожња била безбедна.

6.3.2. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА НА ЛИНИЈИ ТЕХНИЧКОГ ПРЕГЛЕДА

Са мотоциклом Yamaha YZF R6, на линији техничког прегледа обављен је већи број мерења у различитим условима испитивања.

Приказани резултати мерења се односе на идентификацију убрзања на мотоциклу испитиваних на мерним ваљцима постављеним на линији техничког прегледа. У различитим режимима рада мотора мотоцикла, почев од режима када мотор не ради, а ваљци се окрећу, до режима када мотор ради на максималном броју обртаја (који су дозвољавали услови испитивања). Једноосним и троосним давачима су мерена убрзања на точковима и у тежишту мотоцикла. Сви режими су понављани више пута како би се доказала валидност мерења.

Анализом снимљених убрзања дошло се до закључка колике амплитуде динамичких сила можемо очекивати на предњем, односно задњем точку у различитим режимима рада мотора мотоцикла. Ове варијације у амплитуди динамичке силе директно имају за последицу и промену кочне силе, а тиме и стабилности мотоцикла у условима кочења. Истраживања су рађена на мотоциклу YAMAHA YZF R6, произведеног 2005.године и не могу се генерално односити на све мотоцикле.

Испитивање је обављено на линији техничког прегледа „Тандем“ д.о.о. у Крагујевцу са мотоциклом YAMAHA YZF R6, произведеног 2005-те године. Током испитивања није мерена кочна сила, већ су ваљци коришћени за погон мотоцикла и испитивање у стационарним условима. Истраживање је обављено ради утврђивања феномена бочног убрзања код мотоцикла.

Режими који су коришћени током испитивања:

- ваљци се окрећу: $v = 5 \text{ km/h}$, мотор је угашен, обављена су 3 мерења;
- ваљци се окрећу: $v = 5 \text{ km/h}$, број обртаја мотора је $n = 800 \text{ o/min}$, обављена су 4 мерења;
- ваљци се не окрећу: $v = 0 \text{ km/h}$, број обртаја мотора $n = 2000 \text{ o/min}$, обављена су 3 мерења;
- ваљци се окрећу: $v = 5 \text{ km/h}$, број обртаја мотора је $n = 2000 \text{ o/min}$, обављена су 3 мерења;

- ваљци се окрећу: $v = 5 \text{ km/h}$, број обртаја мотора је $n = 4000 \text{ o/min}$, обављена су 3 мерења;
- ваљци се окрећу: $v = 5 \text{ km/h}$, број обртаја мотора је $n = 6000 \text{ o/min}$, обављена су 3 мерења.

При обради резултата, за све мерене величине нађена је стандардна девијација и са њом су вршене даље анализе.

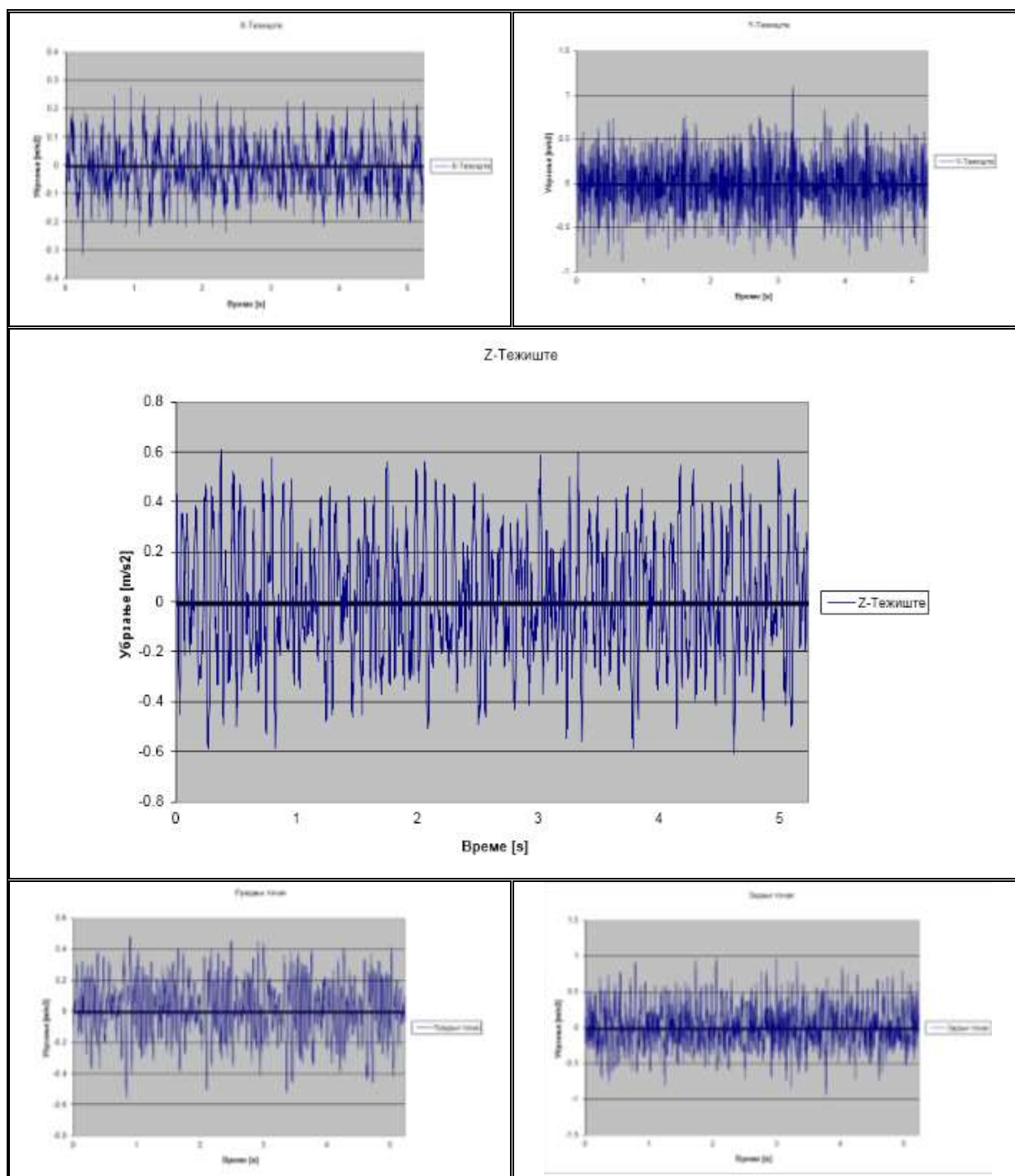
На мотоциклу су извршена мерења на три позиције:

- а) Центар задњег точка (вертикална компонента)
- б) Тежиште мотоцикла (три компоненте: подужна, бочна, вертикална)
- с) Центар предњег точка (вертикална компонента).

Мерења обављена на линији техничког прегледа су систематизована као мерења I, II, III, IV, V, VI. Једноосним давачима мерена су убрзања у точковима, док је троосни давач мерио убрзања на мерном месту постављеном у тежишту система мотоциклист – мотоцикл. Реализована мерења и добијени резултати дају могућност упоређења у оквиру исте групе мерења, као и одступања и специфичност при упоређивању са путним испитивањима. Приказ обављених мерења дат је табеларно (табеле 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16) и графички (дијаграми 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16).

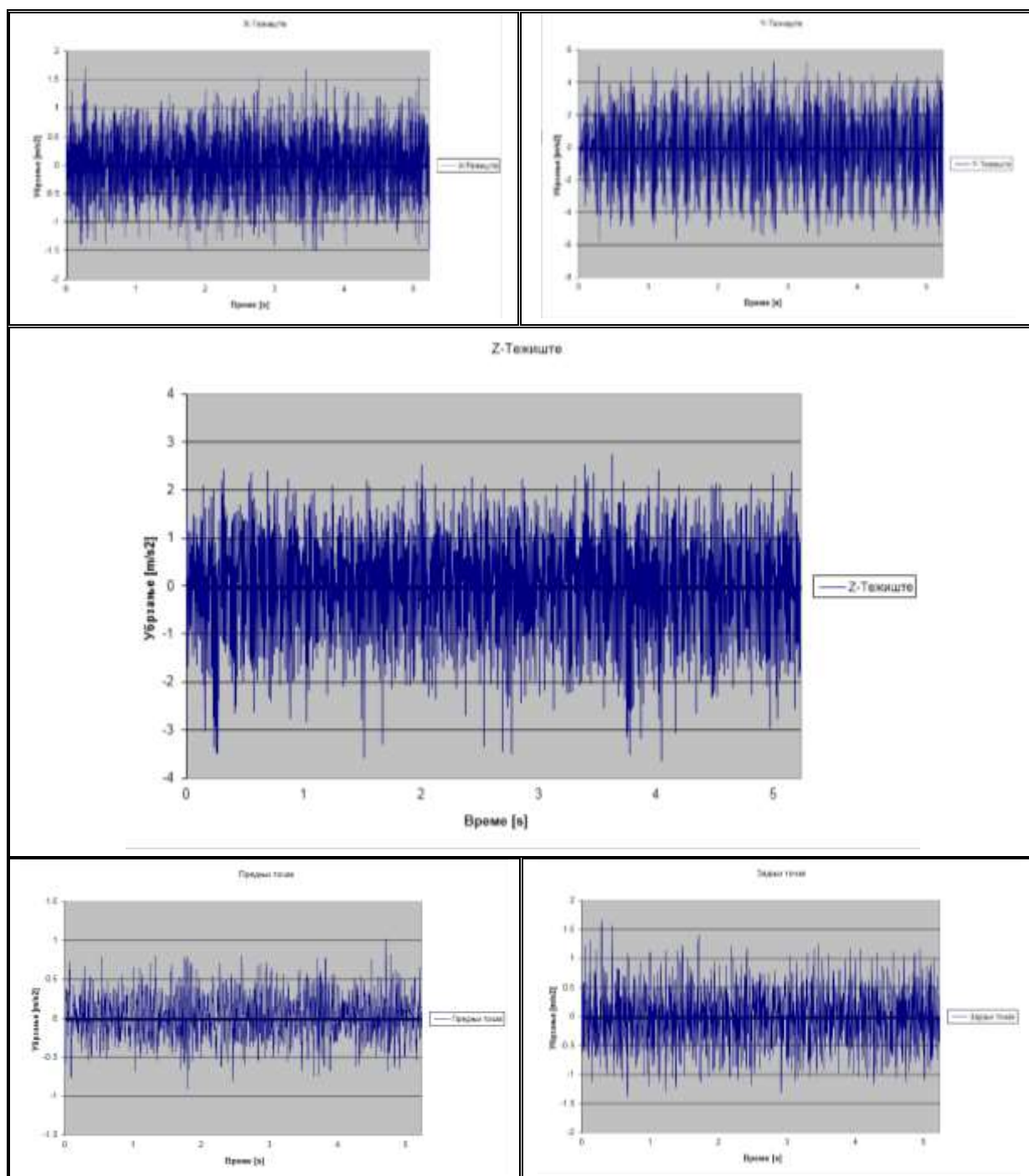
(I) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 0 \text{ o/min}$ Табела 6.10 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 0 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	0.087363	0.287621	0.242389	0.284783	0.175867
Average	-0.00604	-0.01392	0.011588	0.011533	0.018555
RMS	0.087572	0.287957	0.242666	0.285017	0.176843

Дијаграм 6.10 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 0 \text{ o/min}$

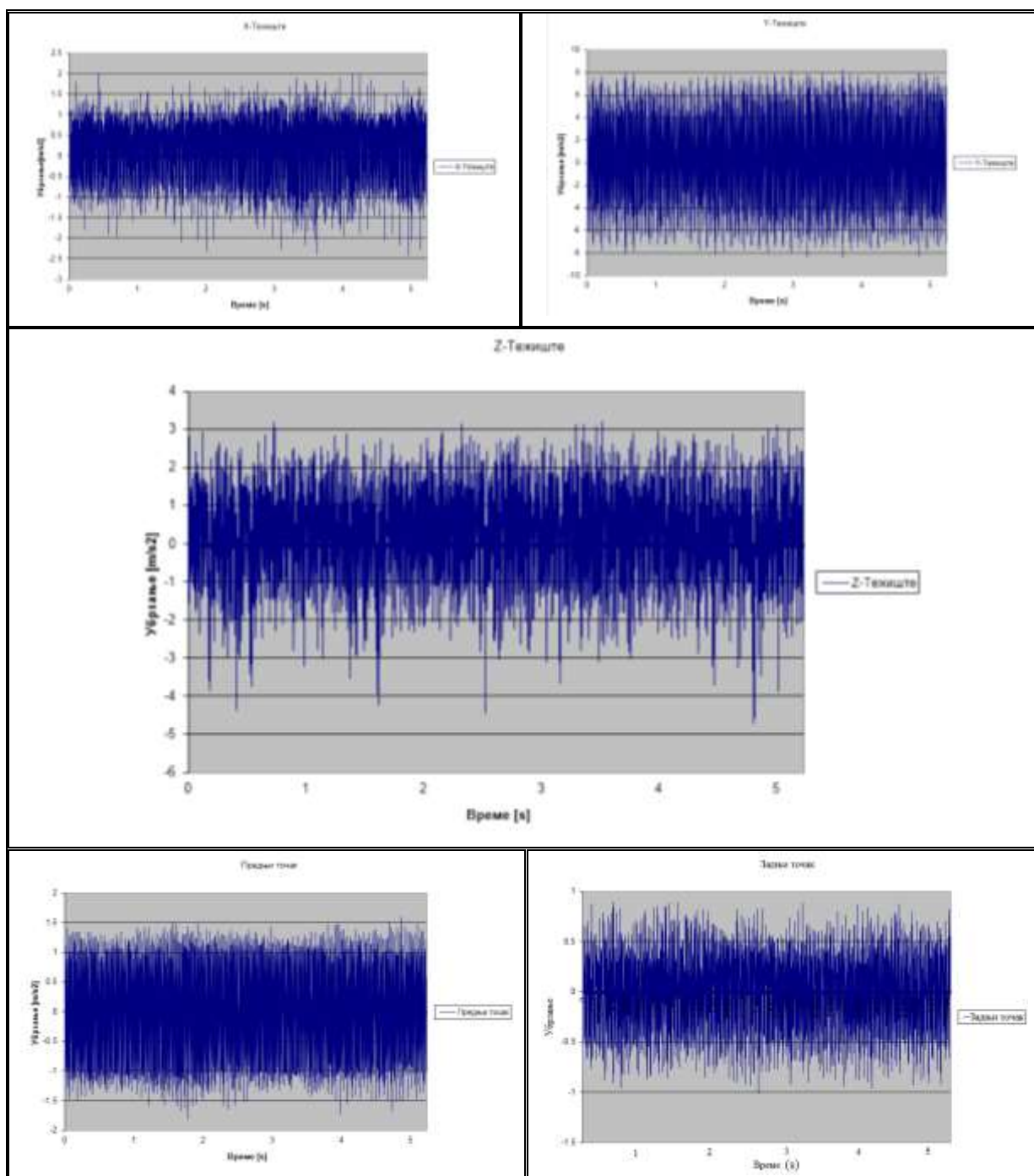
(II) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 800 \text{ o/min}$ Табела 6.11 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 800 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	0.524582	2.188214	1.037928	0.44751	0.266237
Average	0.001875	-0.01715	0.007026	-0.00599	0.019273
RMS	0.524586	2.188281	1.037952	0.44755	0.266933

Дијаграм 6.11 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 800 \text{ o/min}$

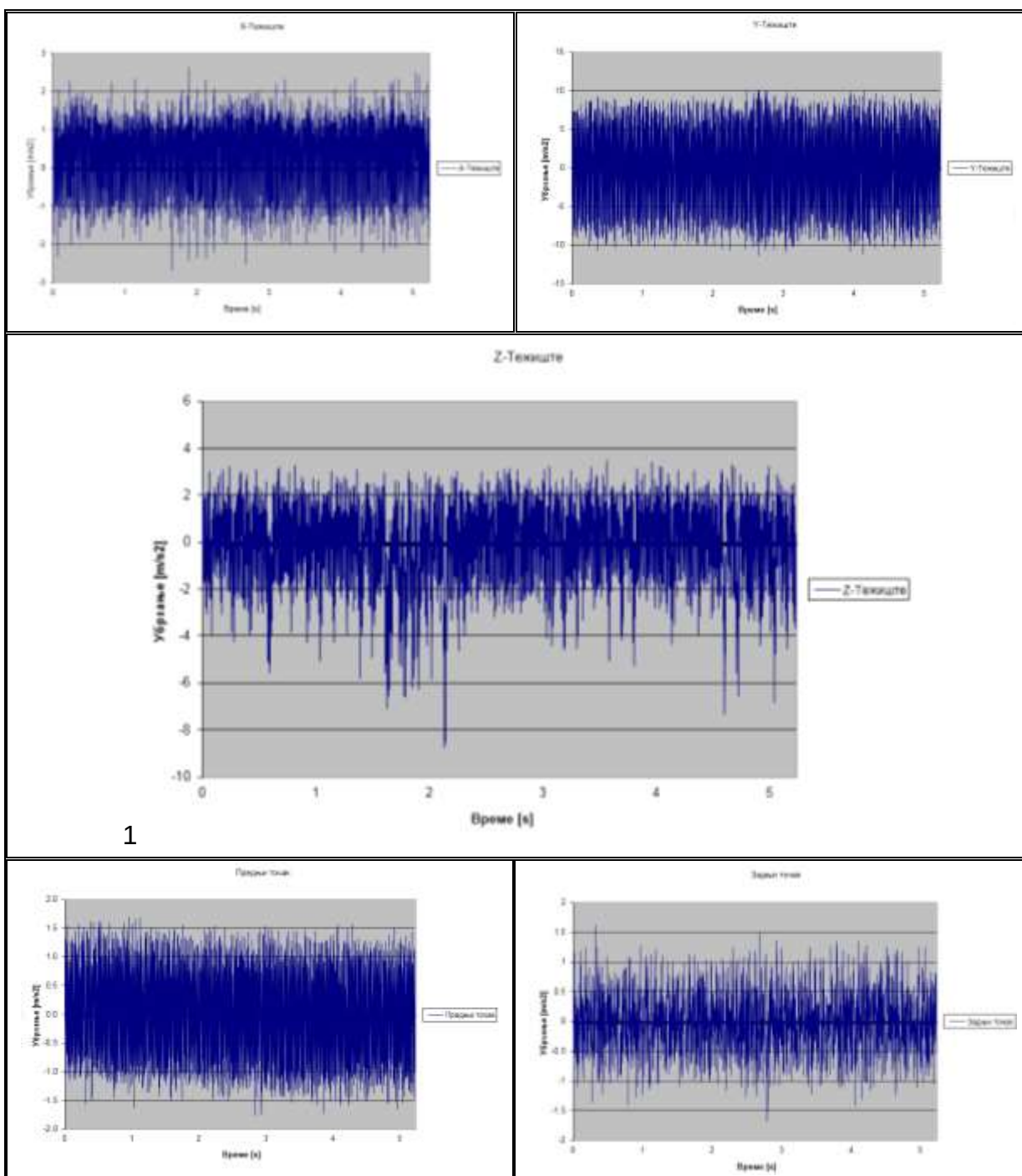
(III) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 0 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$ Табела 6.12 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 0 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	0.818491	4.332546	1.306306	0.376482	0.839195
Average	0.135181	0.391819	0.140271	0.003846	0.012531
RMS	0.829579	4.350227	1.313816	0.376502	0.839289

Дијаграм 6.12 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 0 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$

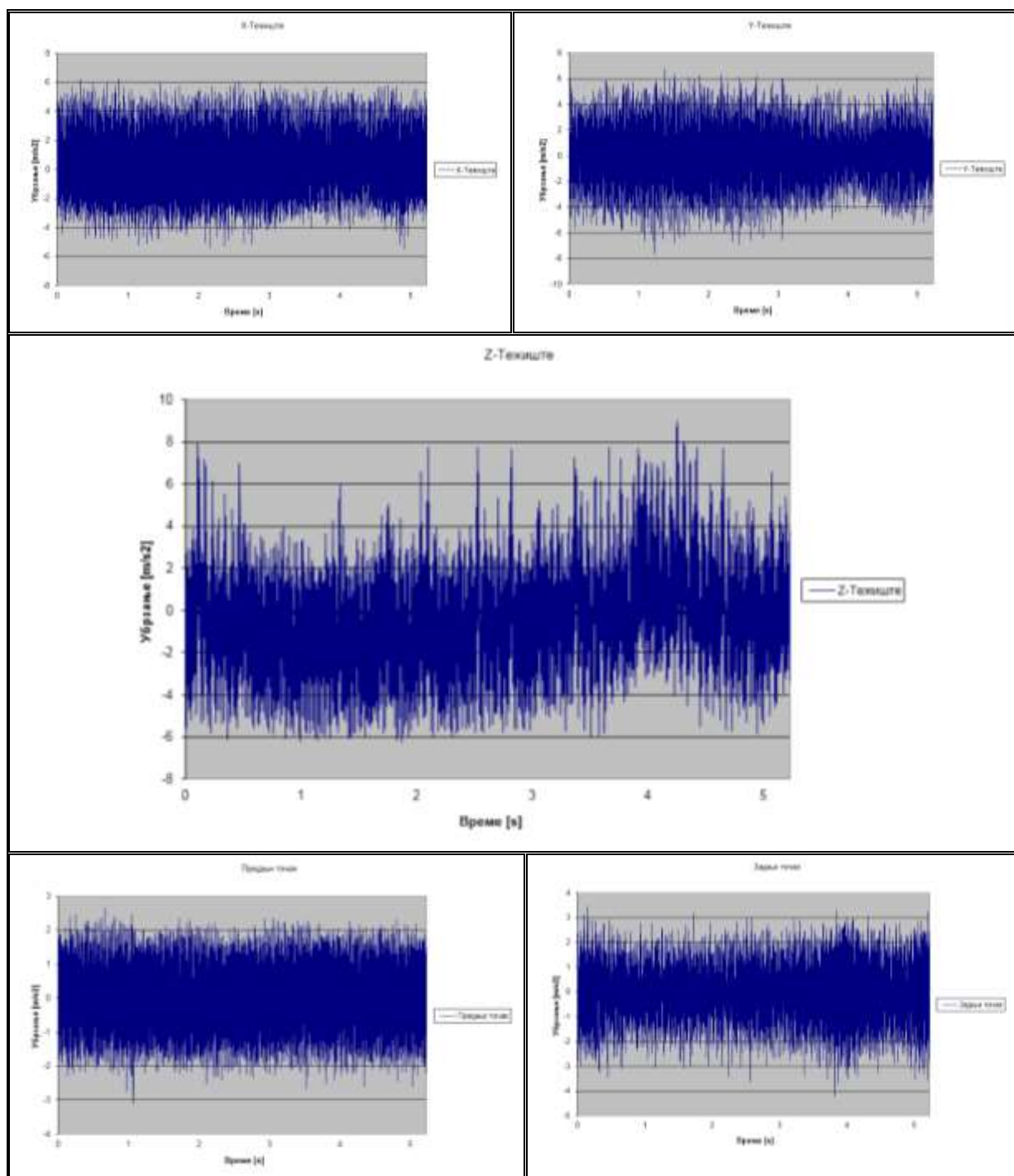
(IV) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$ Табела 6.13 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	0.966637	5.793635	1.77192	0.496649	0.841698
Average	0.273508	0.146934	-0.1004	-0.00596	0.003348
RMS	1.004586	5.795498	1.774762	0.496685	0.841704

Дијаграм 6.13 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 2000 \text{ o/min}$

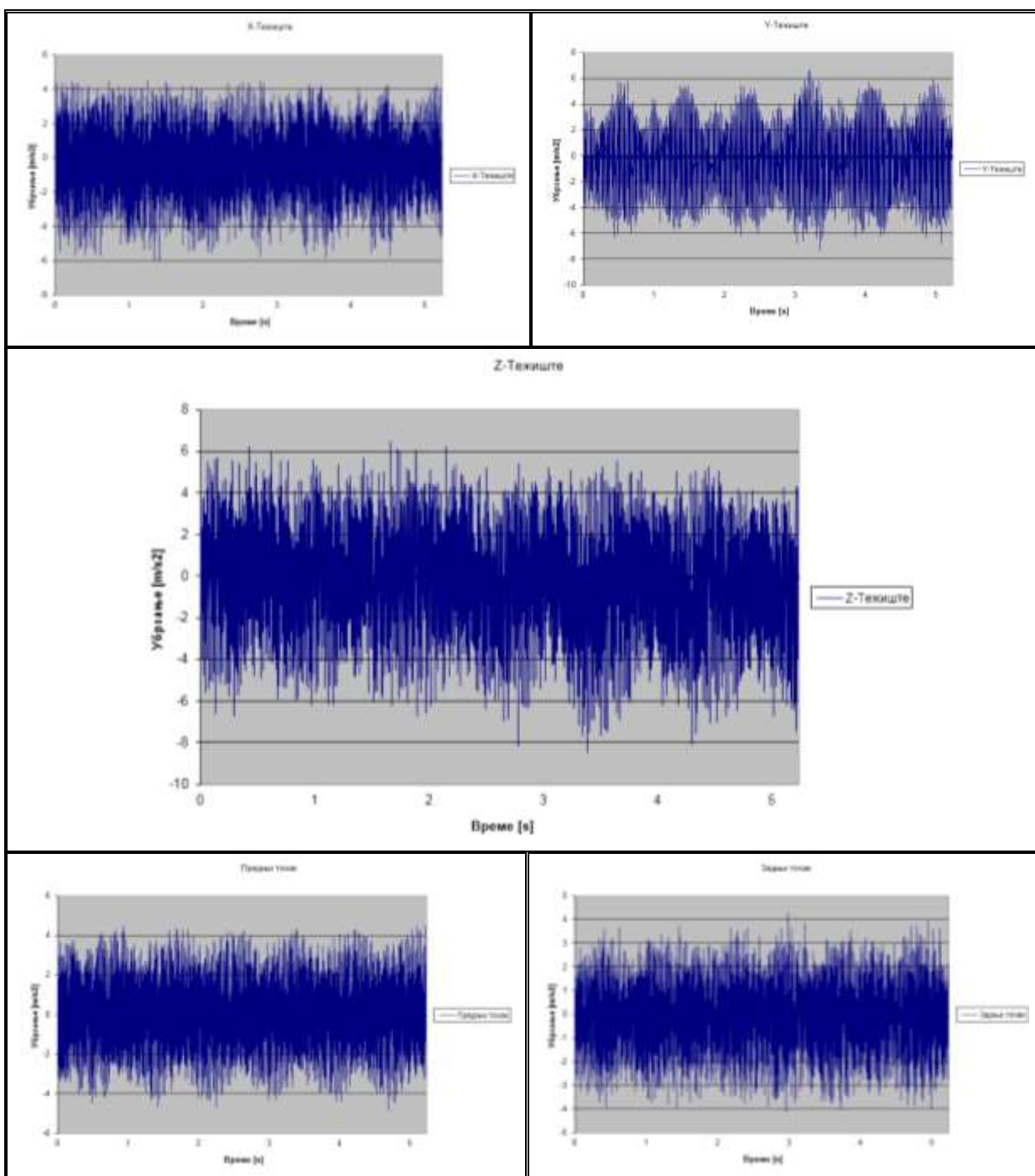
(V) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 4000 \text{ o/min}$ Табела 6.14 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 4000 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	2.745689	2.851367	2.798665	1.492879	1.30541
Average	0.103086	0.084769	-0.34257	-0.01229	0.026109
RMS	2.747623	2.852627	2.819553	1.49293	1.305671

Дијаграм 6.14 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 4000 \text{ o/min}$

(VI) Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 6000 \text{ o/min}$ Табела 6.15 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 6000 \text{ o/min}$

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Tesiste	Zadnji točak	Prednji točak
Stdev	2.354594	2.715101	2.864484	1.738071	2.073573
Average	-0.25947	-0.26244	-0.29972	-0.00352	-0.00721
RMS	2.368847	2.727756	2.880122	1.738074	2.073586

Дијаграм 6.15 Испитивање на линији техничког прегледа $V = 5 \text{ km/h}$, $n = 6000 \text{ o/min}$

Табела 6.16 Средње вредности стандардних девијација за мерења од 1-6

Стандардна девијација

	X-тежиште	Y-тежиште	Z-тежиште	Задњи точак	Предњи точак
V5kmUg01	0.087363	0.287621	0.242389	0.284783	0.175867
V5kmUg02	0.081666	0.289754	0.232399	0.309762	0.171898
V5kmUg03	0.086047	0.296877	0.245645	0.334654	0.182863
Средња вредн.	0.085025	0.291417	0.240144	0.309733	0.176876

V5kmUp01	0.524582	2.188214	1.037928	0.447510	0.266237
V5kmUp02	0.425928	1.327984	1.073978	0.409906	0.243223
V5kmUp03	0.326165	1.093907	0.790957	0.368447	0.241885
V5kmUp04	0.314499	0.824464	0.836635	0.350278	0.247671
Средња вредн.	0.397794	1.358642	0.934874	0.394035	0.249754

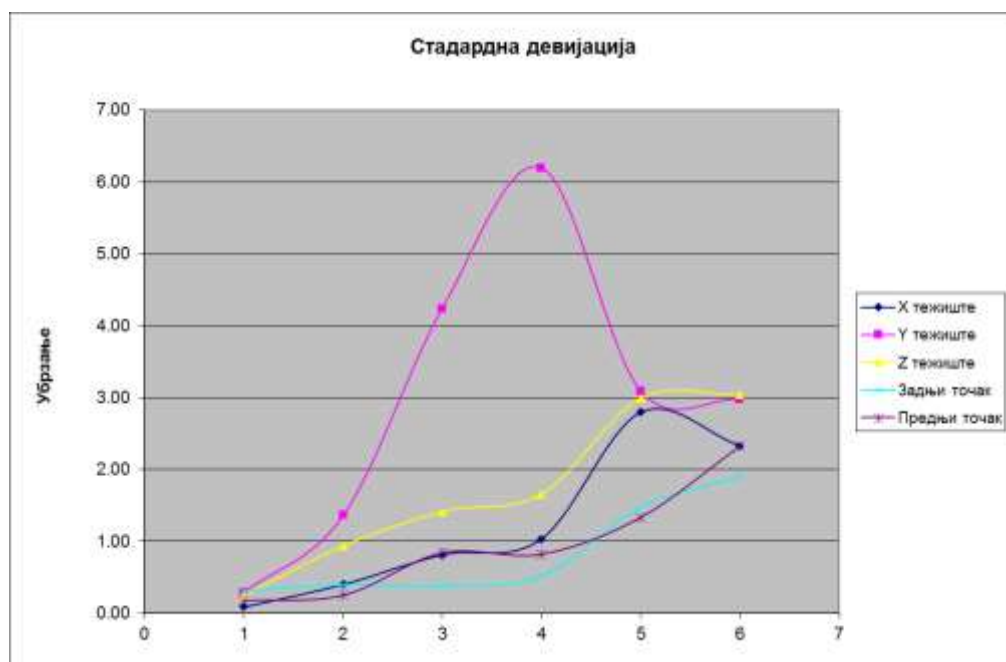
V0kmL2kN01	0.818491	4.332546	1.306306	0.376482	0.839195
V0kmL2kN02	0.884504	4.403498	1.406201	0.380782	0.834731
V0kmL2kN03	0.733019	3.982337	1.532768	0.377452	0.850148
Средња вредн.	0.812005	4.239460	1.415092	1.522654	0.841358

V5kmL2kN01	0.966637	5.793635	1.771920	0.496649	0.841698
V5kmL2kN02	1.085818	6.888796	1.599797	0.553871	0.790123
V5kmL2kN03	1.044752	5.902189	1.598560	0.516292	0.830319
Средња вредн.	1.032402	6.194873	1.656759	0.522271	0.820713

V5kmL4kN01	2.745689	2.851367	2.798665	1.492879	1.305410
V5kmL4kN02	2.811196	3.195967	3.235410	1.520104	1.311694
V5kmL4kN03	2.825407	3.232931	2.935280	1.396834	1.381601
Средња вредн.	2.794097	3.093422	2.989785	1.469939	1.332902

V5kmL6kN01	2.354594	2.715101	2.864484	1.738071	2.073573
V5kmL6kN02	2.412932	3.116204	3.147391	2.160495	2.283178
V5kmL6kN03	2.217954	3.092894	3.114779	1.811462	2.610930
Средња вредн.	2.328493	2.974733	3.042218	1.903343	2.322560

За цео запис у том временском интервалу су нађене средње вредности стандардне девијације које су приказане у табели 6.16. Приказани дијаграмски резултати су за средње вредности стандардних девијација извршених мерења.



Дијаграм 6.16 Средње вредности стандардних девијација за мерења од 1-6

6.3.3. ВОЖЊА ПО КРУГУ

Други сегмент мерења (мерења VII и VIII) је обављен на полигону за обуку возача.



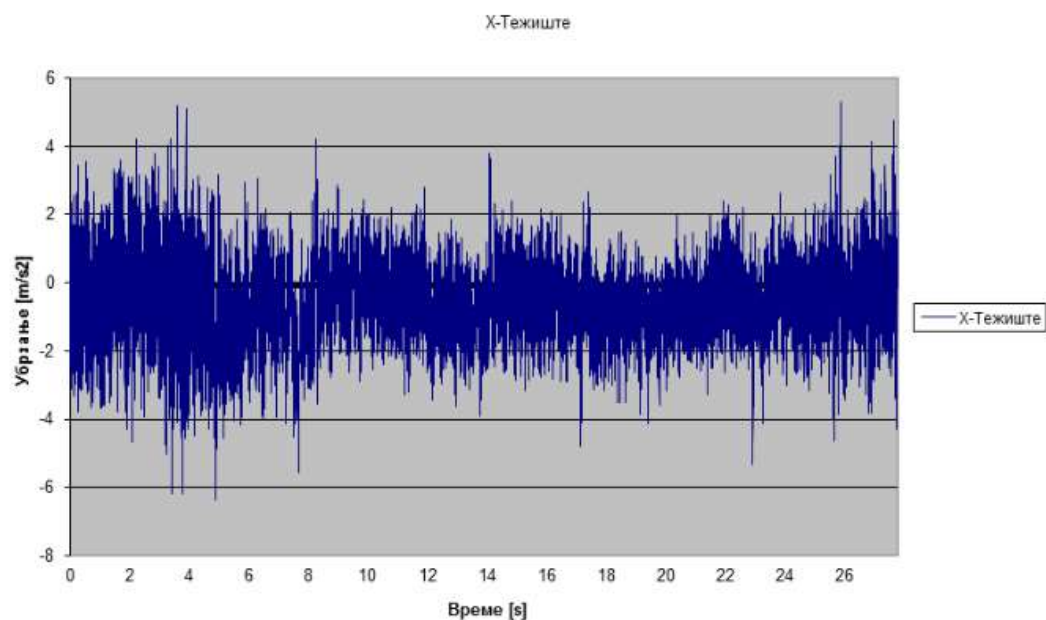
Сл 6.23 Вожња мотоцикла по кругу.

Једноосним давачима мерена су убрзања у точковима, док је троосни давач мерио убрзања на мерном месту постављеном у тежишту система мотоциклист – мотоцикл. На мотоциклу је такође био постављен и давач транслаторног, бочног померања на управљачу мотоцикла, помоћу кога може да се прати угао заокретања управљача. Мотоцикл је пратио путању кружнице, вожњом у првом степену преноса. Специфичност ове врсте испитивања огледа се у маневрисању мотоцикла велике масе, при малим брзинама кретања. Регистроване су вредности убрзања на предњим точковима, као и промена угла управљача при уласку и изласку из круга (временски интервали од 22 до 28 s и од 23 до 28 s су додатно приказани). Приказ обављених мерења дат је табеларно (табеле 6.17, 6.18) и графички (дијаграми 6.17, 6.18).

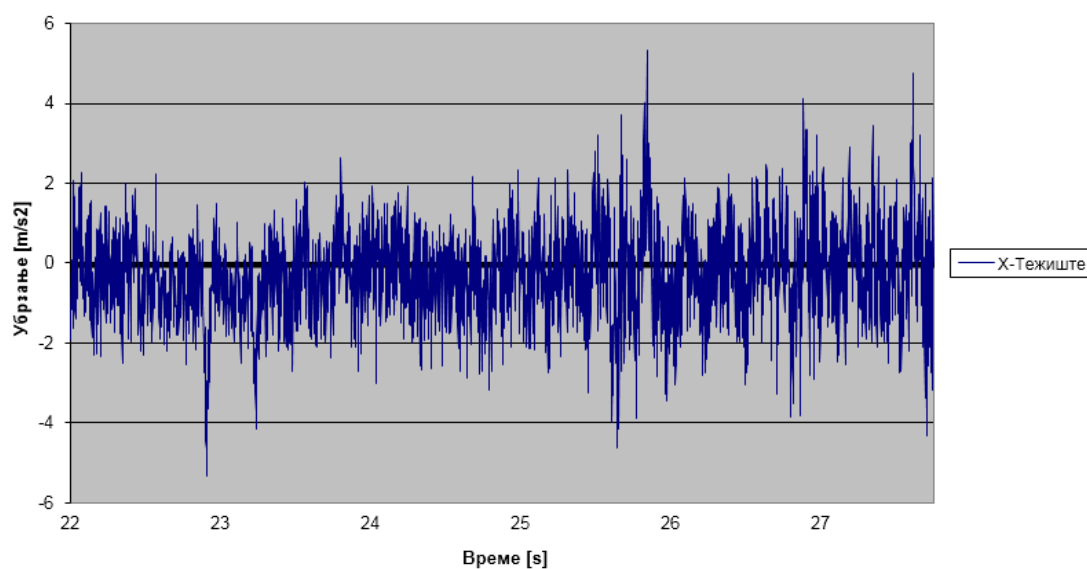
(VII) Вожња по кругу-десни круг - првим степеном преноса

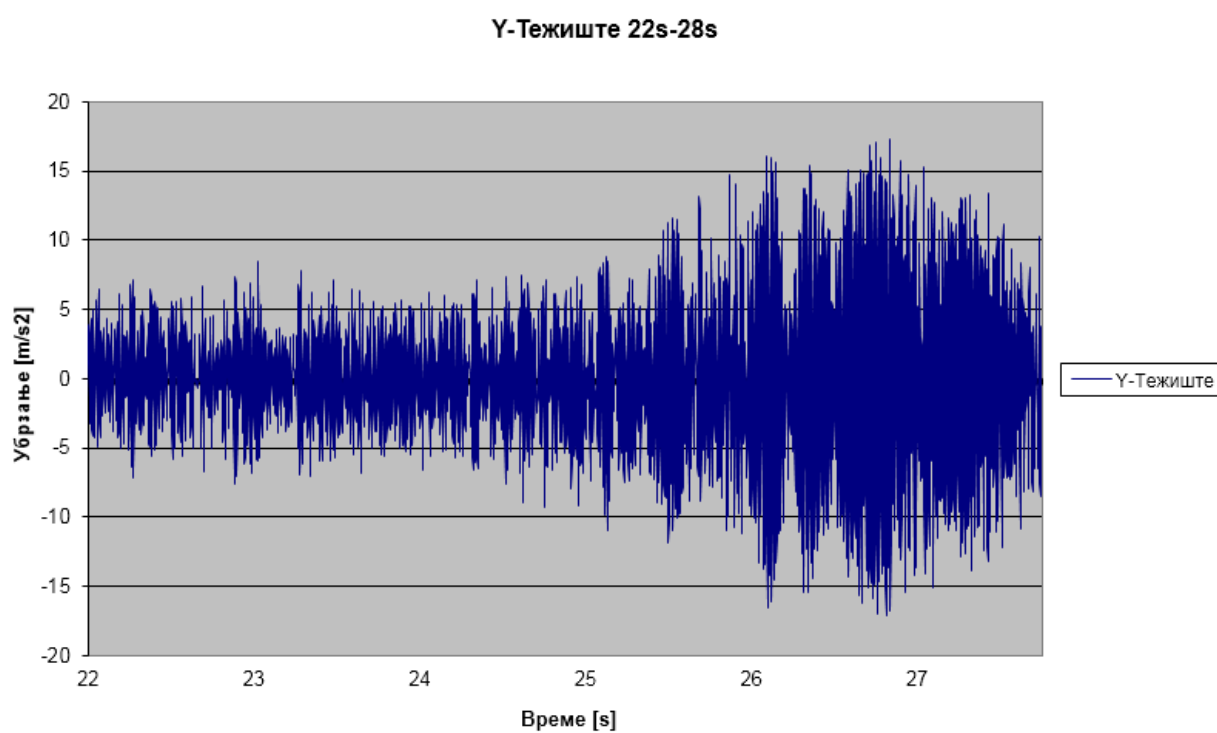
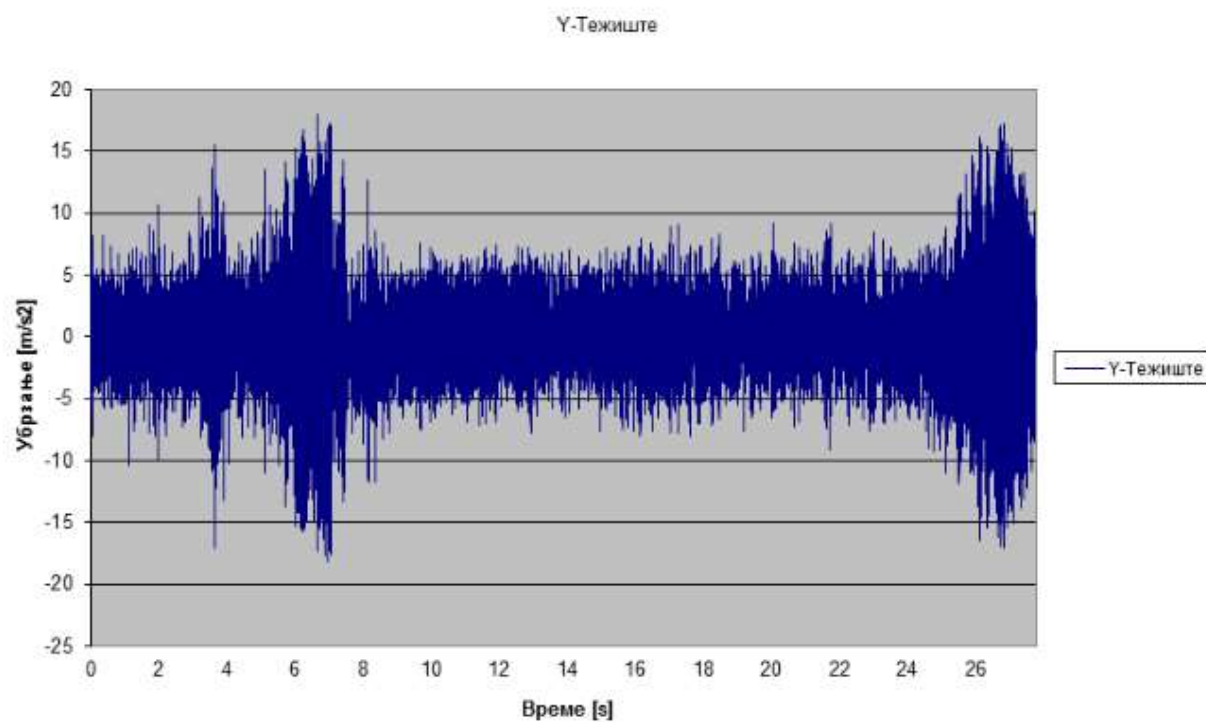
Табела 6.17 Вожња по кругу-десни круг - првим степеном преноса

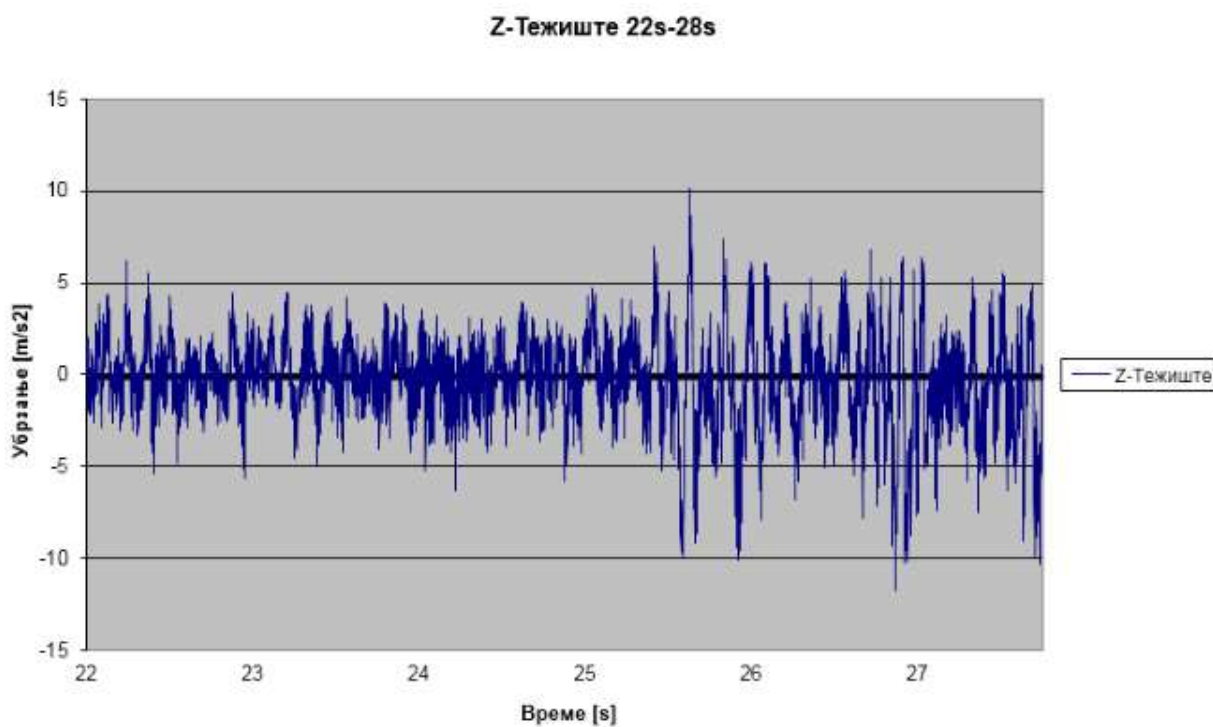
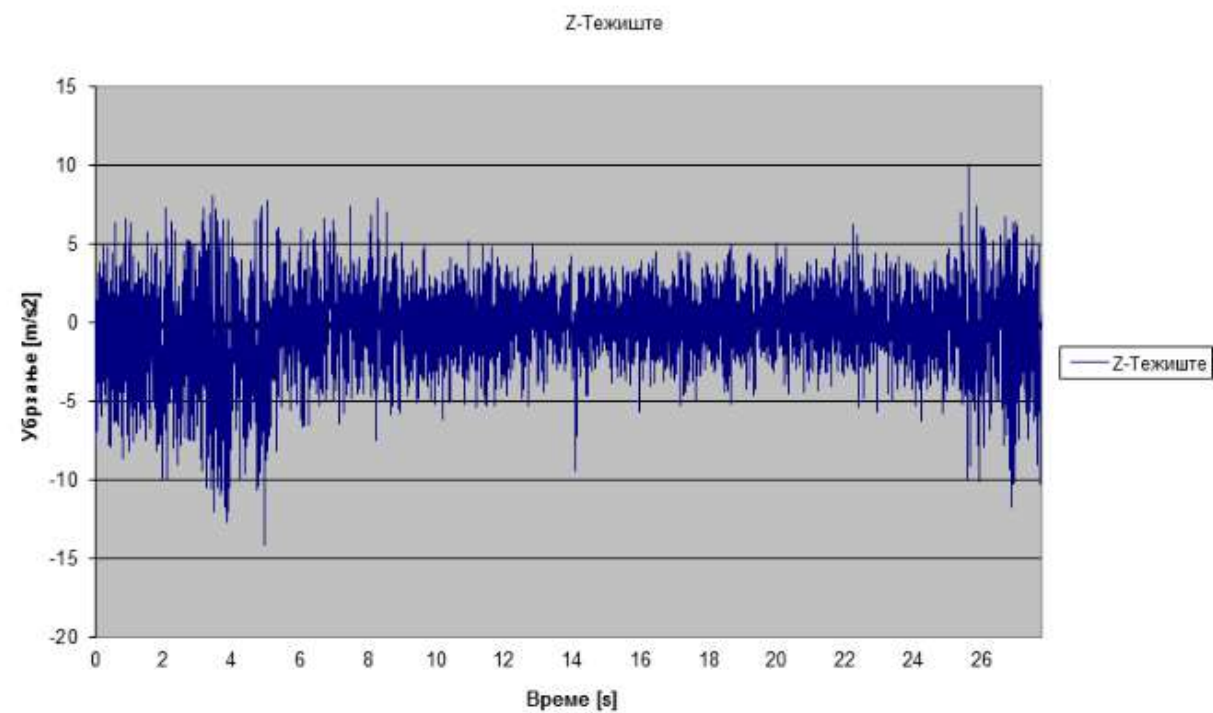
	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji tocak	Prednji tocak	Hod
Stdev	1.203376	4.416833	2.421961	4.213226	4.669137	2.141126
Average(ABS)	1.011959	3.405222	1.808367	2.600759	2.862085	1.879384
Average	-0.47016	0.099703	-0.1892	-0.02274	0.172891	-0.92786
RMS	1.291961	4.417958	2.42934	4.213288	4.672337	2.333525

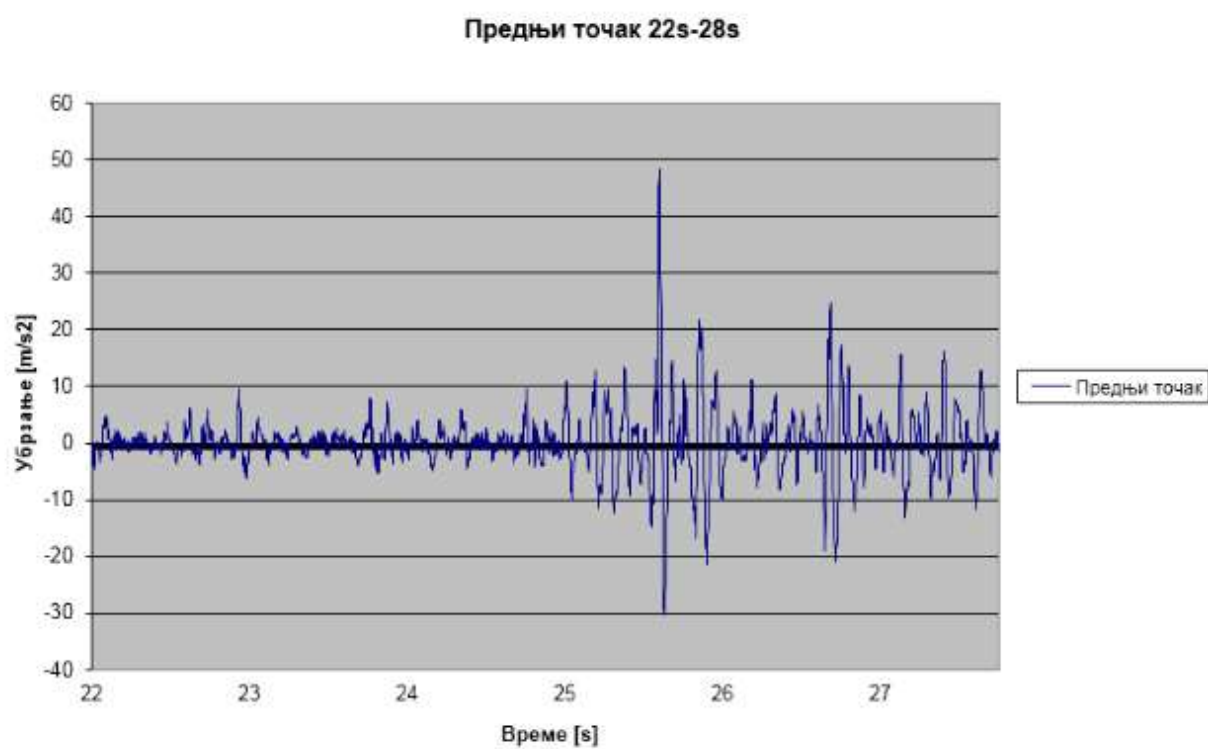
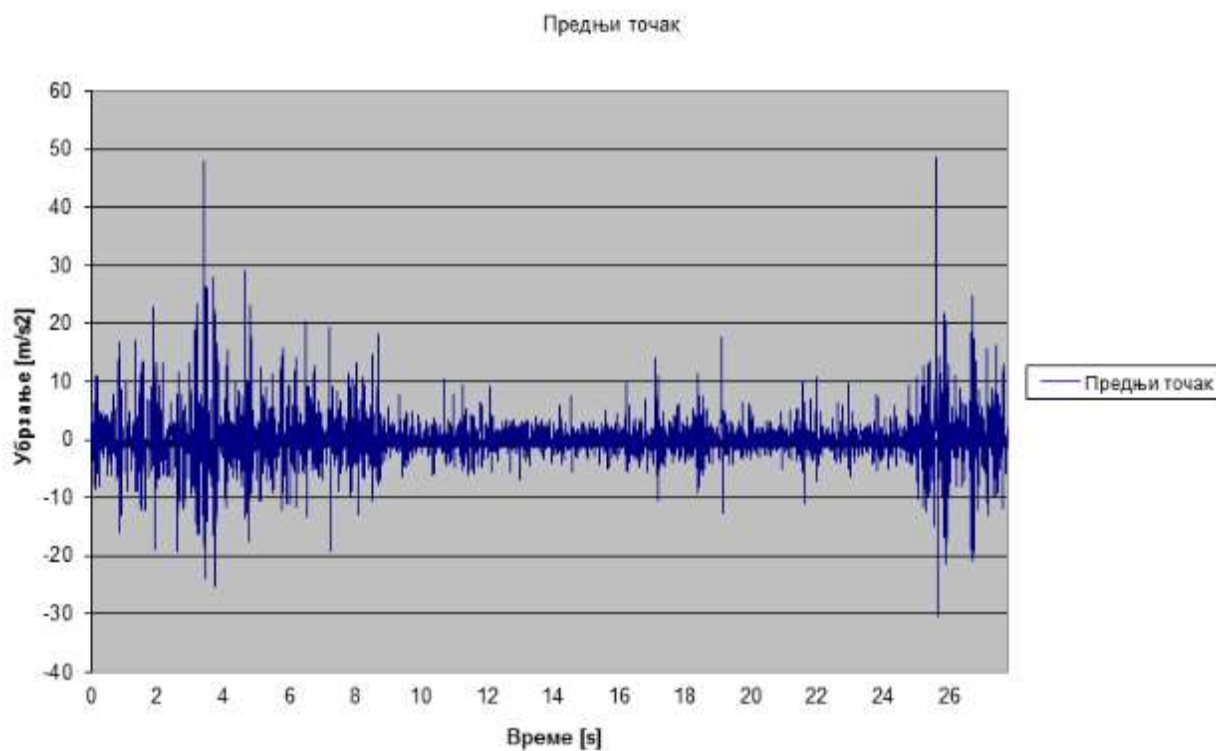


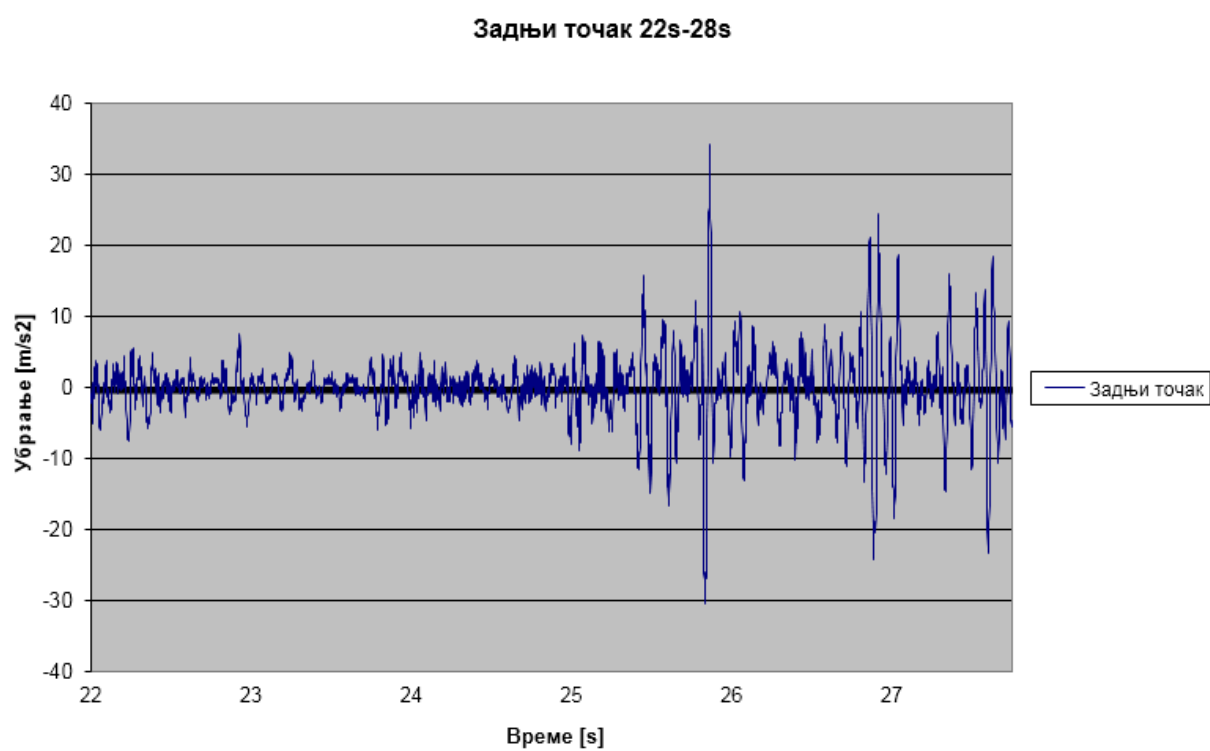
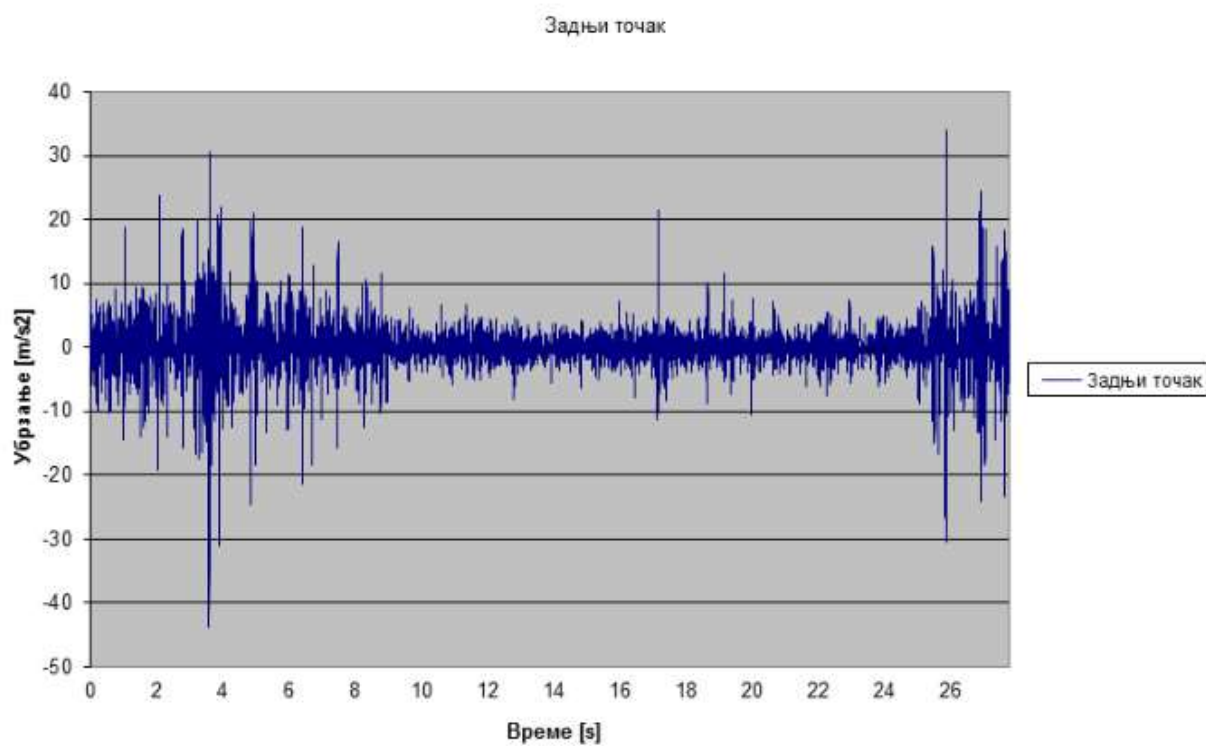
X-Тежиште 22s-28s

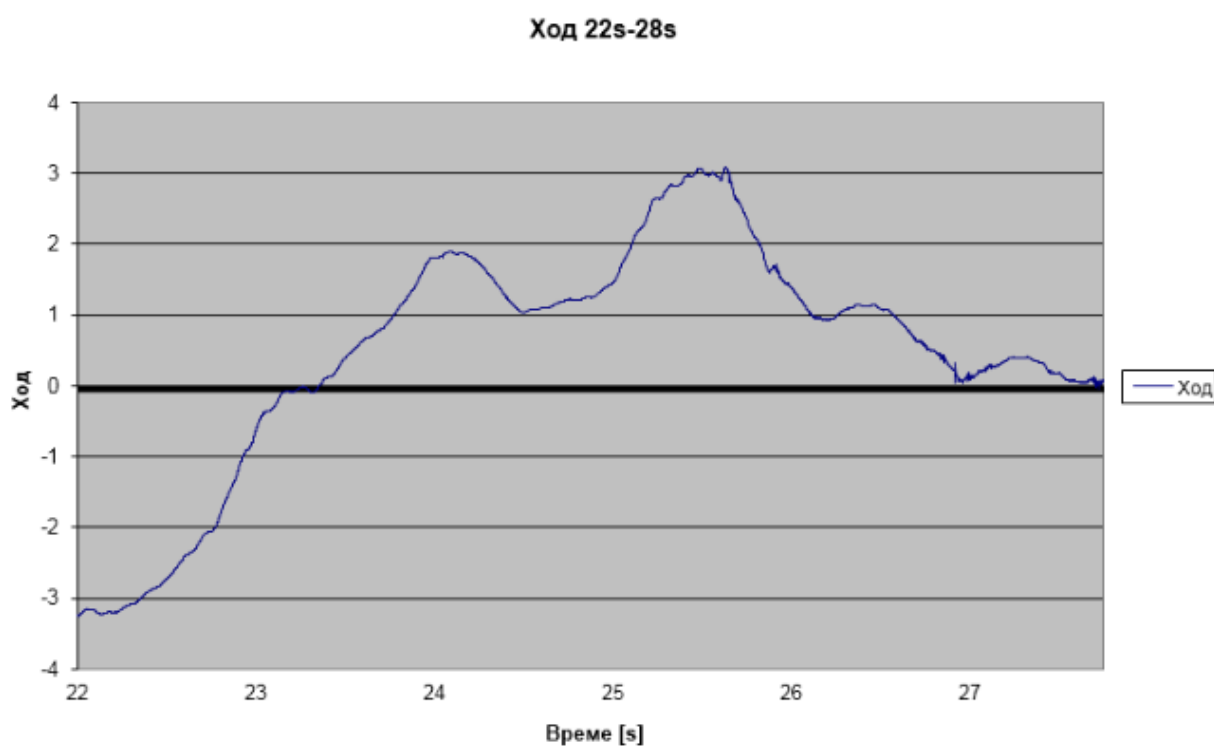
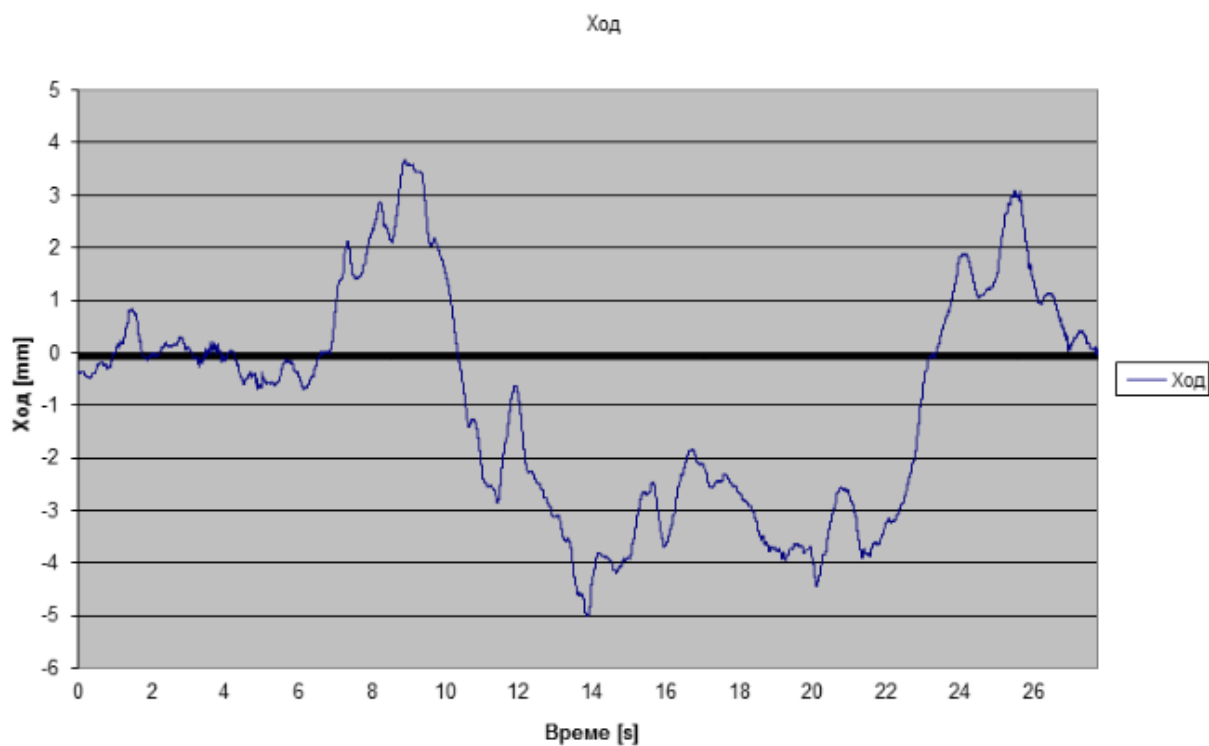










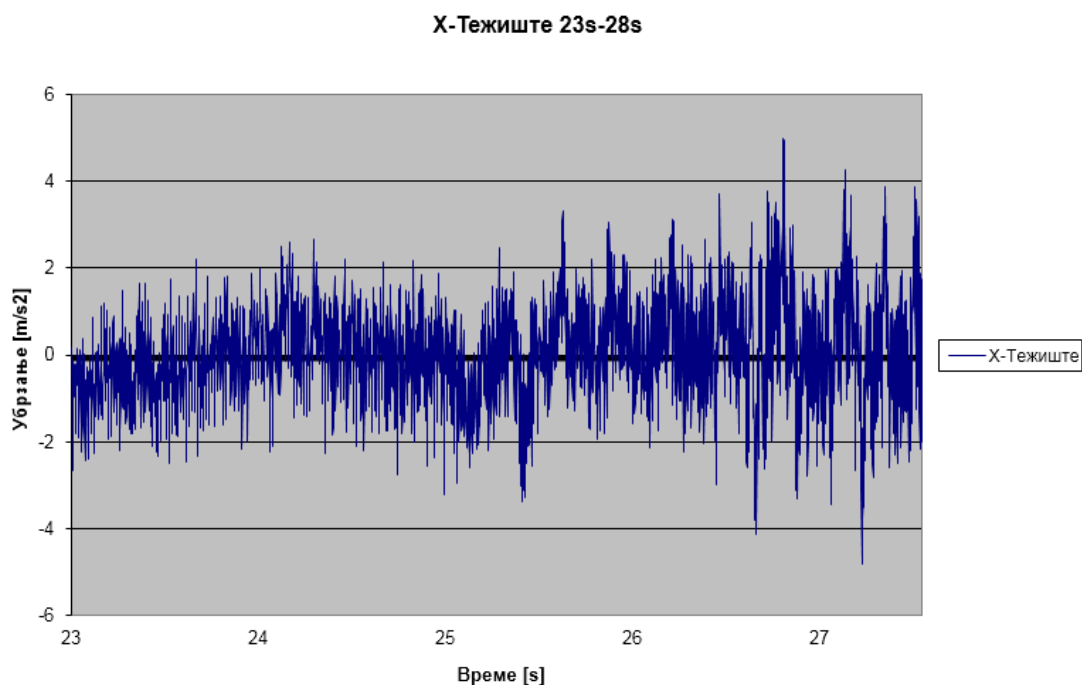
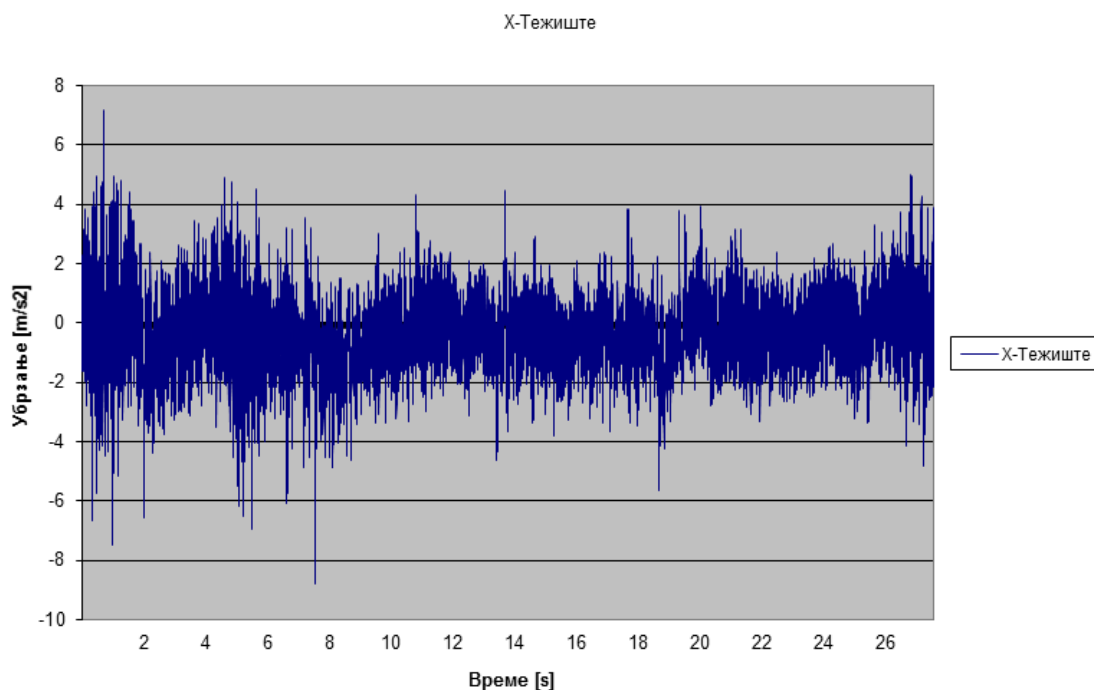


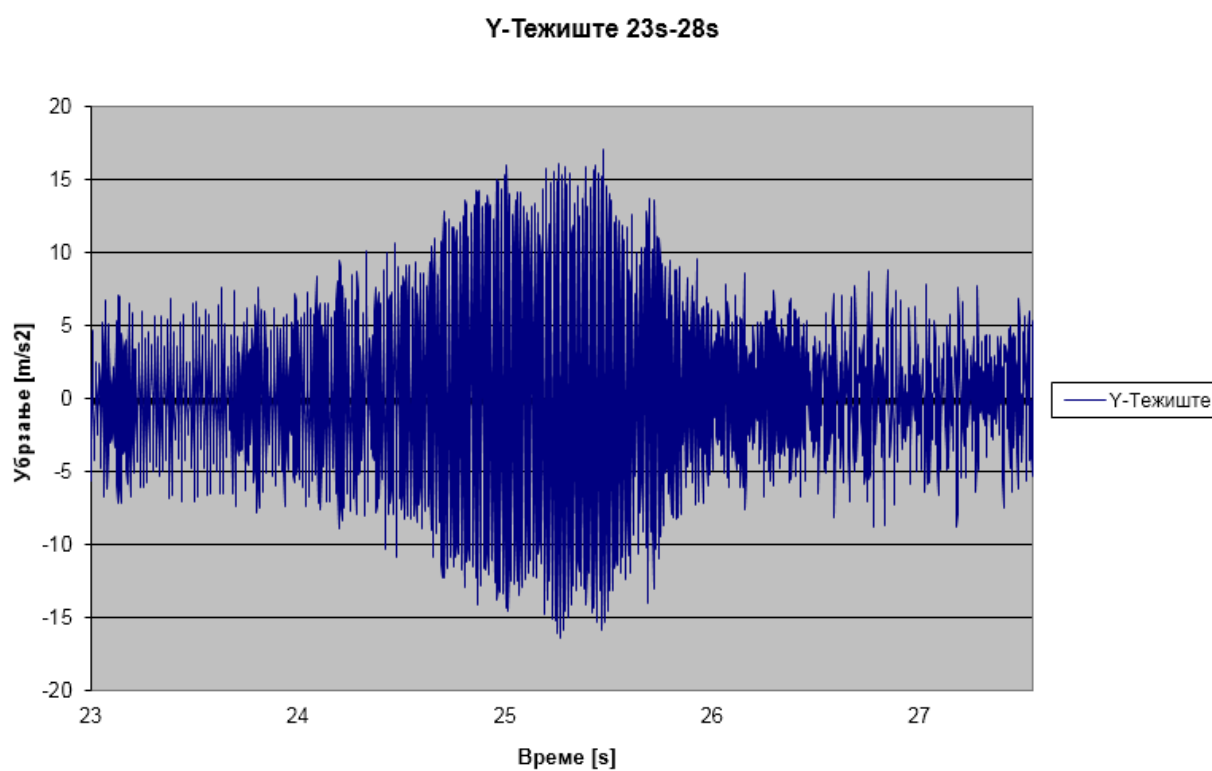
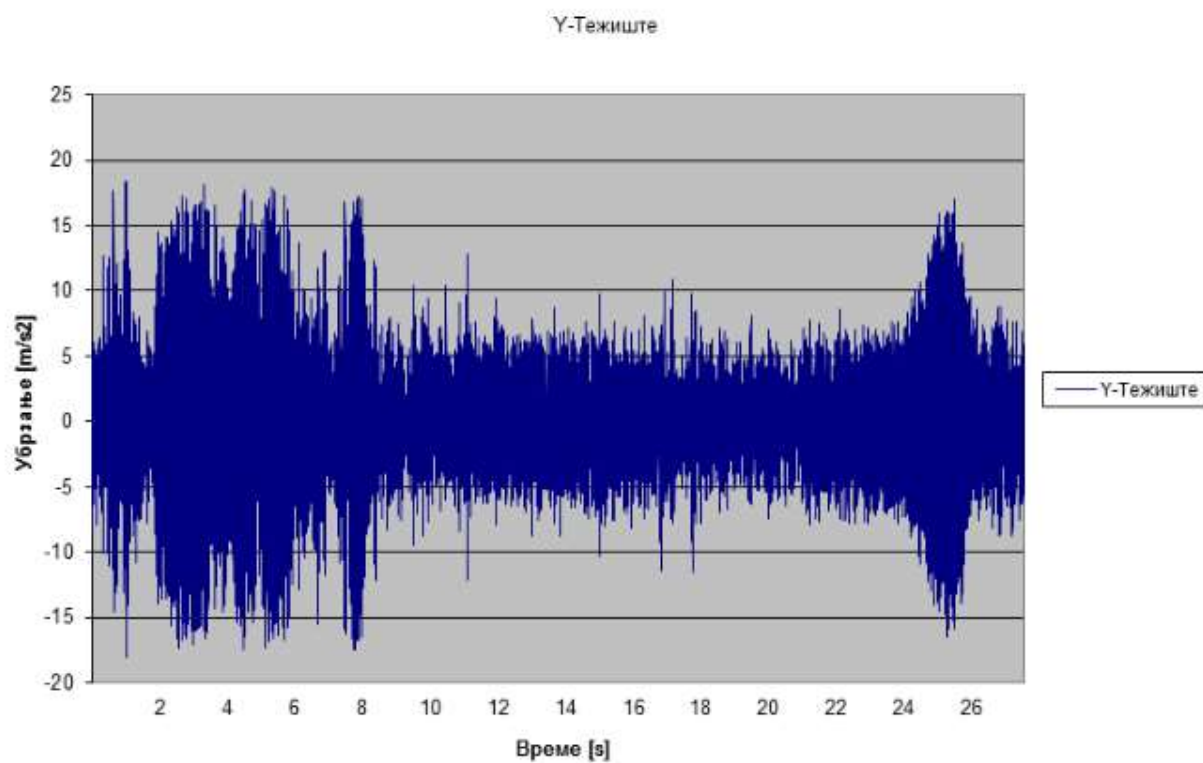
Дијаграм 6.17 Вожња по кругу-десни круг- првим степеном преноса

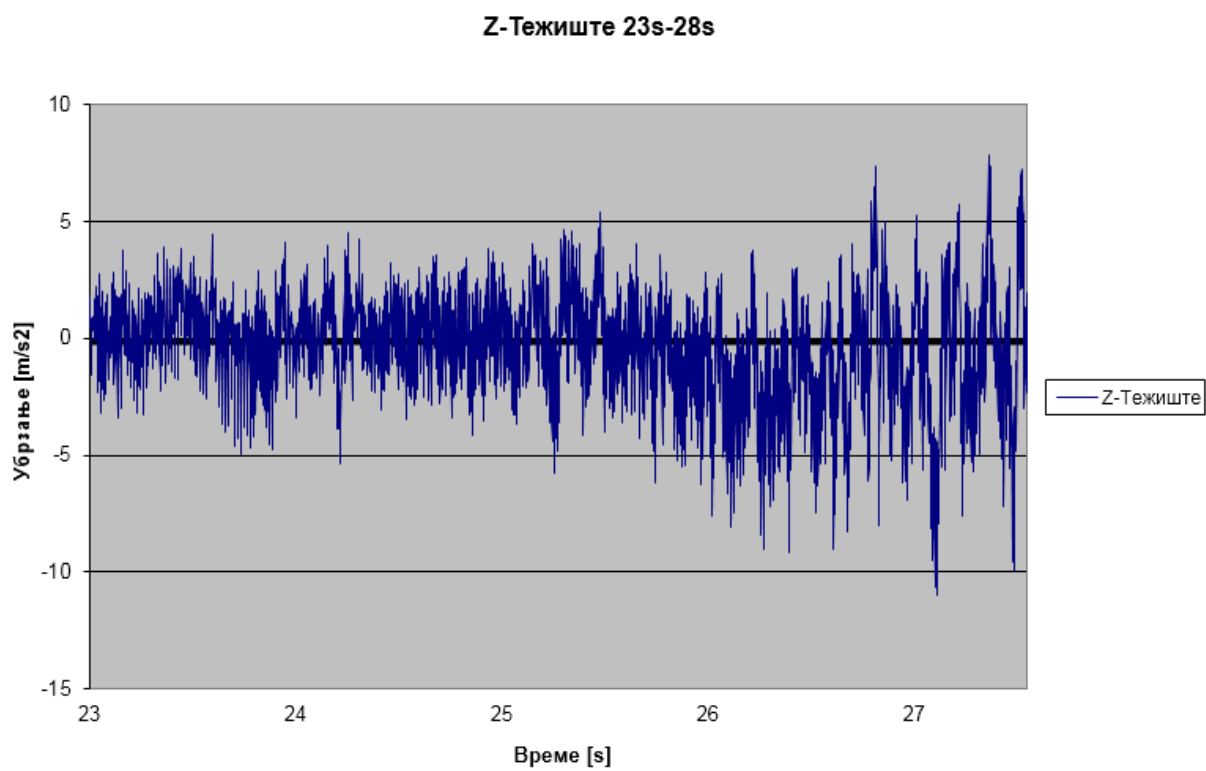
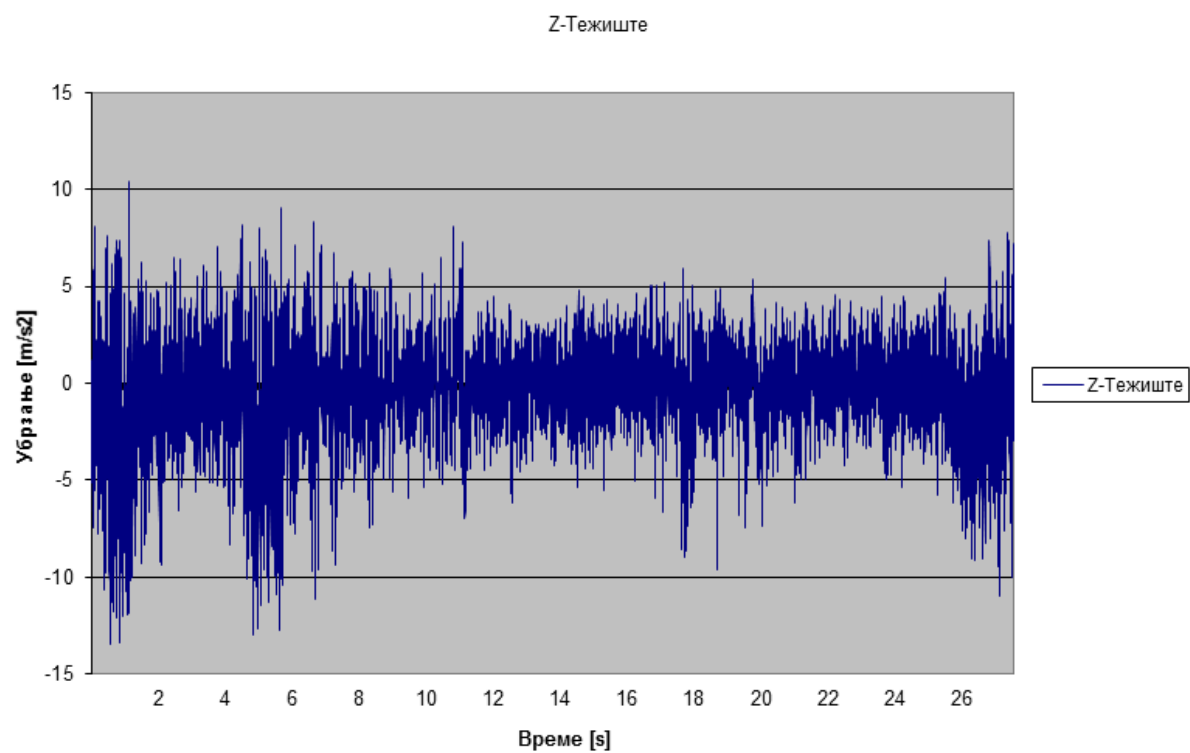
(VIII) Вожња по кругу-леви круг- првим степеном преноса

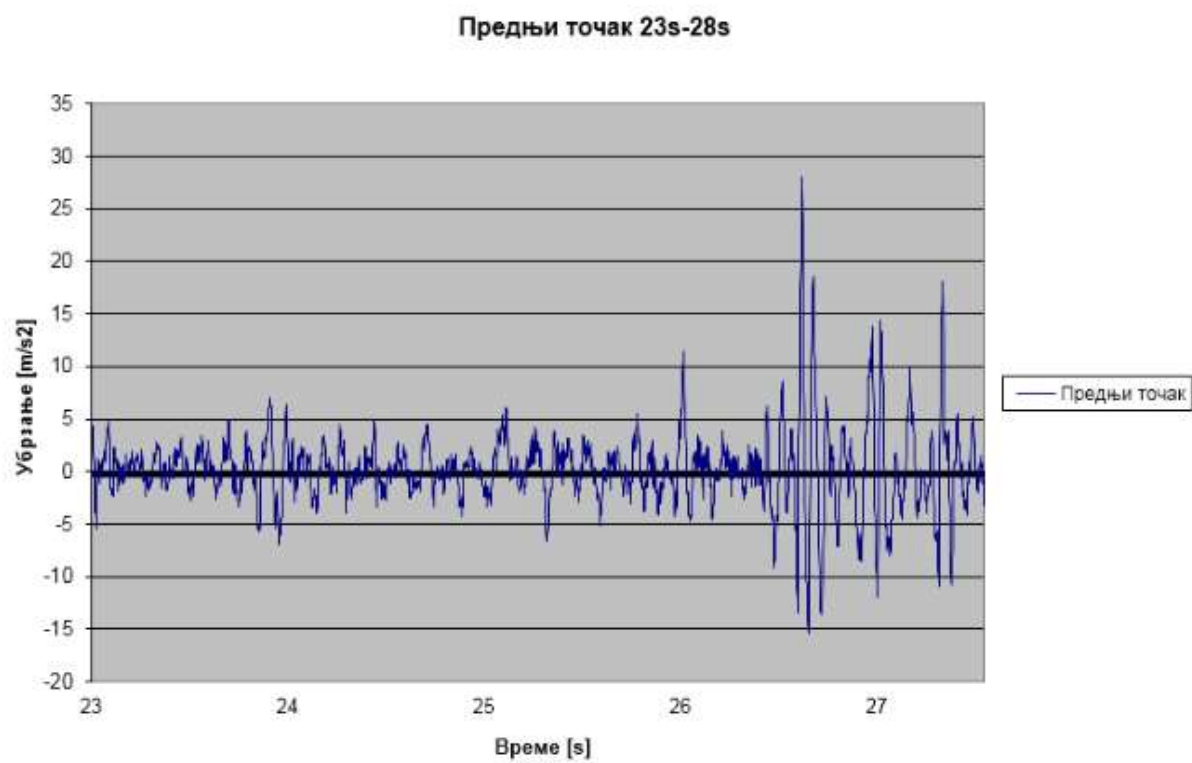
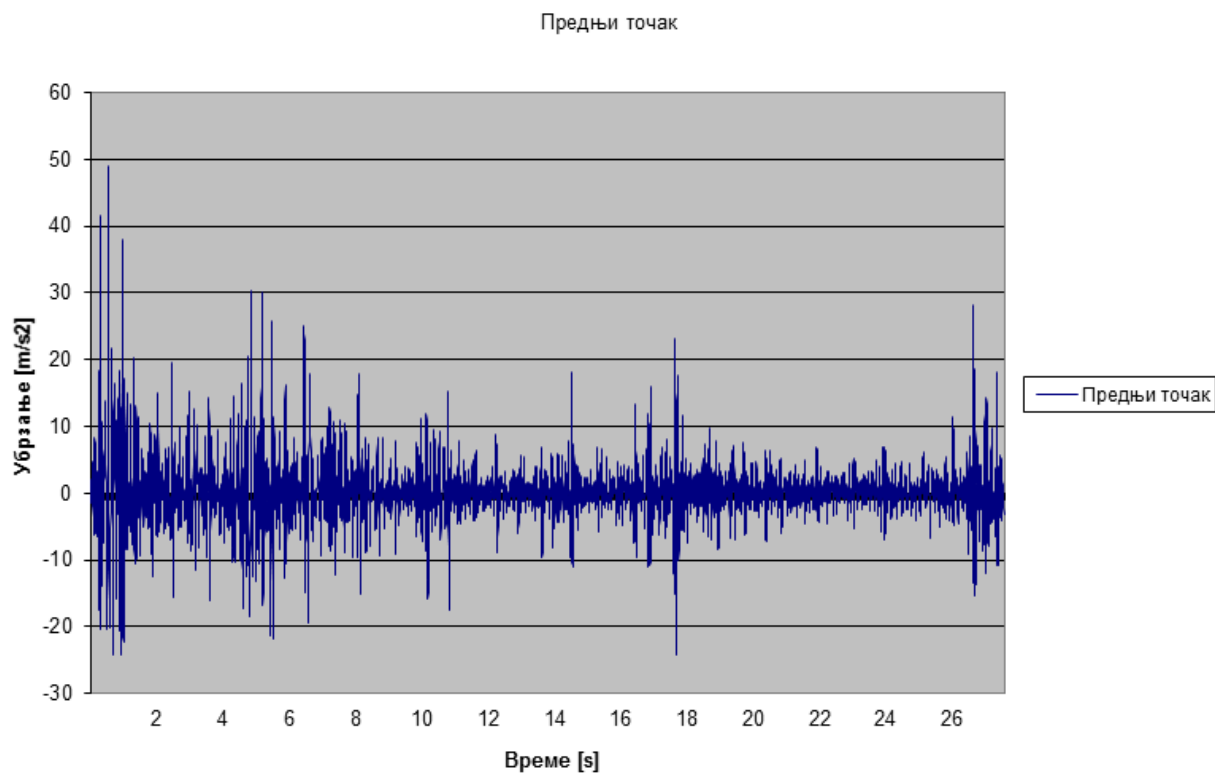
Табела 6.18 Вожња по кругу-леви круг- првим степеном преноса

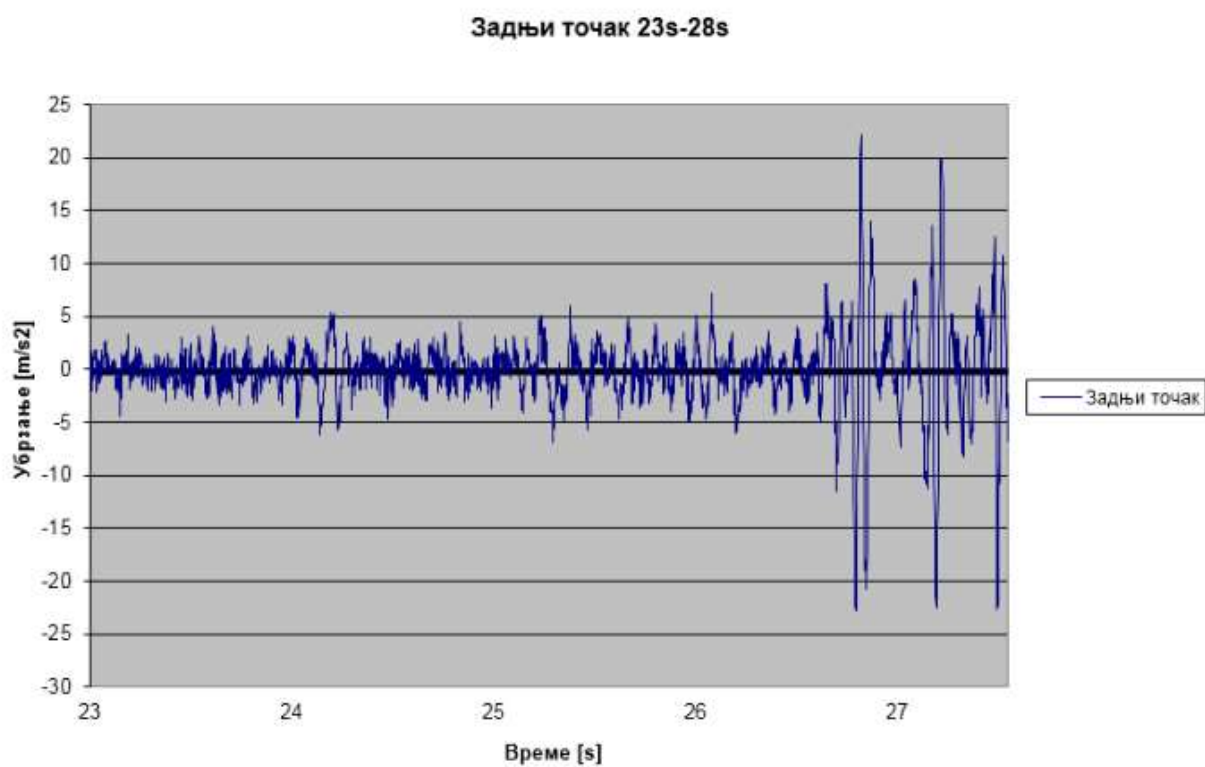
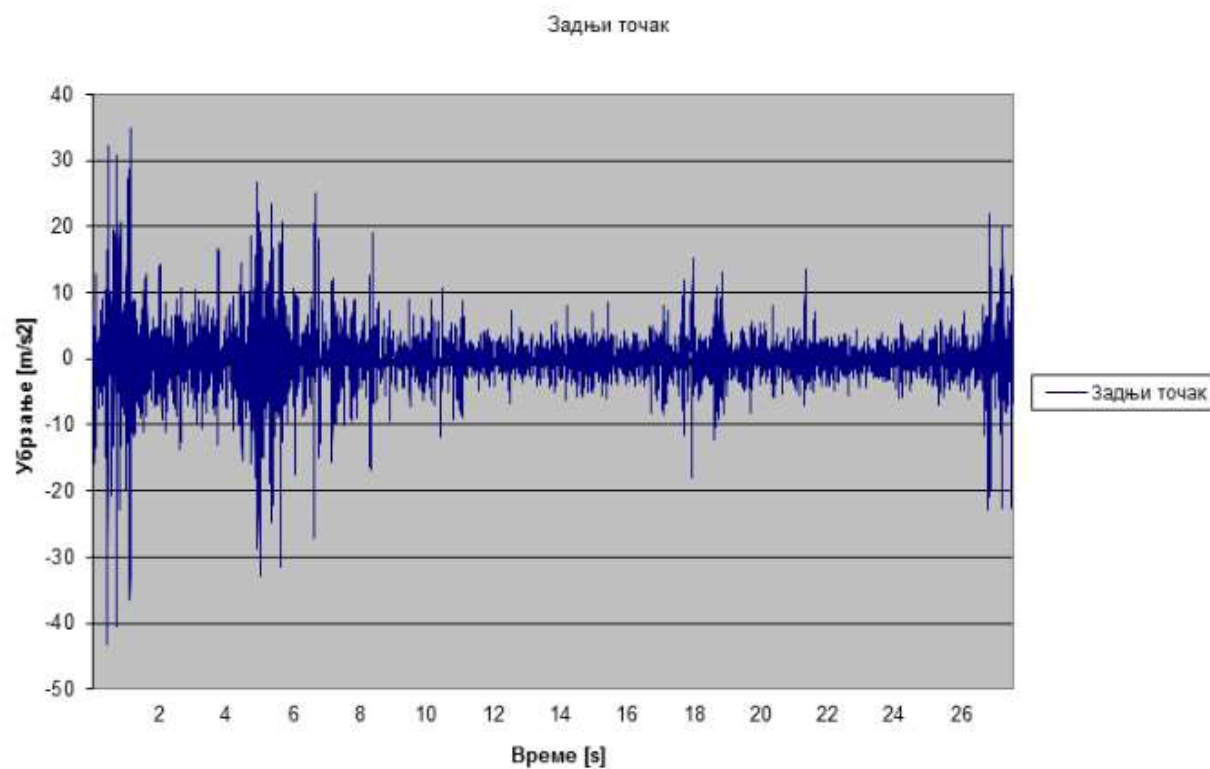
	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji tocak	Prednji tocak	Hod
StDev	1.004527	3.712469	1.793015	2.418065	2.586511	2.527066
Aver (ABS)	0.83368	3.09473	1.411639	1.69121	1.83585	3.10968
Average	-0.32712	0.026212	0.186064	-0.08353	0.311989	2.135299
RMS	1.056449	3.712562	1.802643	2.419508	2.60526	3.308408

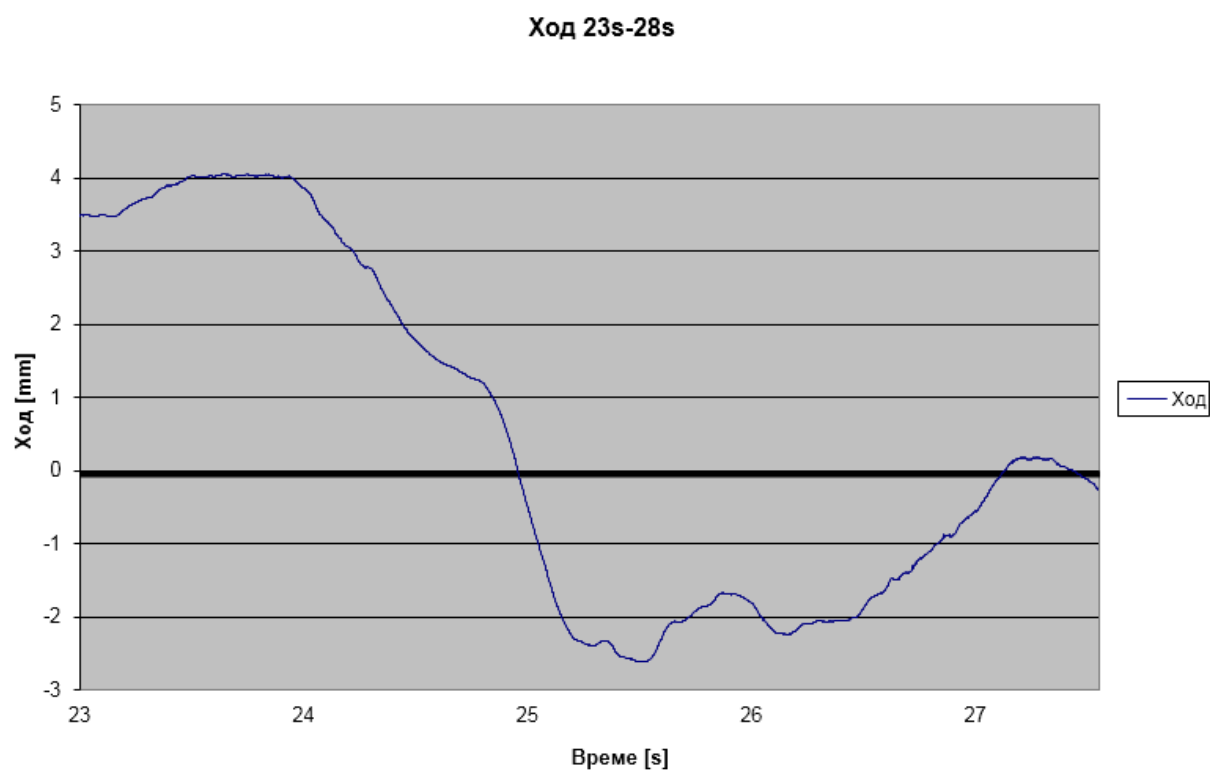
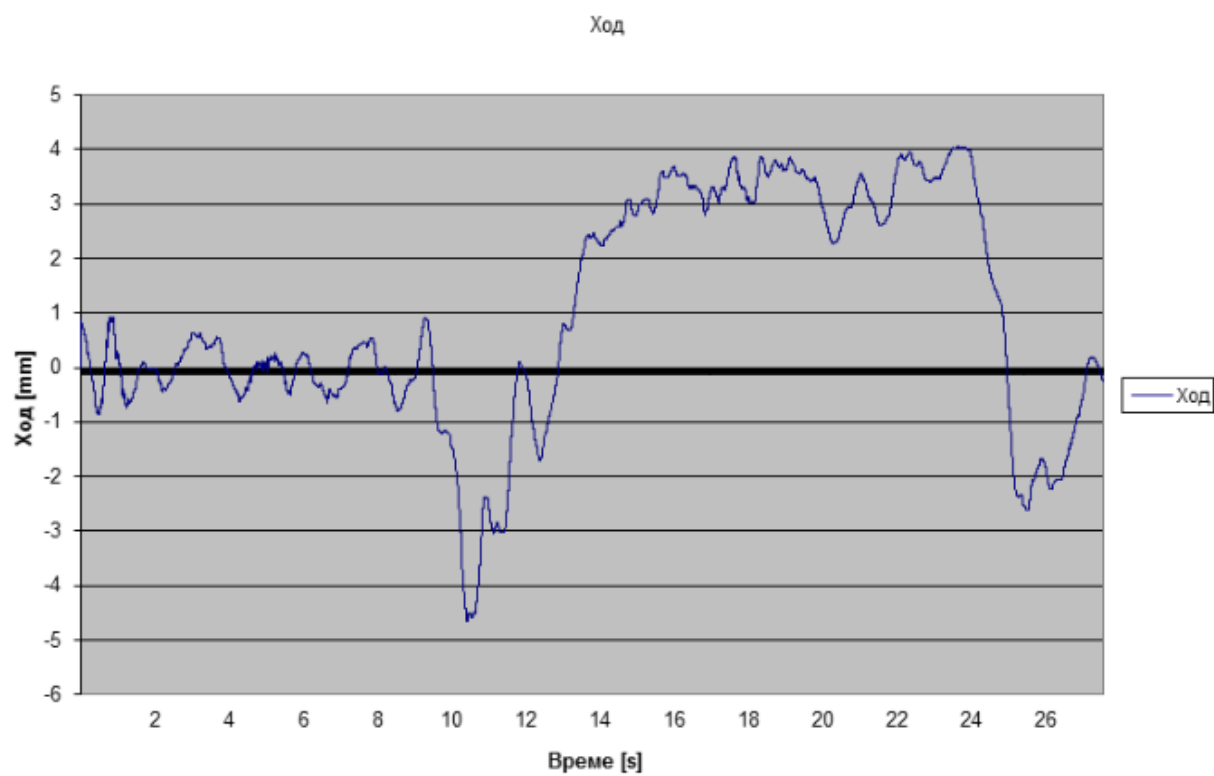












Дијаграм 6.18 Вожња по кругу-леви круг- првим степеном преноса

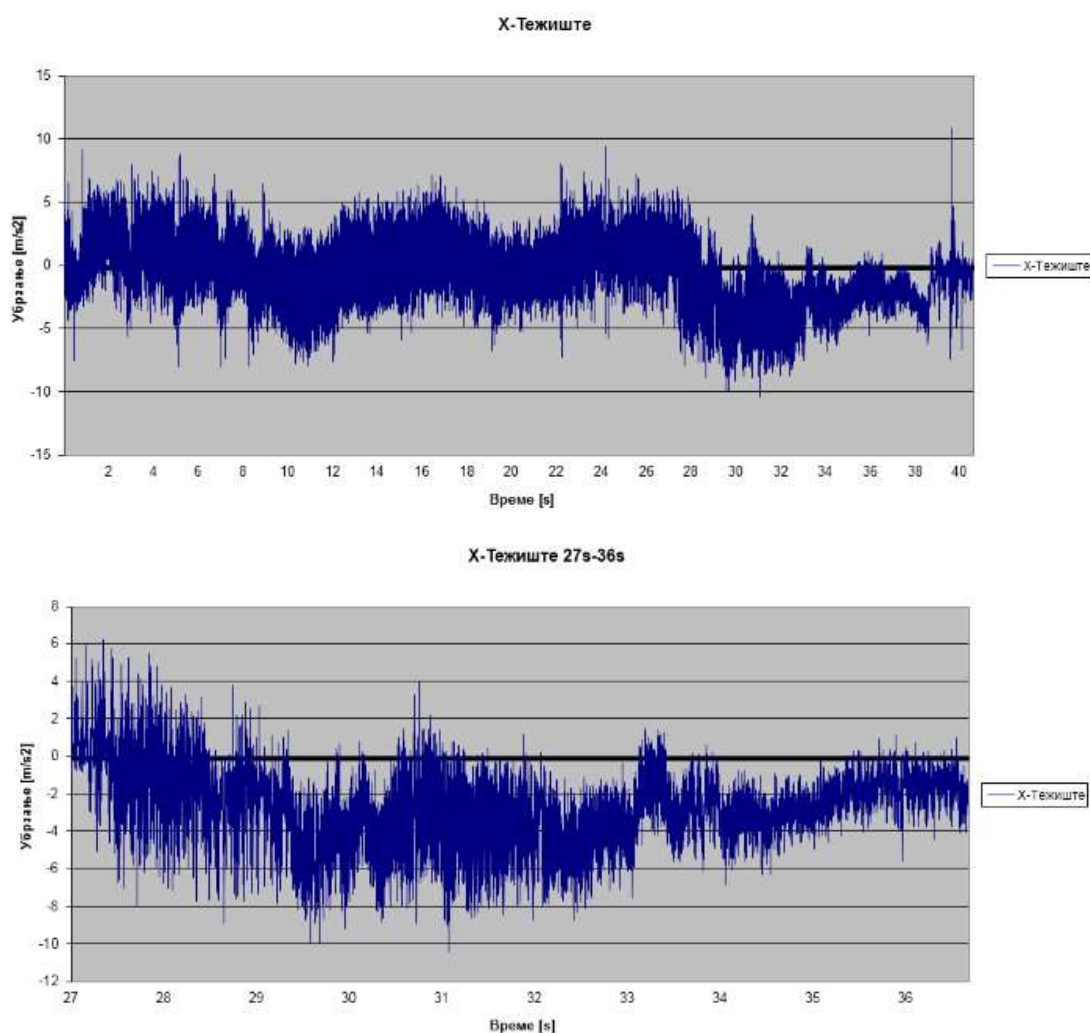
6.3.4. ИСПИТИВАЊЕ УБРЗАВАЊА-КОЧЕЊА

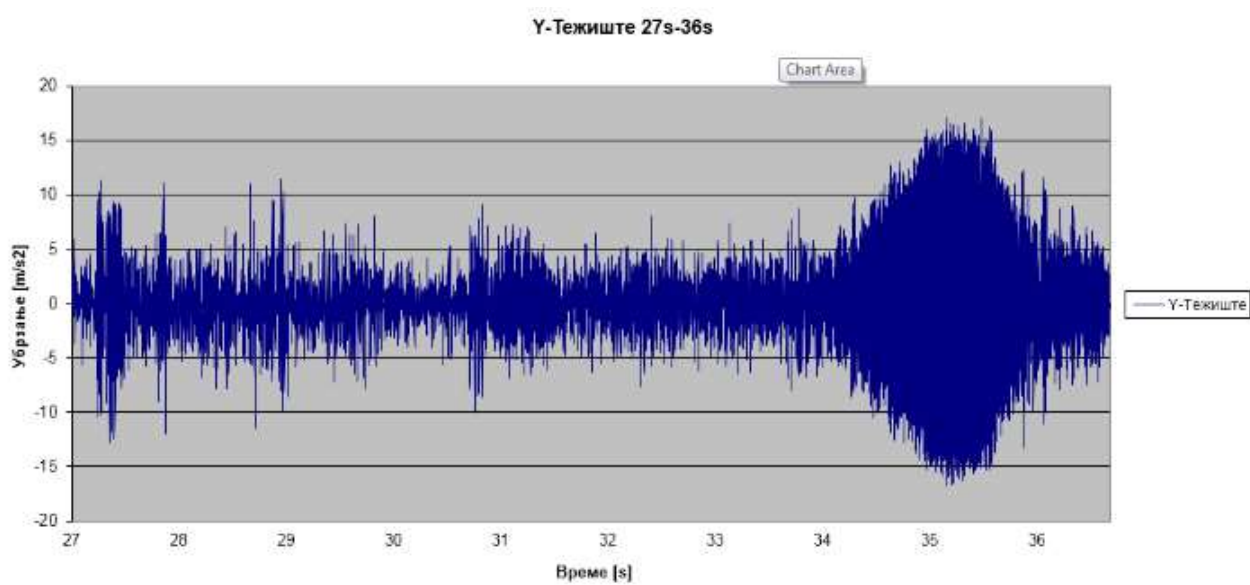
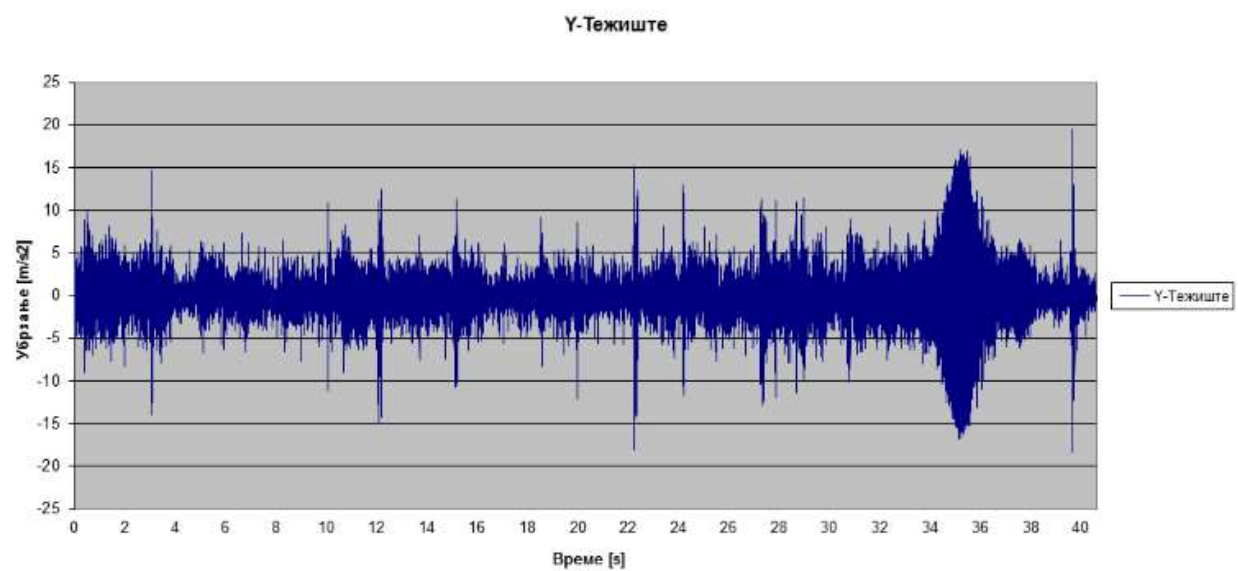
Ова група мерења мерења (мерење IX) је обављен на стази за возњу аутомобила „Шумадија сајам“ у Крагујевцу. У наведеном испитивању мотоцикл је убрзаван од 20 km/h до 150 km/h, а након тога је вршено интензивно кочење до 20 km/h. Једноосним давачима мерена су убрзања у тачковима, док је троосни давач мерио убрзања на мерном месту постављеном у тежишту система мотоциклист – мотоцикл. Додатно је посматран временски интервал од 27 s до 36s. Приказ обављених мерења дат је табеларно (табела 6.19) и графички (6.19).

(IX) Убрзавање од 20-150 km/h и кочење од 150-20 km/h

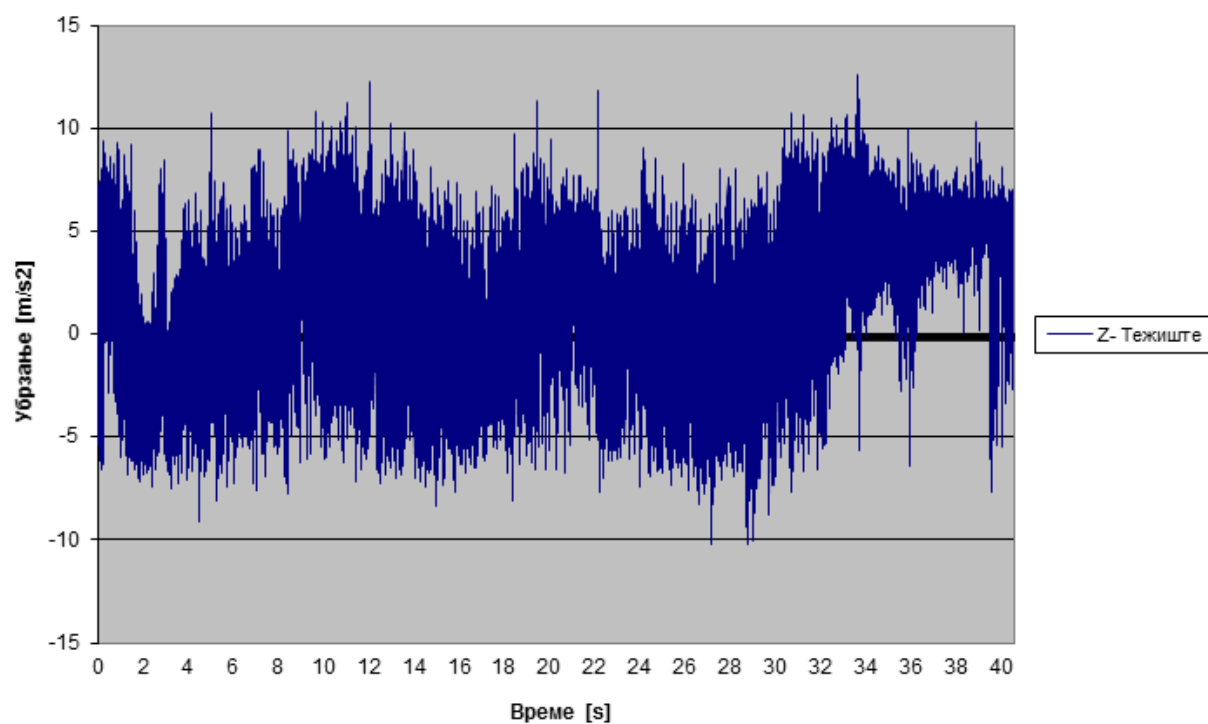
Табела 6.19 Убрзавање од 20-150 km/h и кочење од 150-20 km/h

	X-teziste	Y-teziste	Z- teziste	Zadnji tocak	Prednji tocak
StDev	2.588068	3.130062	3.595676	5.049511	4.400261
Aver(ABS)	2.105936	2.182015	3.151794	3.476049	2.90438
Average	-0.56405	0.009551	1.24684	0.013155	0.233111
RMS	2.64882	3.130077	3.805719	5.049528	4.406431

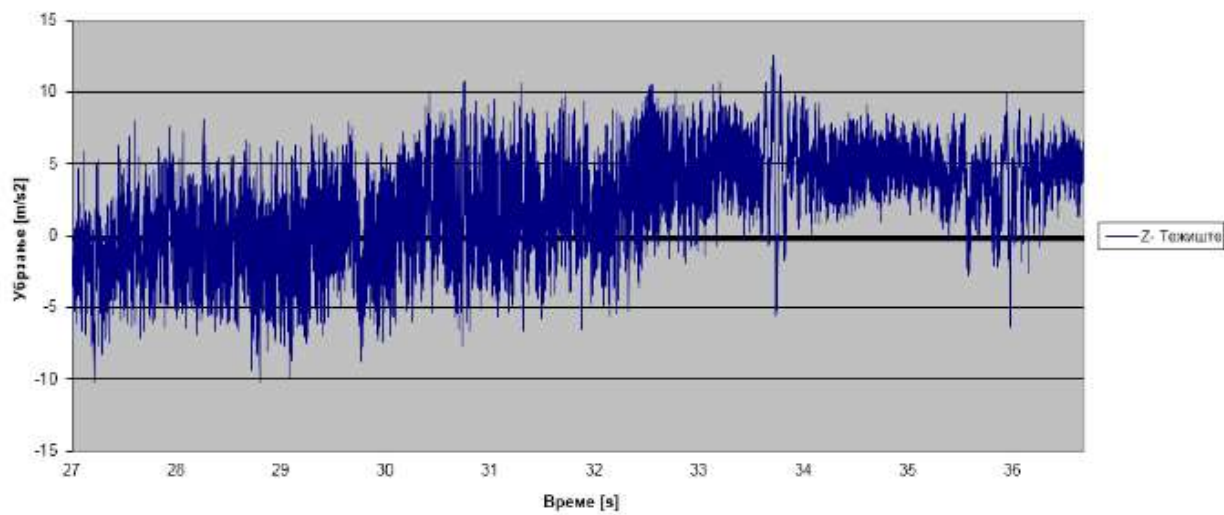




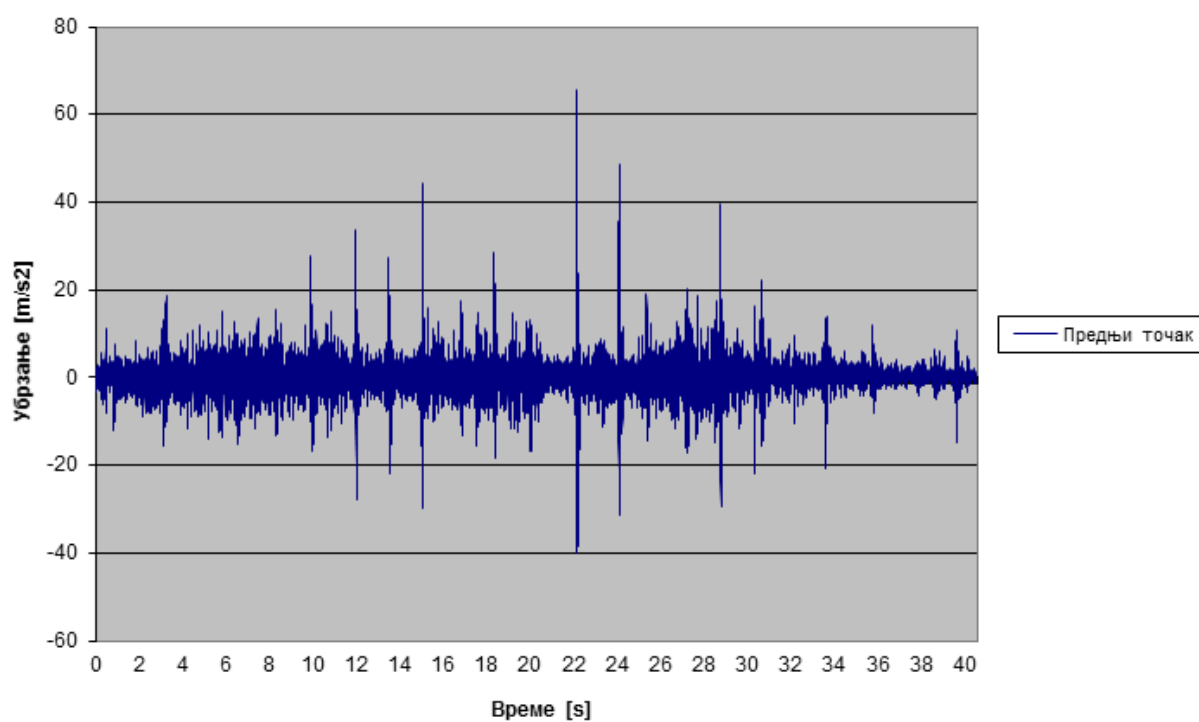
Z-Тежиште



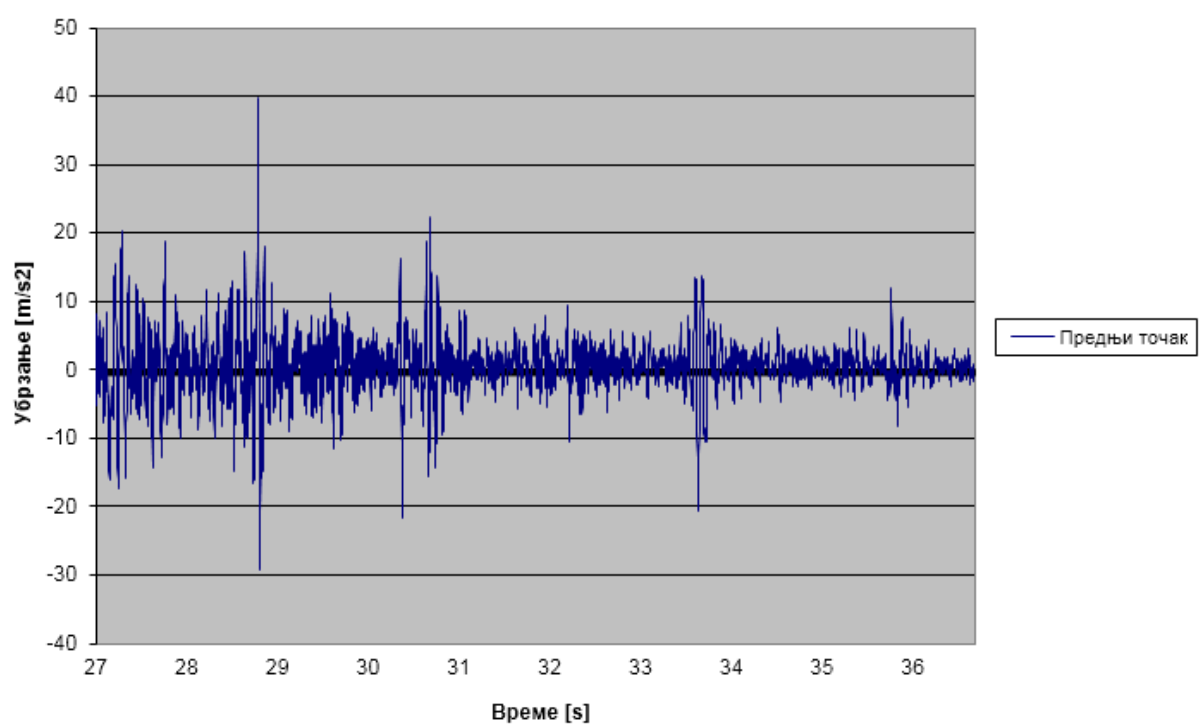
Z-Тежиште 27s-36s

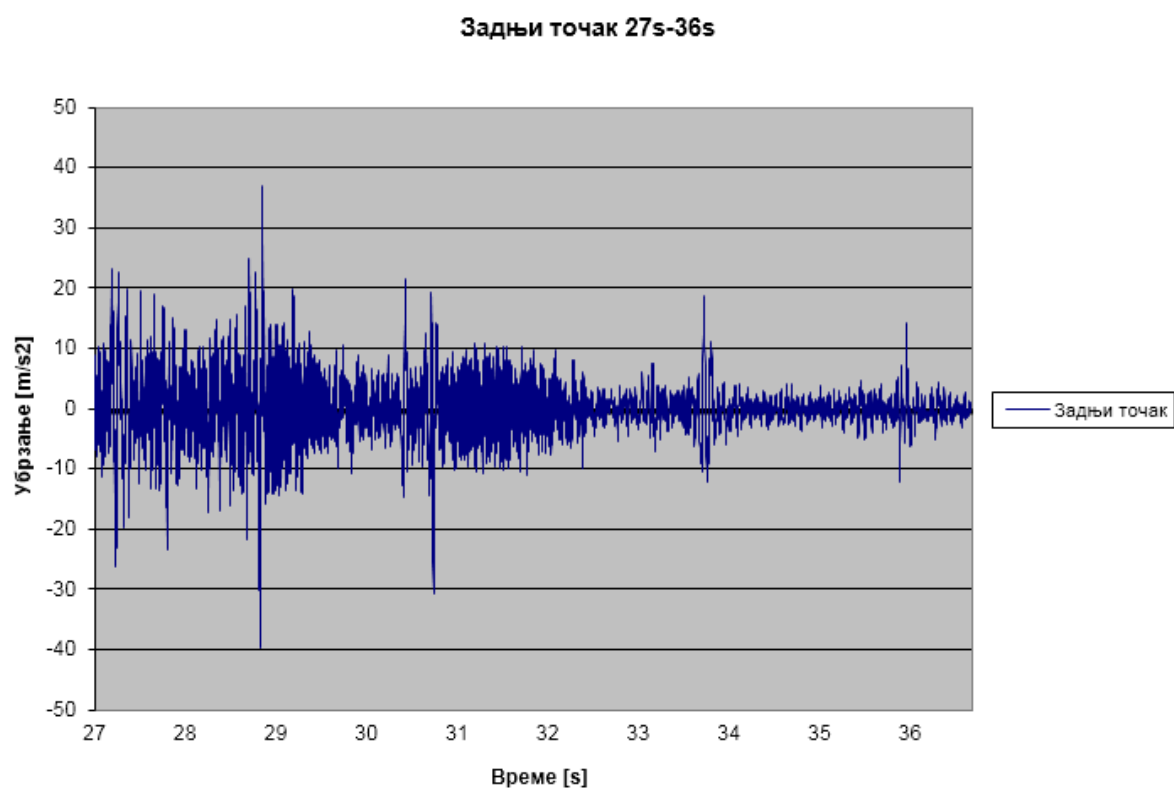
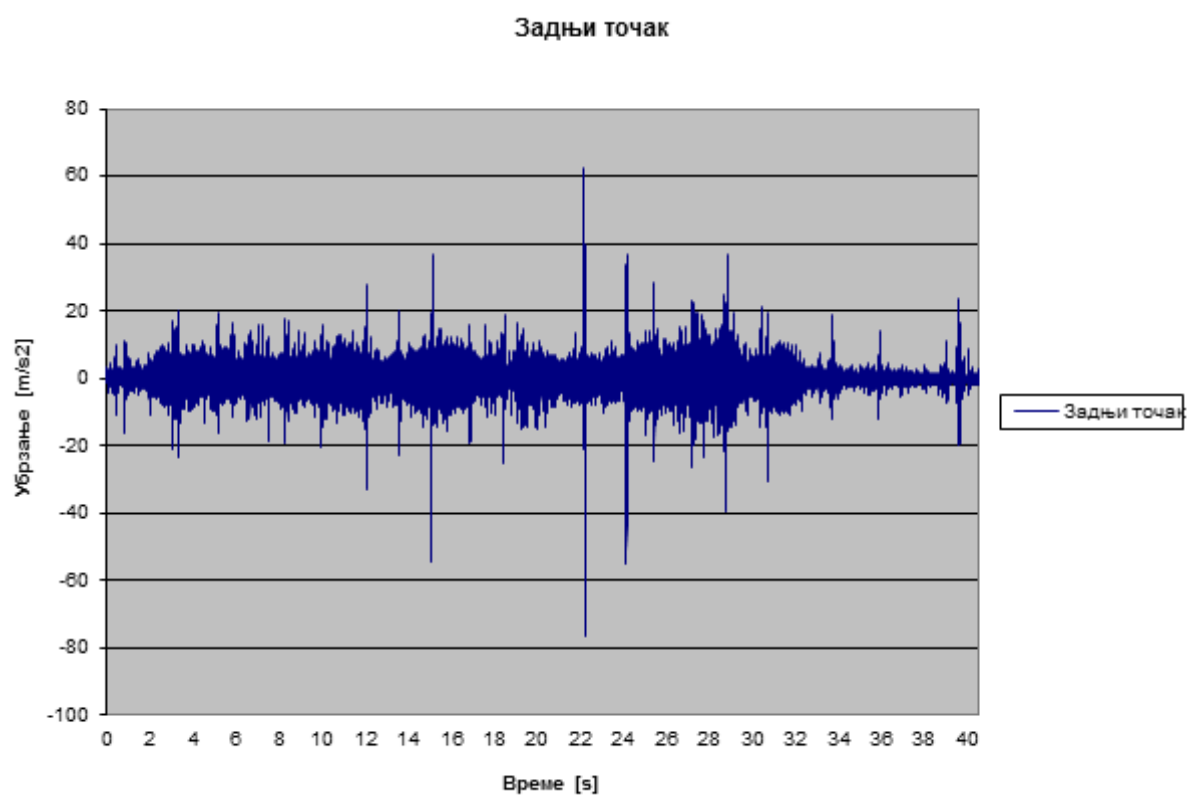


Предњи точак



Предњи точак 27s-36s





Дијаграм 6.19 Убрзавање од 20-150 km/h и кочење од 150-20 km/h

Четврти сегмент мерења (мерења X, XI, XII) је обављен на стази за вожњу ауто-мото трка „Шумадија сајам“ у Крагујевцу. Мотоцикл је у задатом режиму прелазио преко вертикалних побуда (ивичњак и денивелисан улични шахт). Брзина кретања мотоцикла преко ивичњака је била 17 km/h, а преко денивелисаног уличног шахта 30 km/h и 60 km/h. Једноосним давачима мерена су убрзања у точковима, док је троосни давач мерио убрзања на мерном месту постављеном у тежишту система мотоциклист – мотоцикл. На мотоциклу је такође био постављен и давач транслаторног померања на управљачу мотоцикла, помоћу кога може да се прати угао заокретања управљача.

Додатно су посматрани временски сегменти:

- прелаз преко ивичњака од 4s до 6s,
- прелаз преко денивелисаног уличног шахта за брзине од 30 km/h и 60 km/h од 3s до 5s.

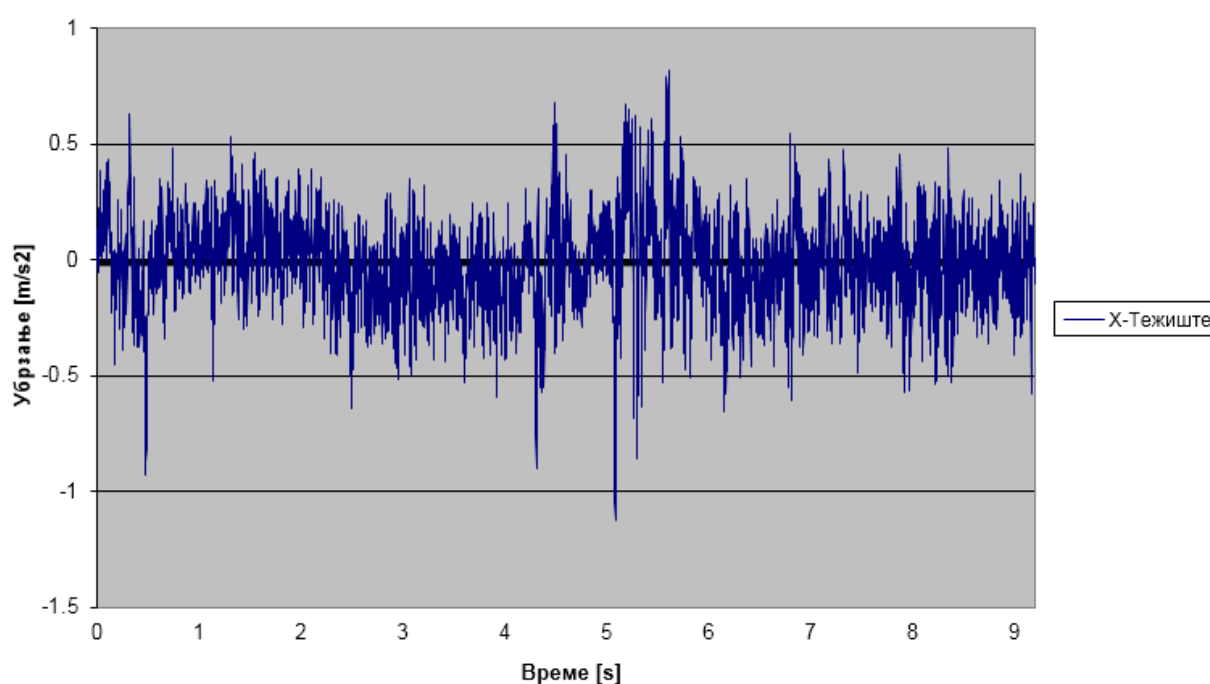
Приказ обављених мерења дат је табеларно (табеле 6.20, 6.21, 6.22) и графички (дијаграми 6.20, 6.21, 6.22).

(X) Вожња преко вертикалне побуде (ивичњак) при брзини од 17 km/h

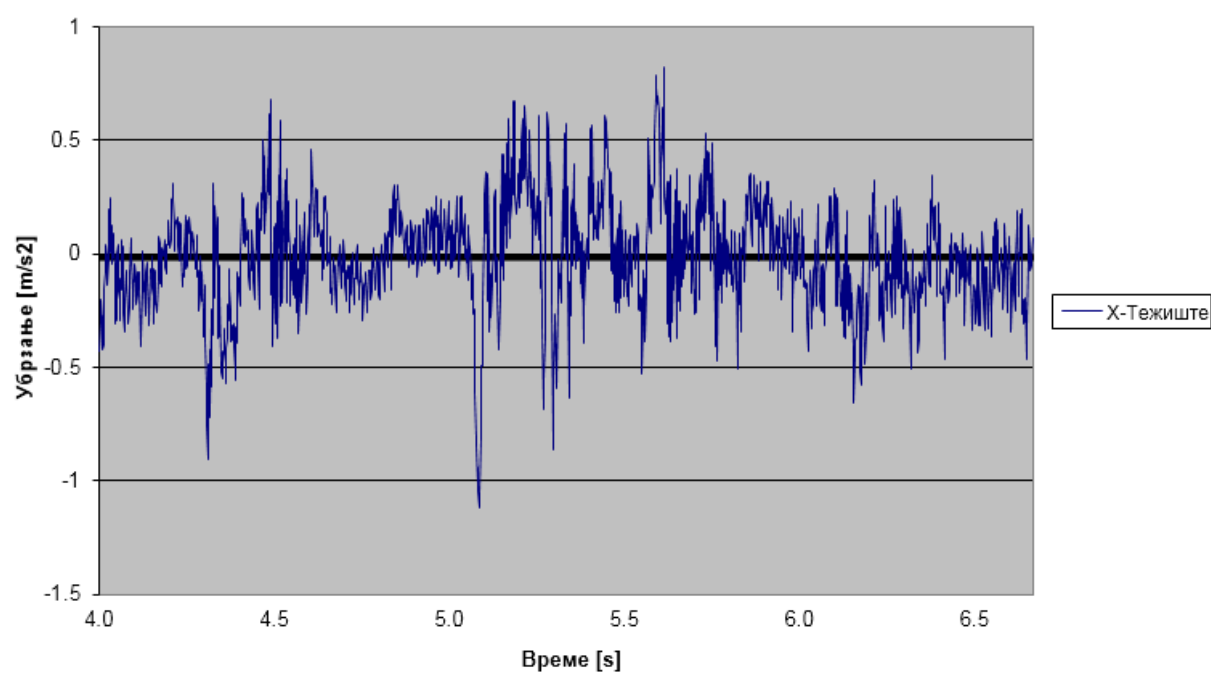
Табела 6.20 Вожња преко вертикалне побуде (ивичњак) при брзини од 17 km/h

	X-teziste	Y-teziste	Z-teziste	Zadnji tocak	Prednji tocak	Hod
StDev	1.461643	8.309823	3.196446	5.511546	5.607192	0.497171
Aver(ABS)	1.111388	7.112283	2.397156	3.091817	5.202963	0.406811
Average	-0.1925	0.136311	-0.64777	0.035729	4.34172	0.117198
RMS	1.474264	8.310941	3.261422	5.511662	7.091624	0.510798

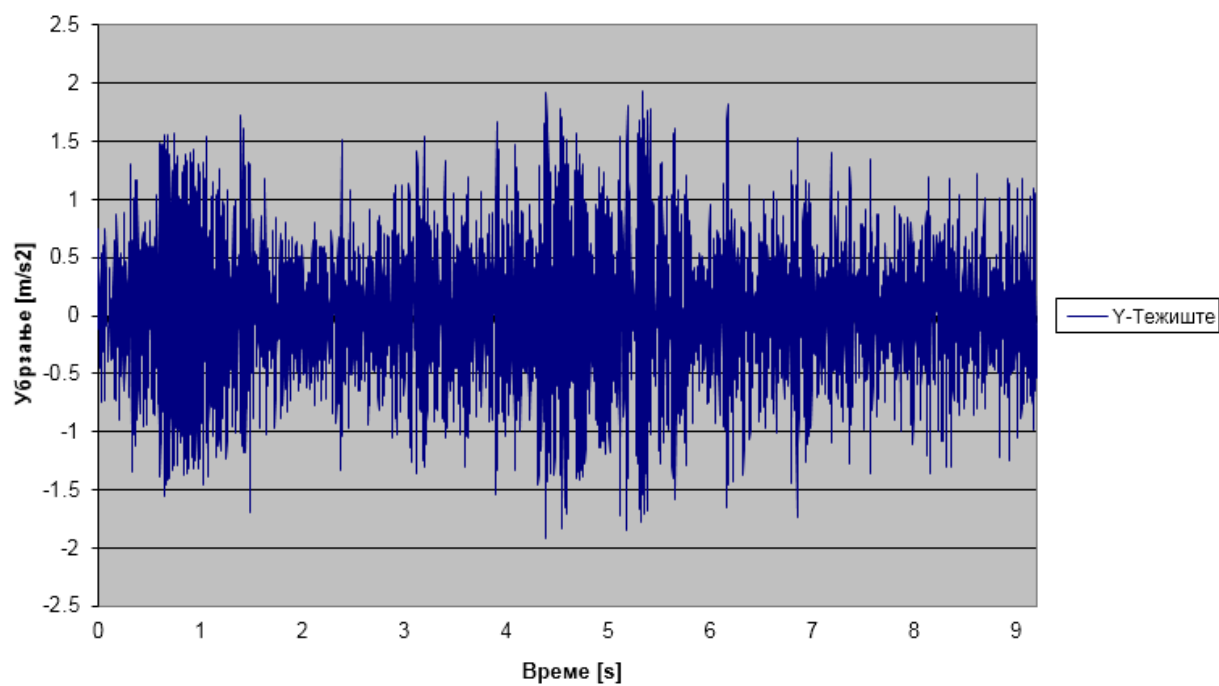
X-Тежиште



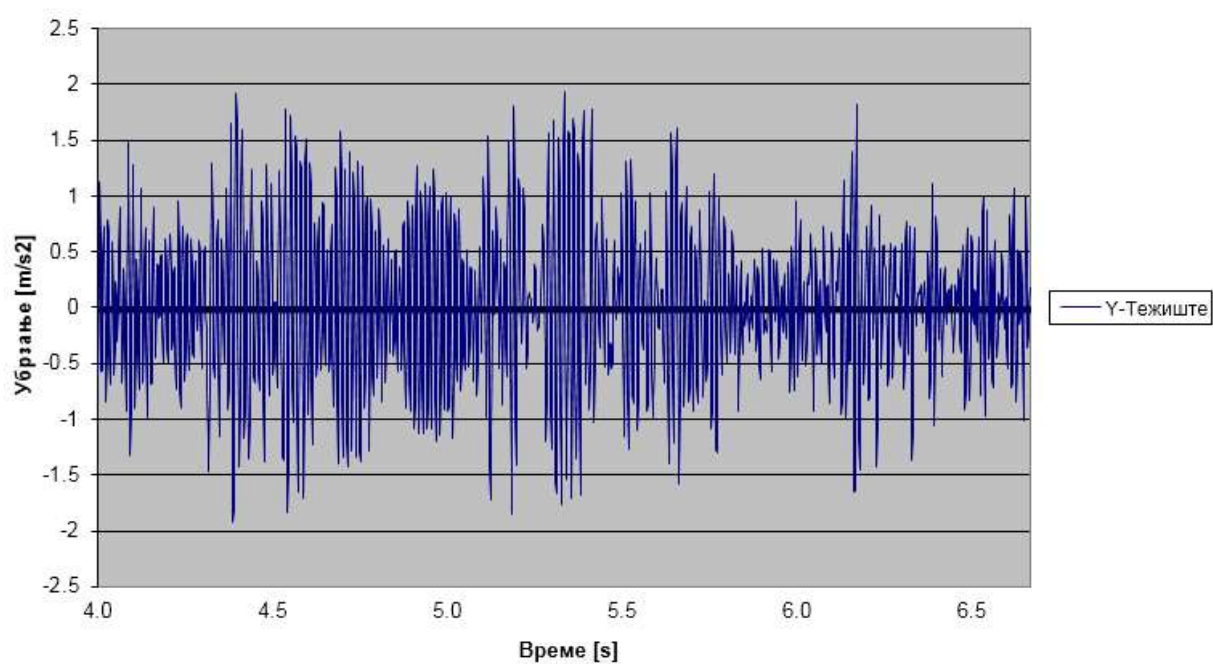
X-Тежиште 4s-6s



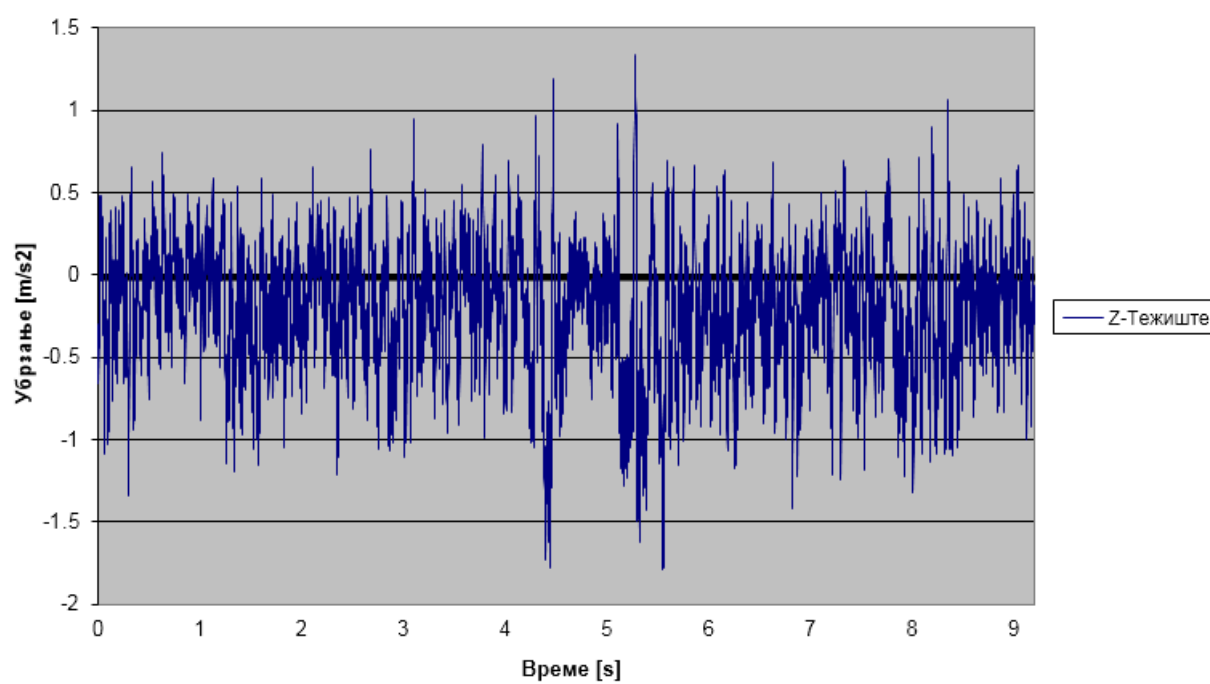
Y-Тежиште



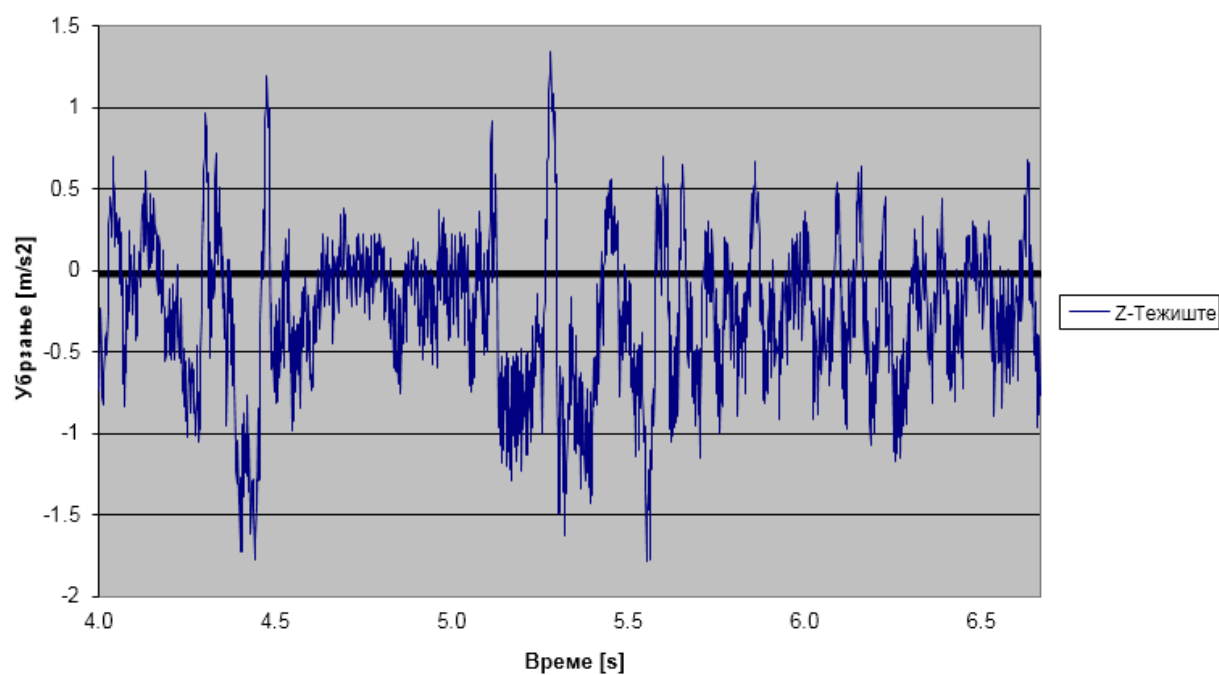
Y-Тежиште 4s-6s



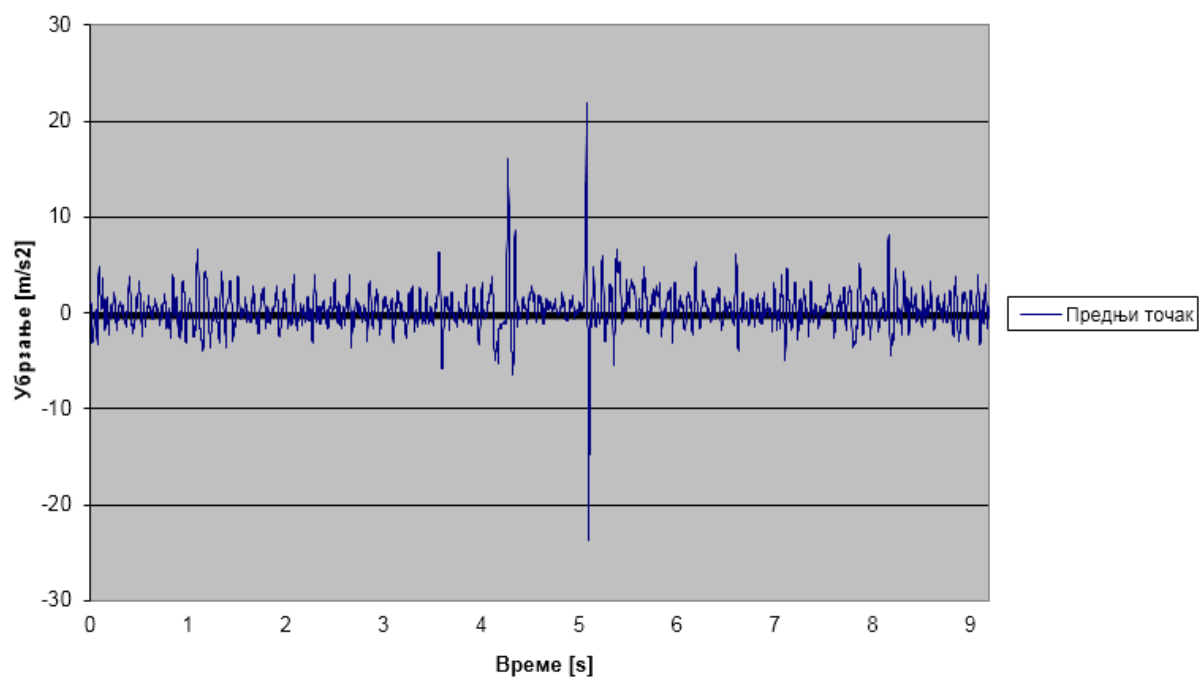
Z-Тежиште



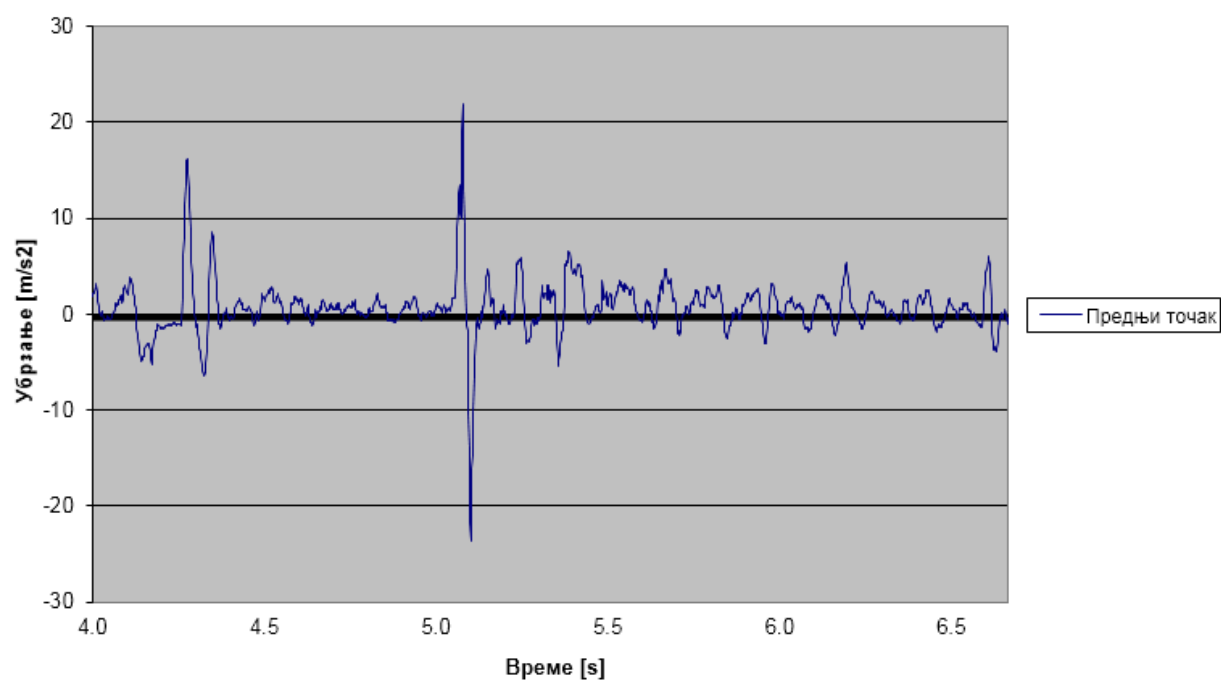
Z-Тежиште 4s-6s



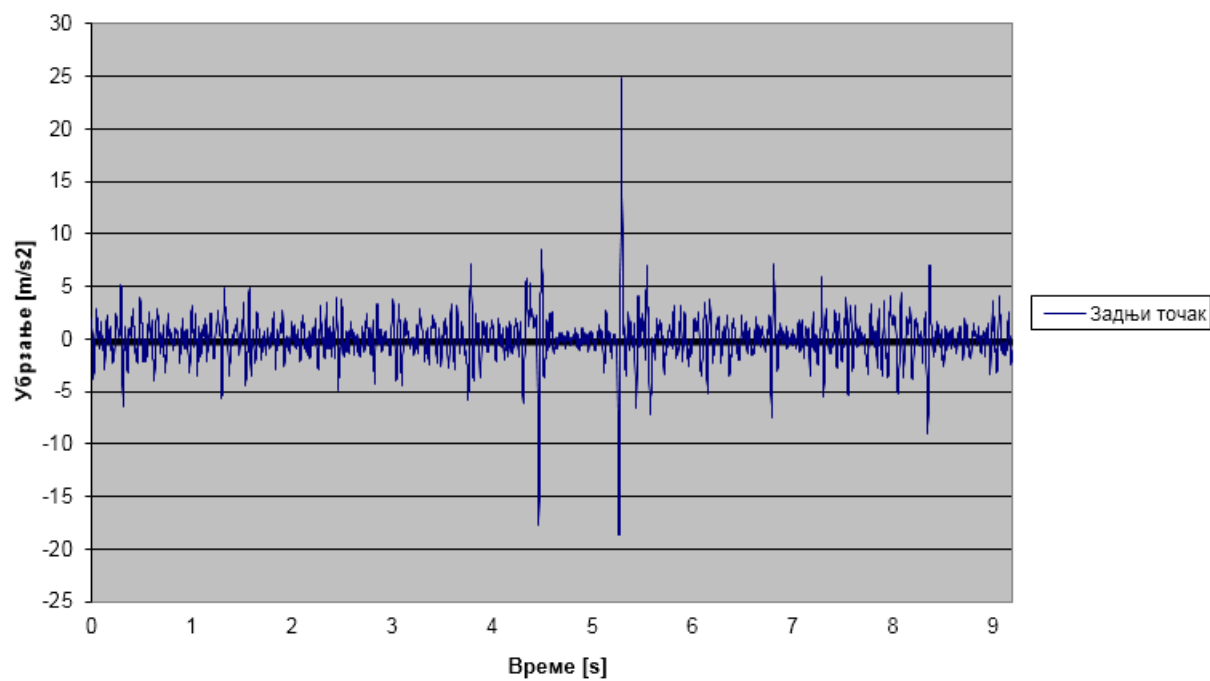
Предњи точак



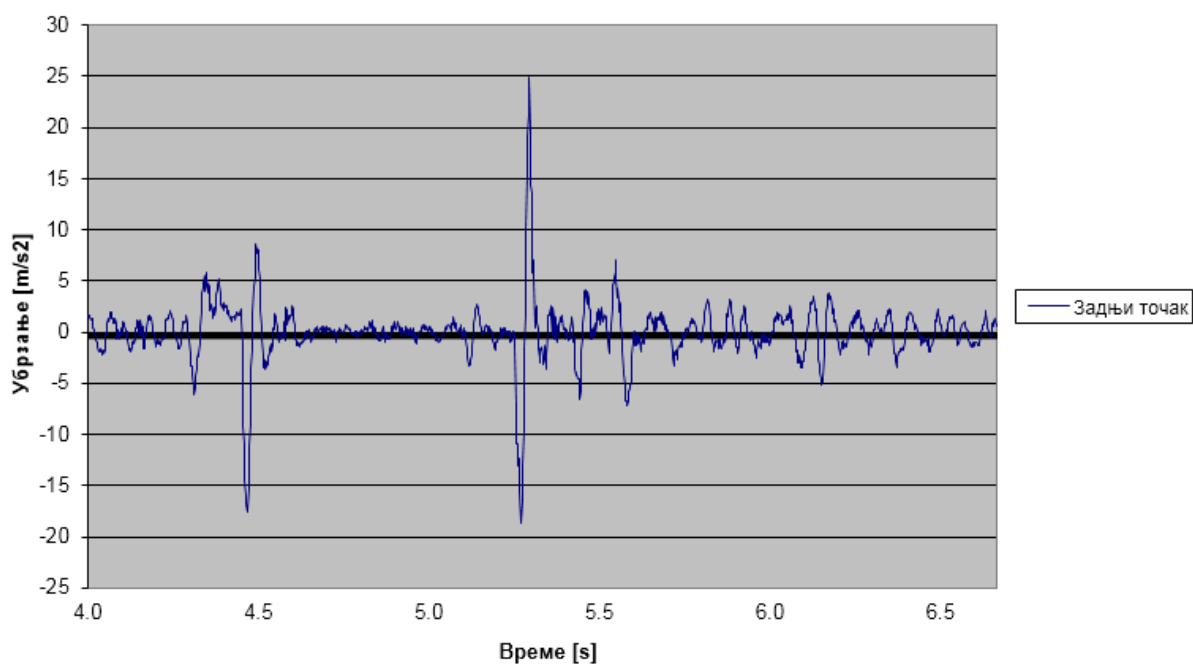
Предњи точак 4s-6s



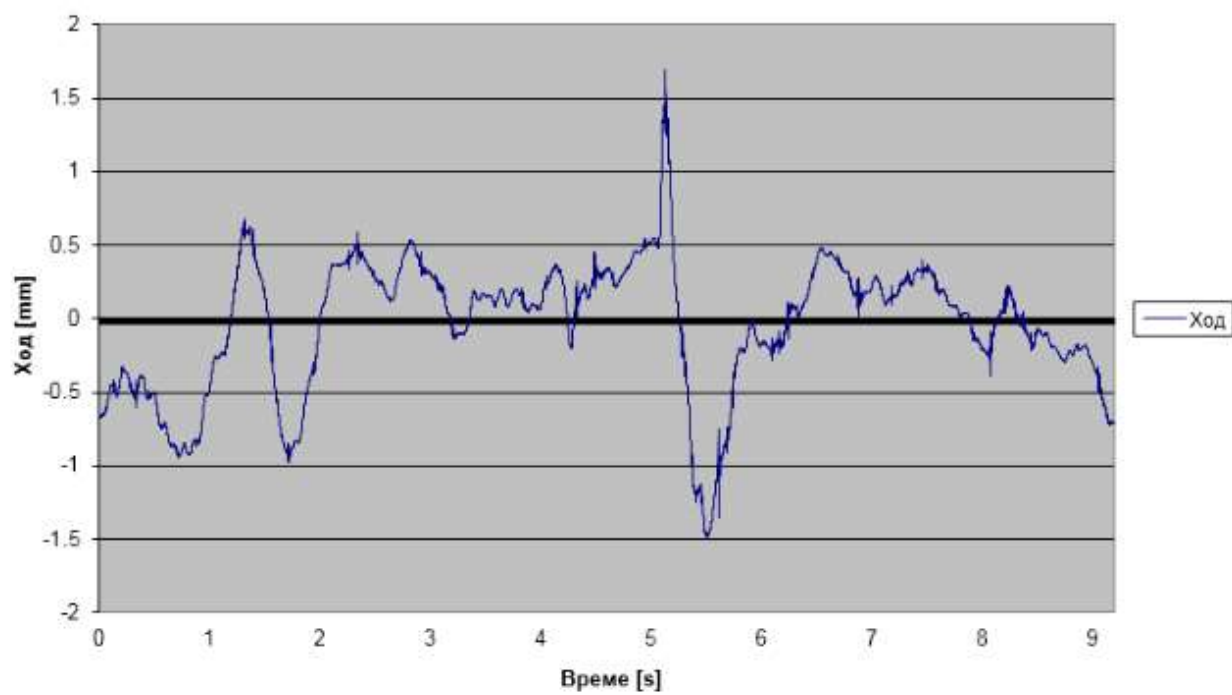
Задњи точак

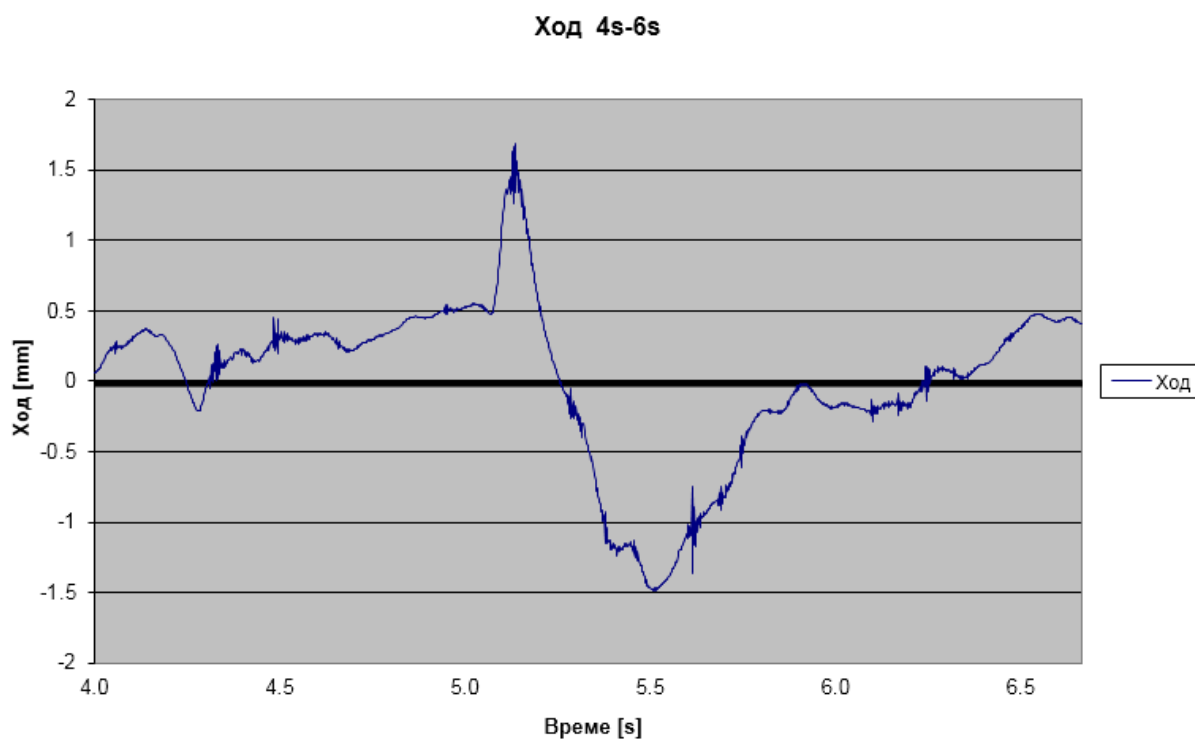


Задњи точак 4s-6s



Ход



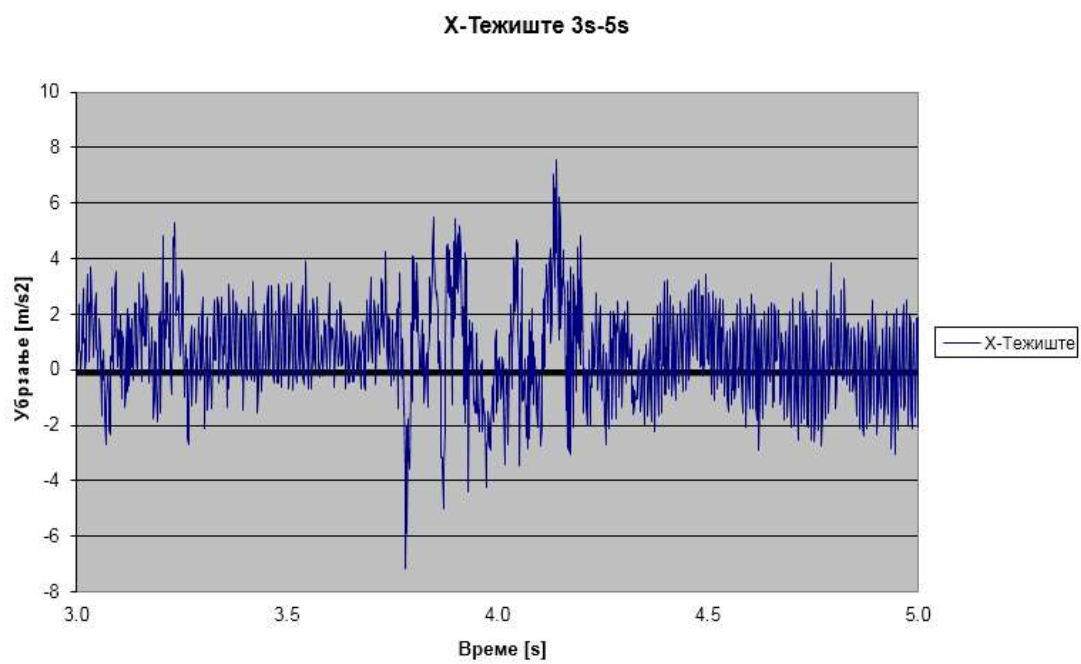
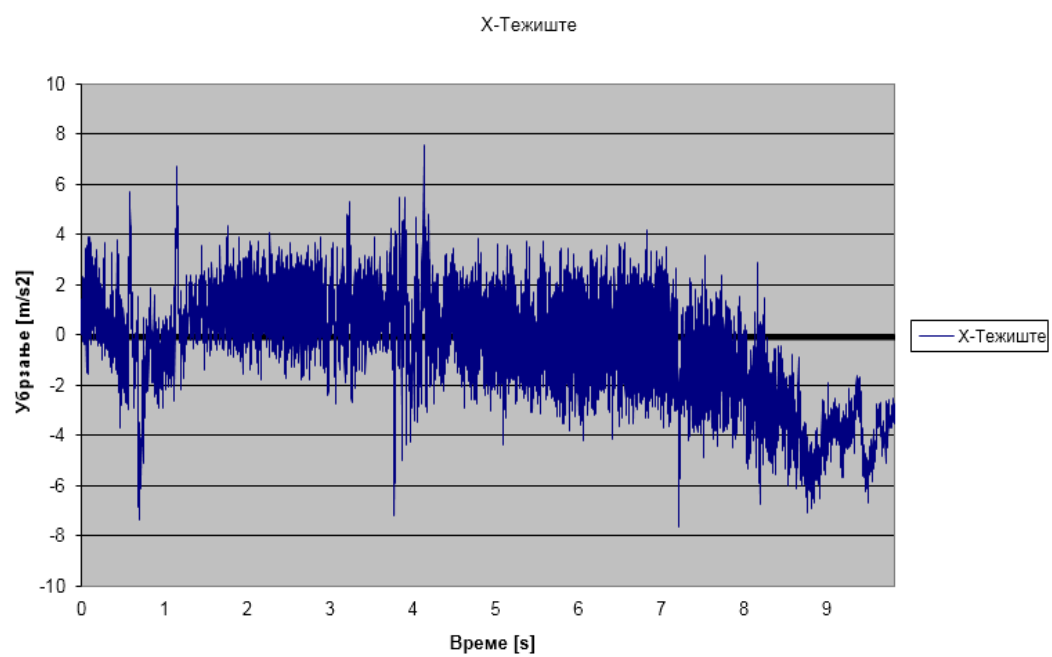


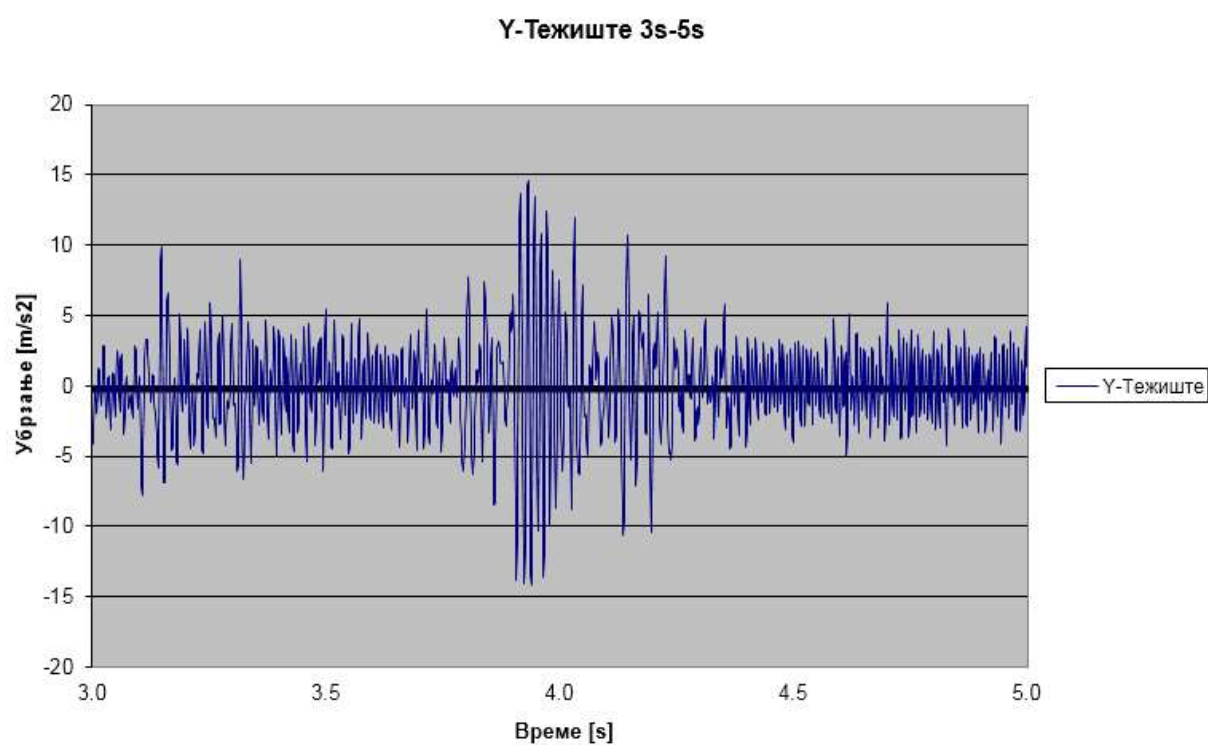
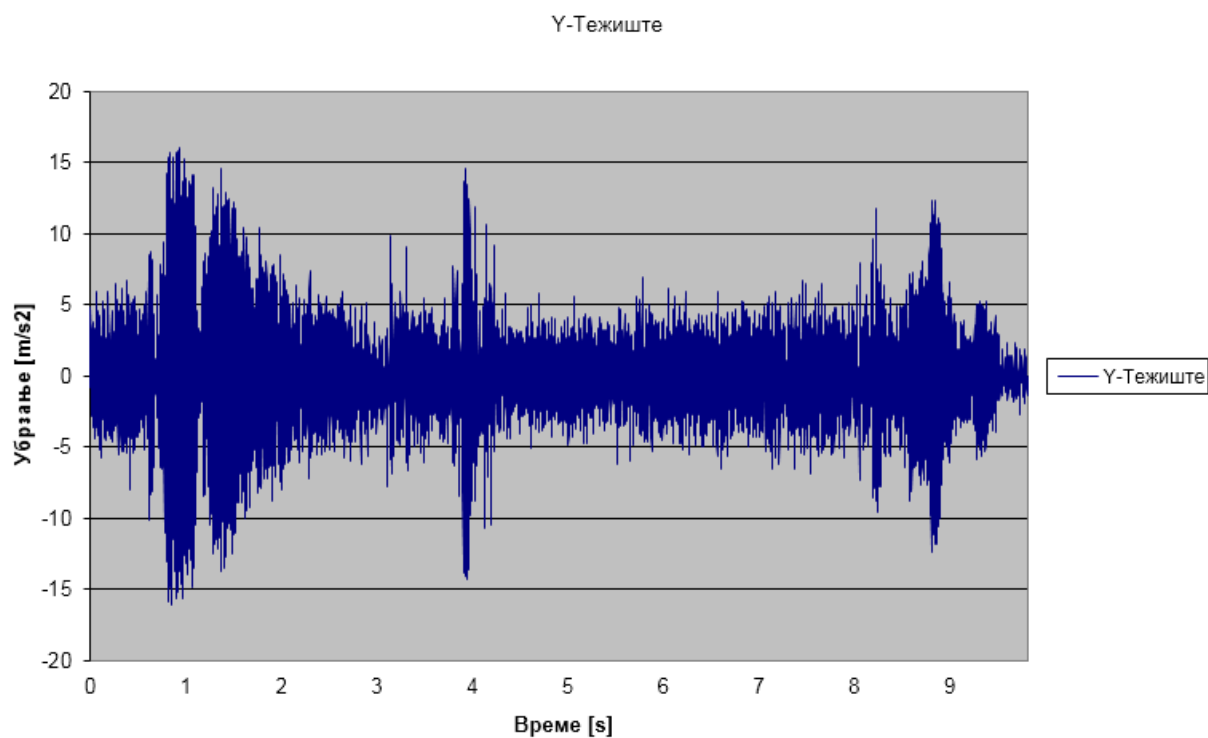
Дијаграм 6.20 Вожња преко вертикалне побуде (ивичњак) при брзини од 17 km/h

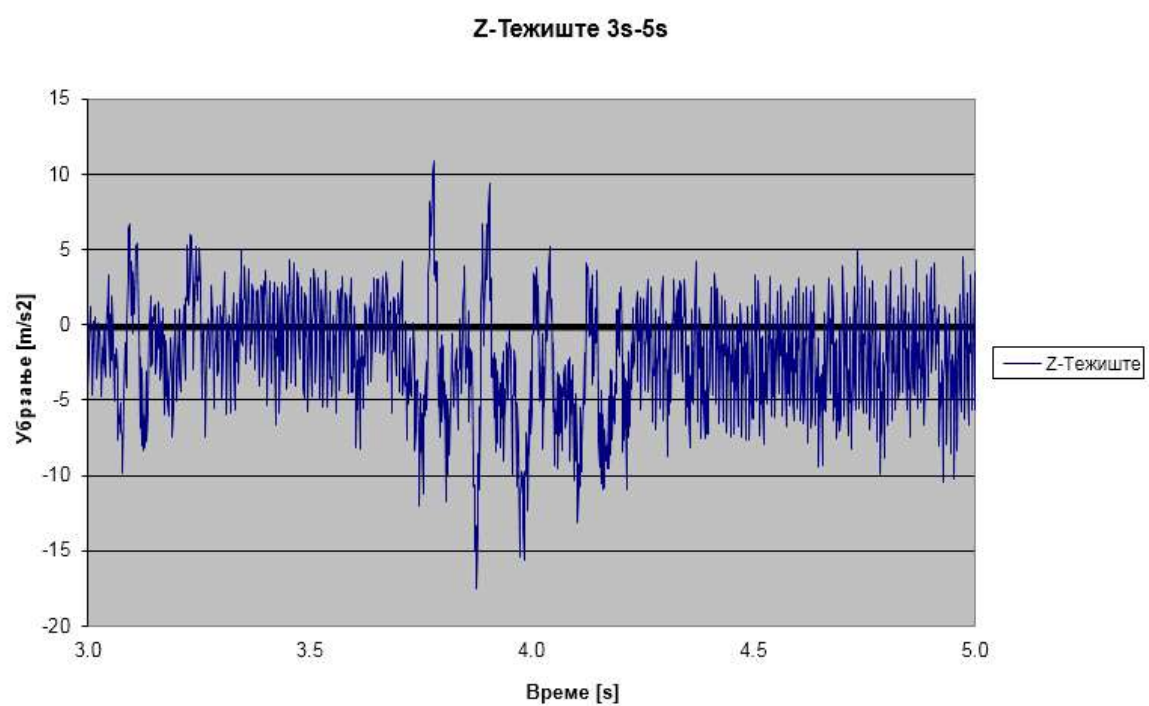
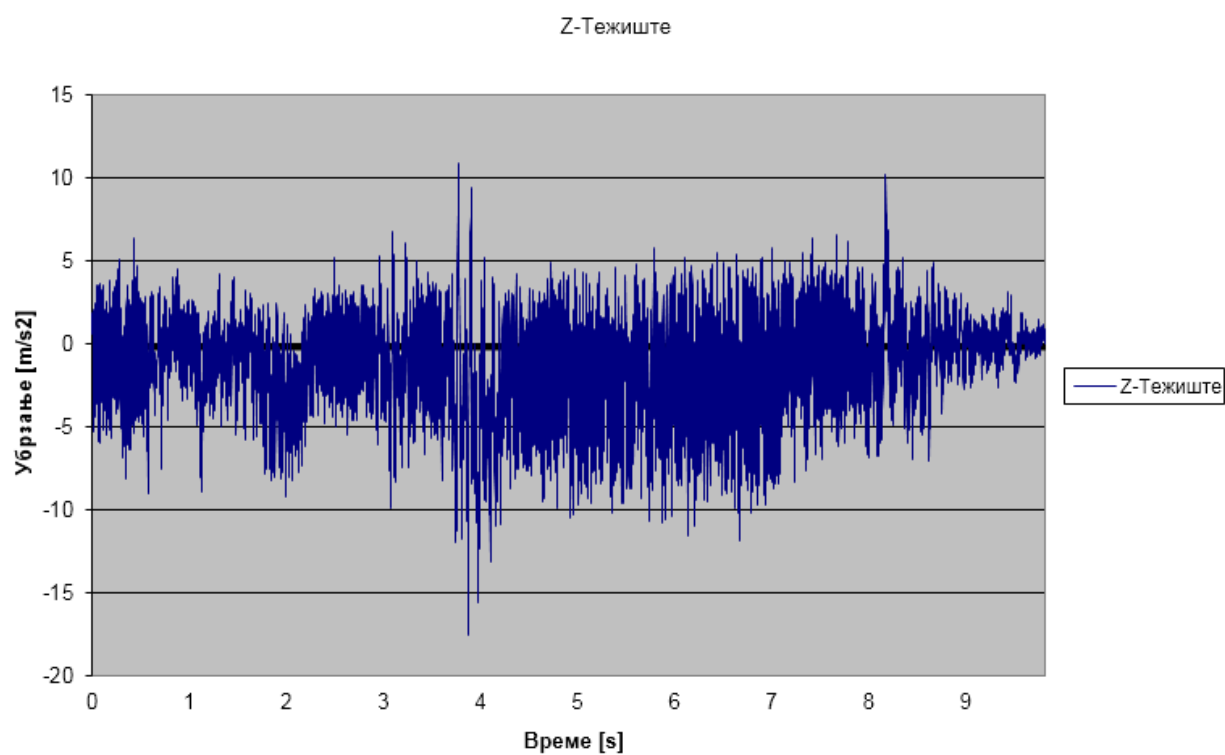
(XI) Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини 30 km/h

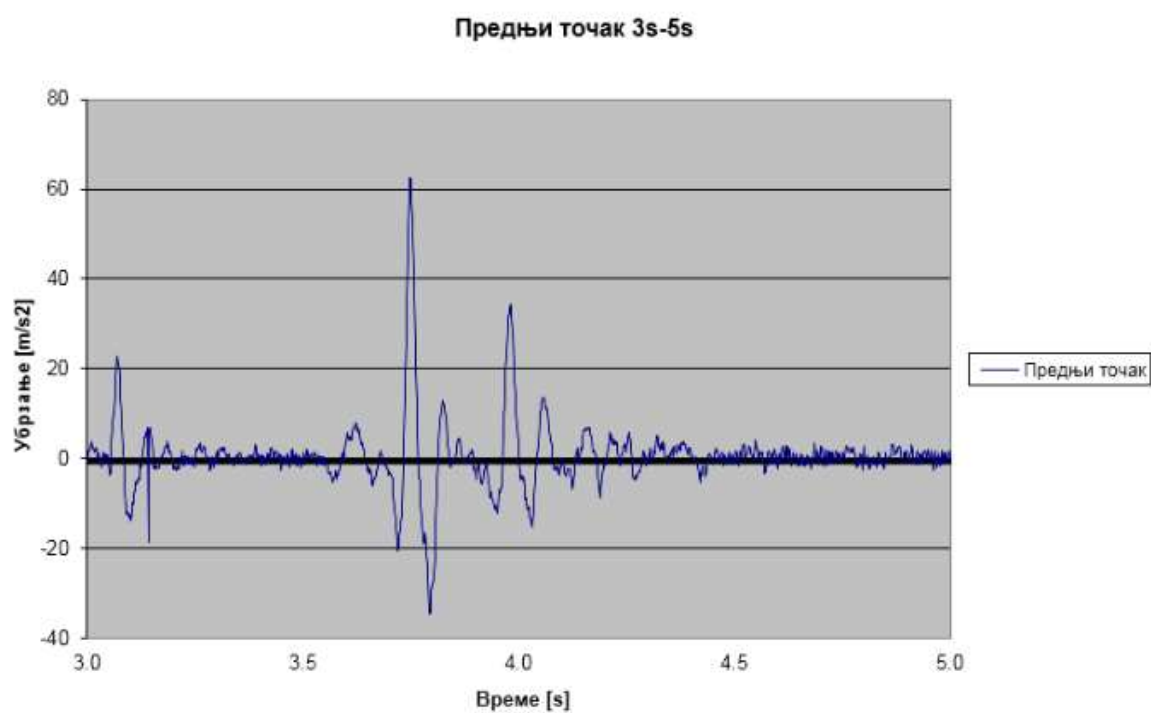
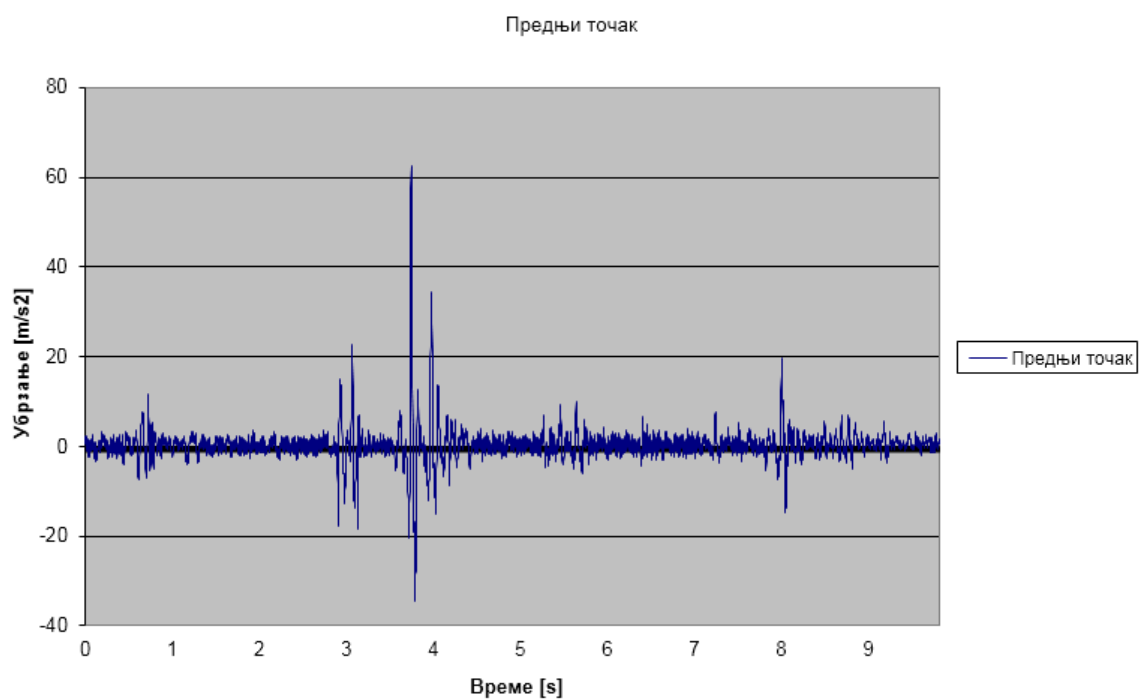
Табела 6.21 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини 30 km/h

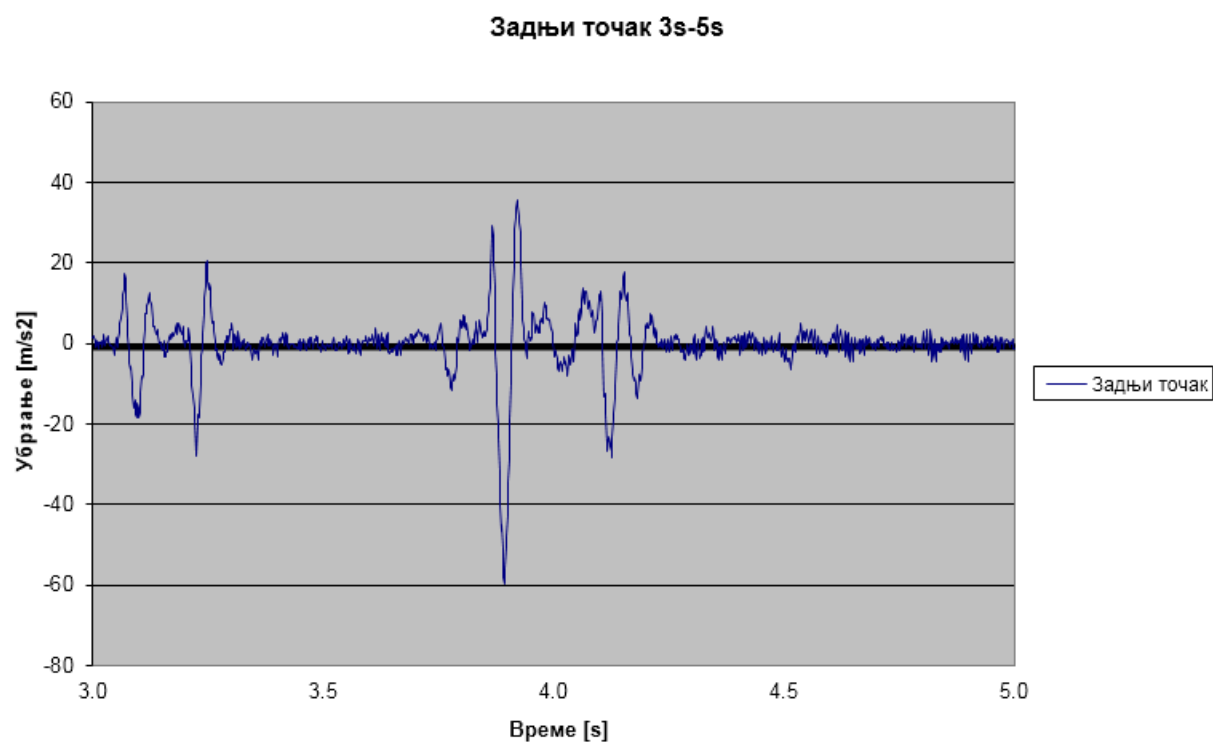
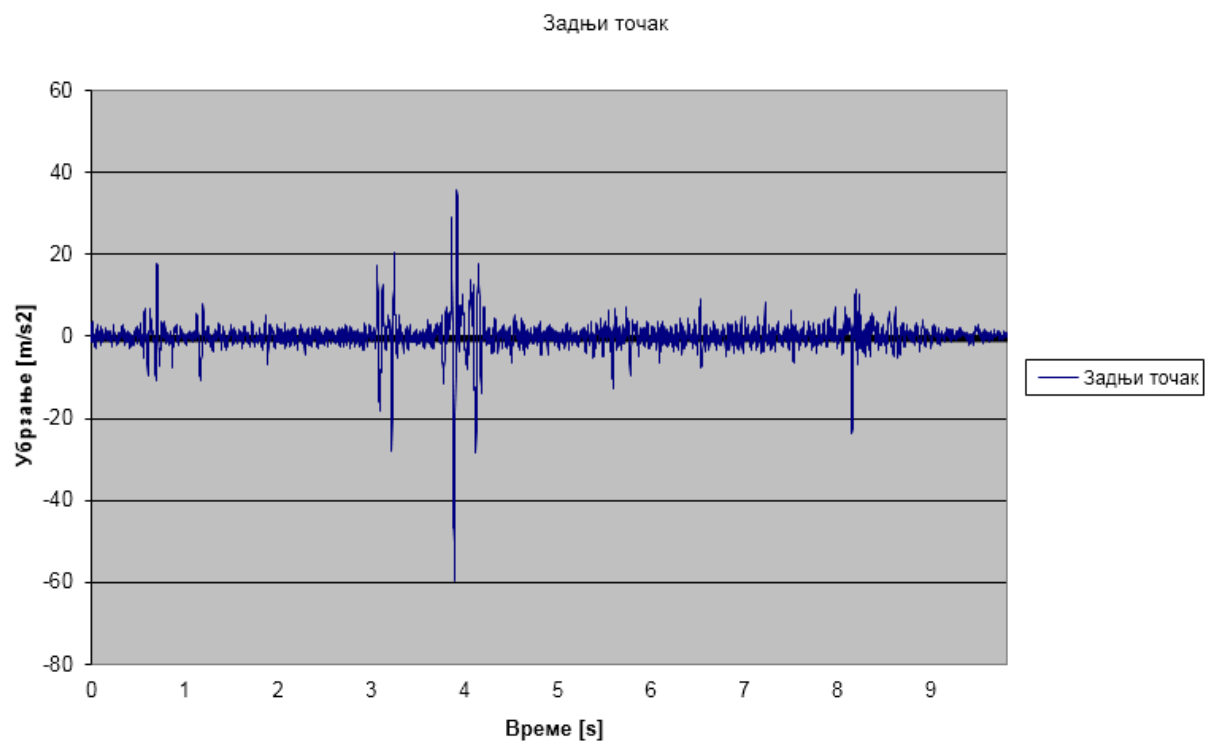
	X-teziste	y-teziste	z-teziste	zadnji tocak	prednji tocak	Hod
Stdev	2.292877	4.003307	3.160078	4.13476	4.171888	0.227871
Average(ABS)	1.856709	3.006301	2.557127	2.043282	2.072302	0.178506
Average	-0.47307	0.036298	-1.23648	-0.03252	0.40819	-0.07672
RMS	2.341171	4.003471	3.393371	4.134888	4.19181	0.240441

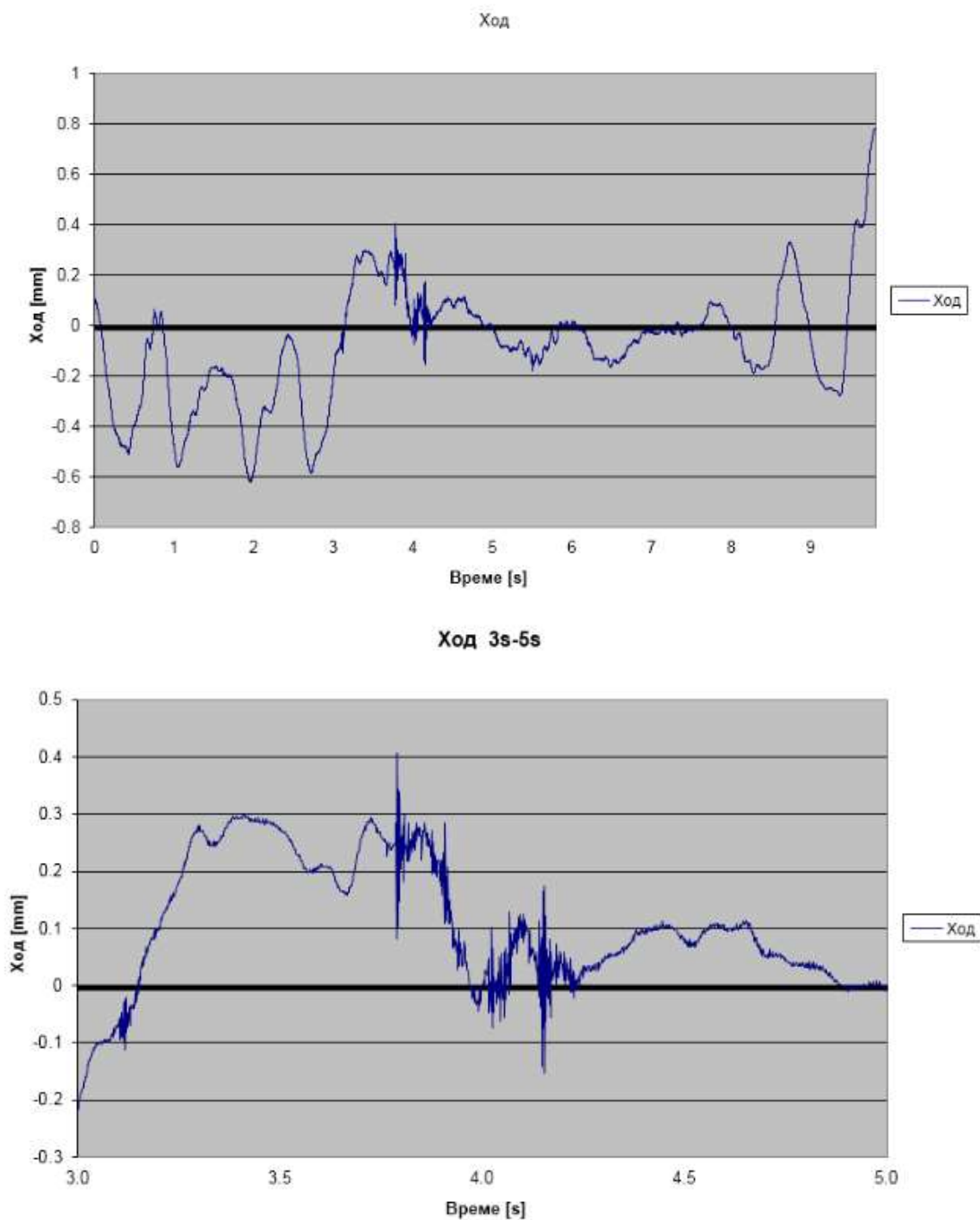










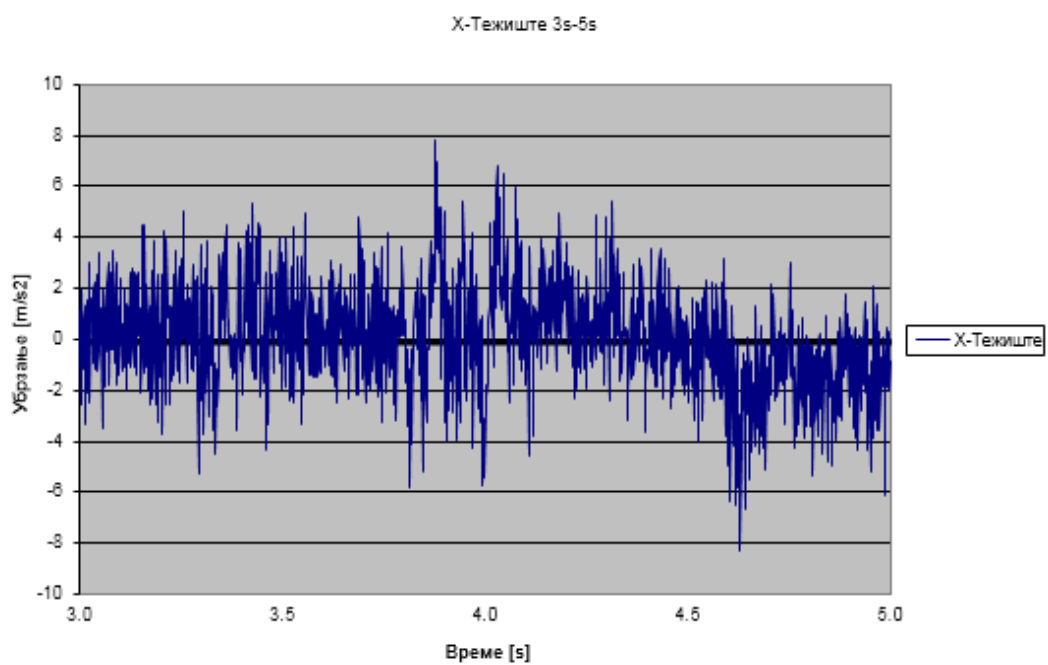
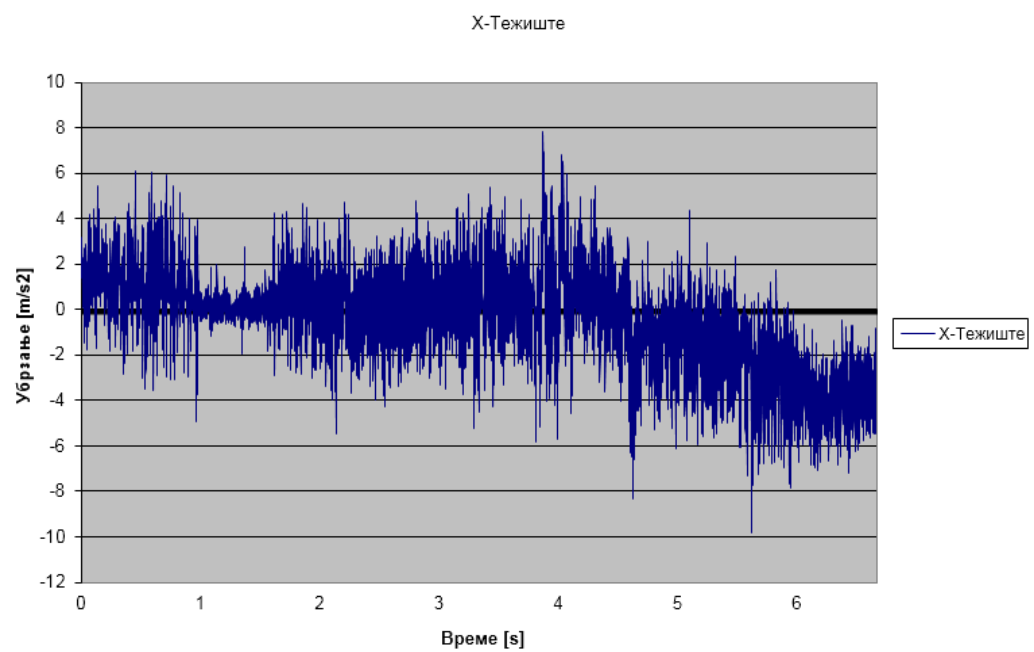


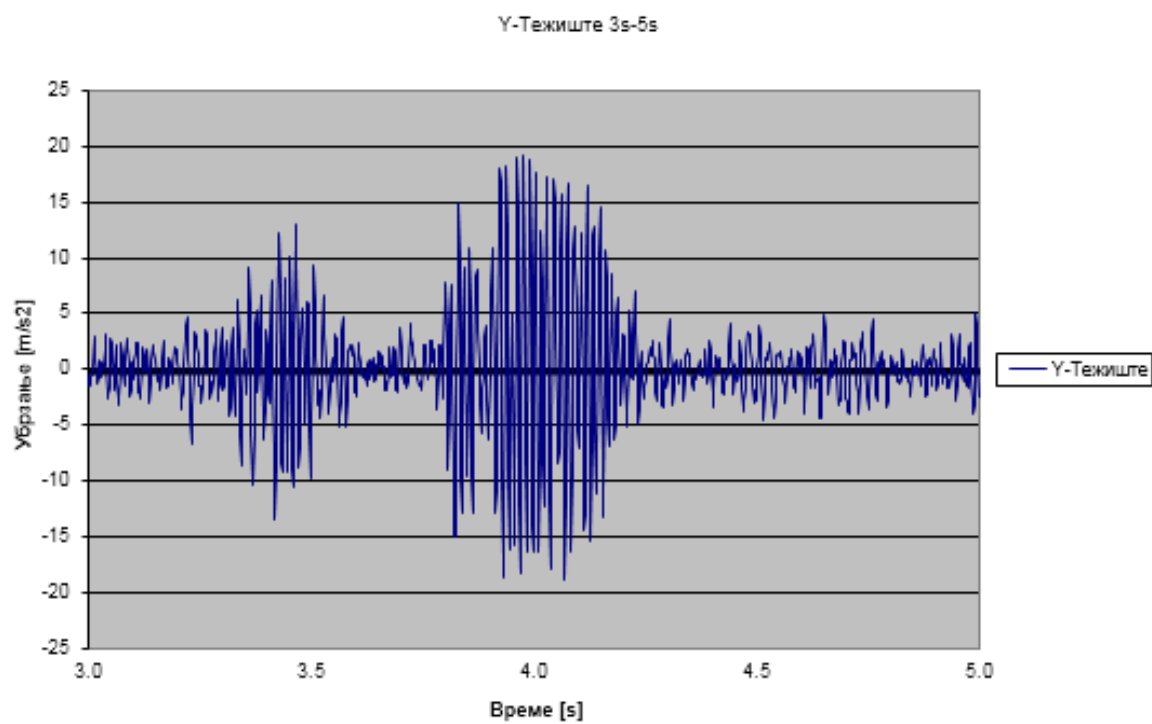
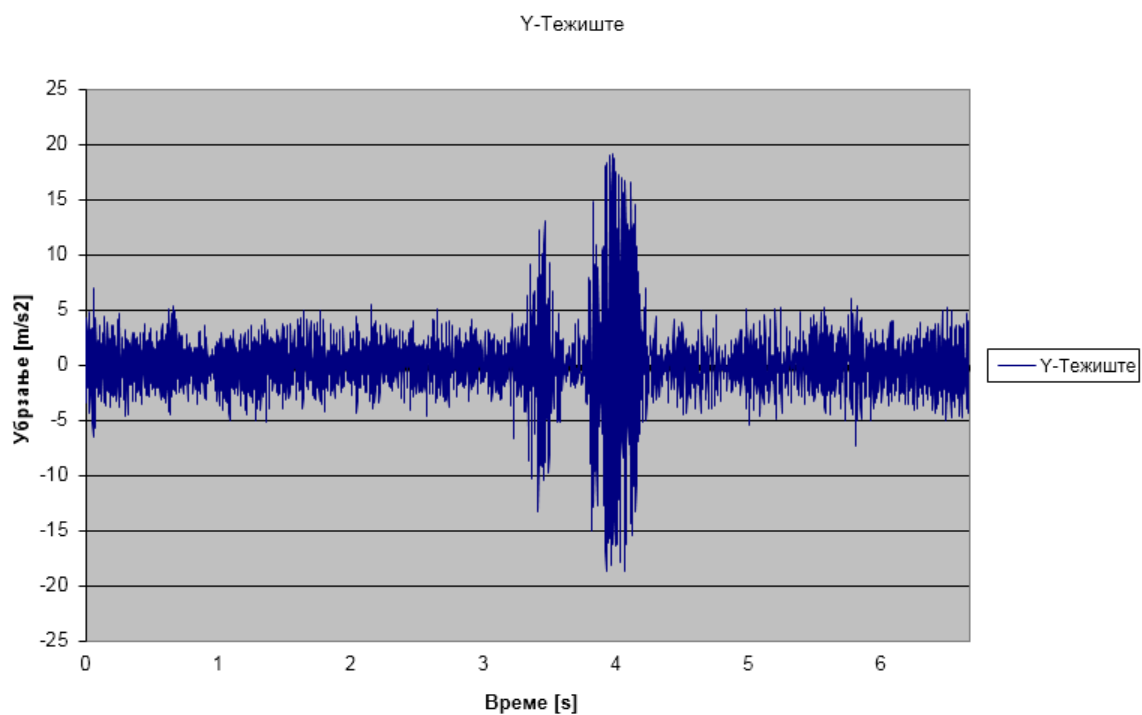
Дијаграм 6.21 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини 30 km/h

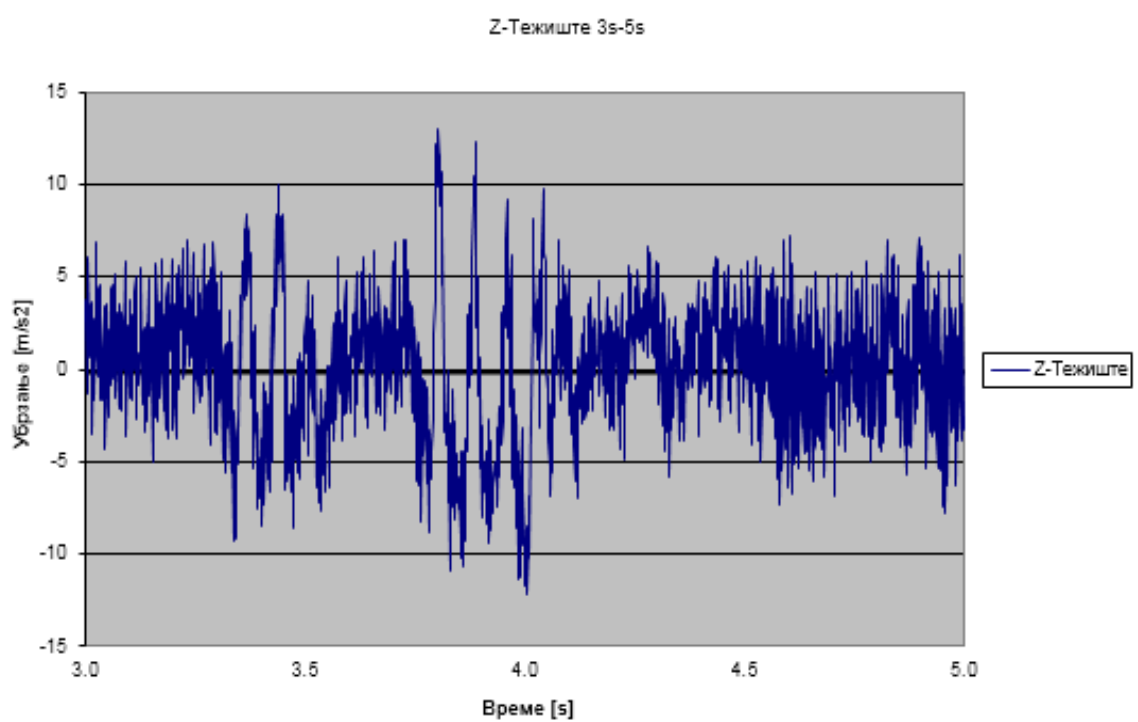
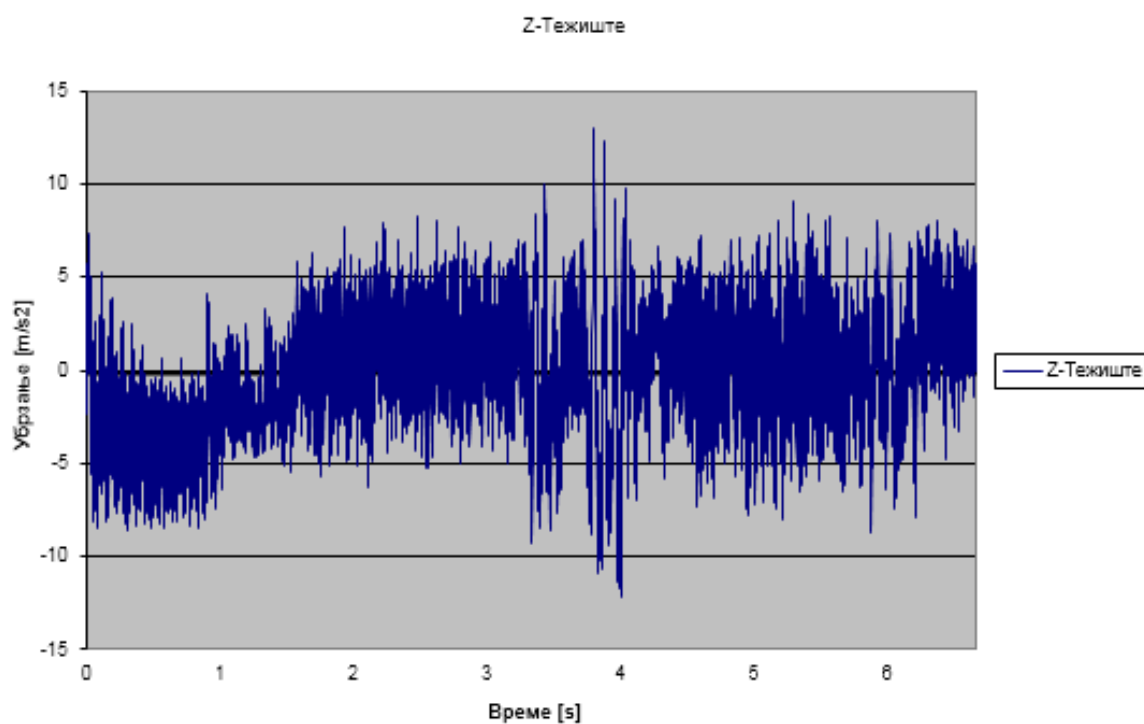
(XII) Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини од 60 km/h

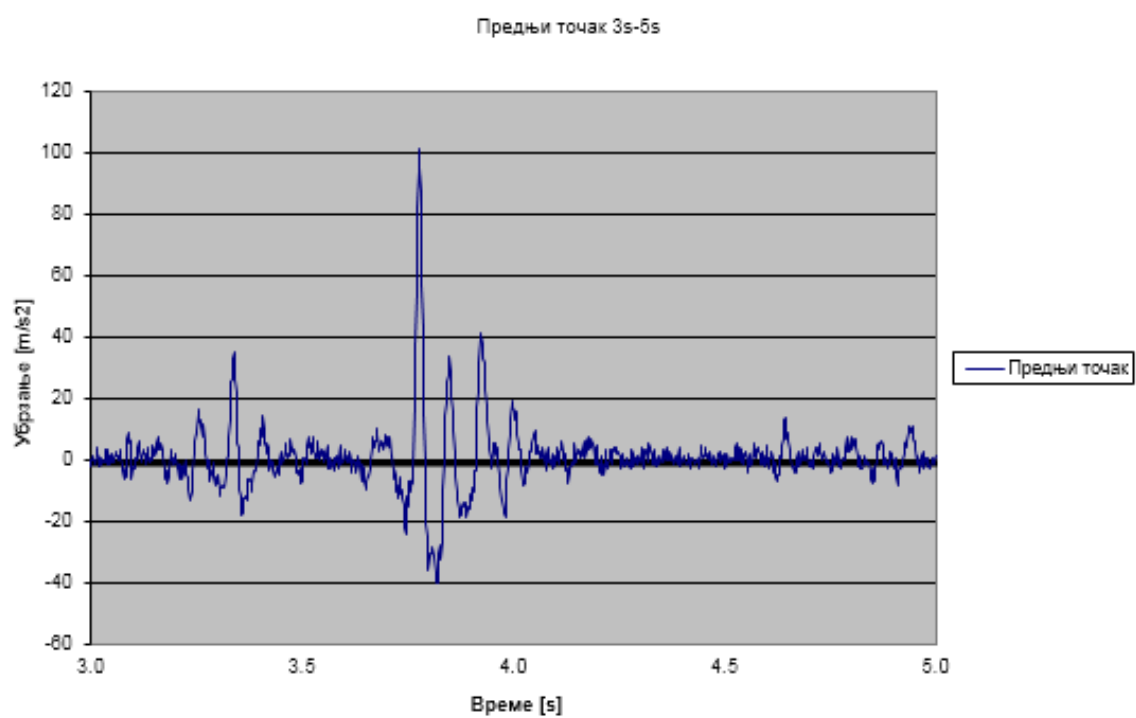
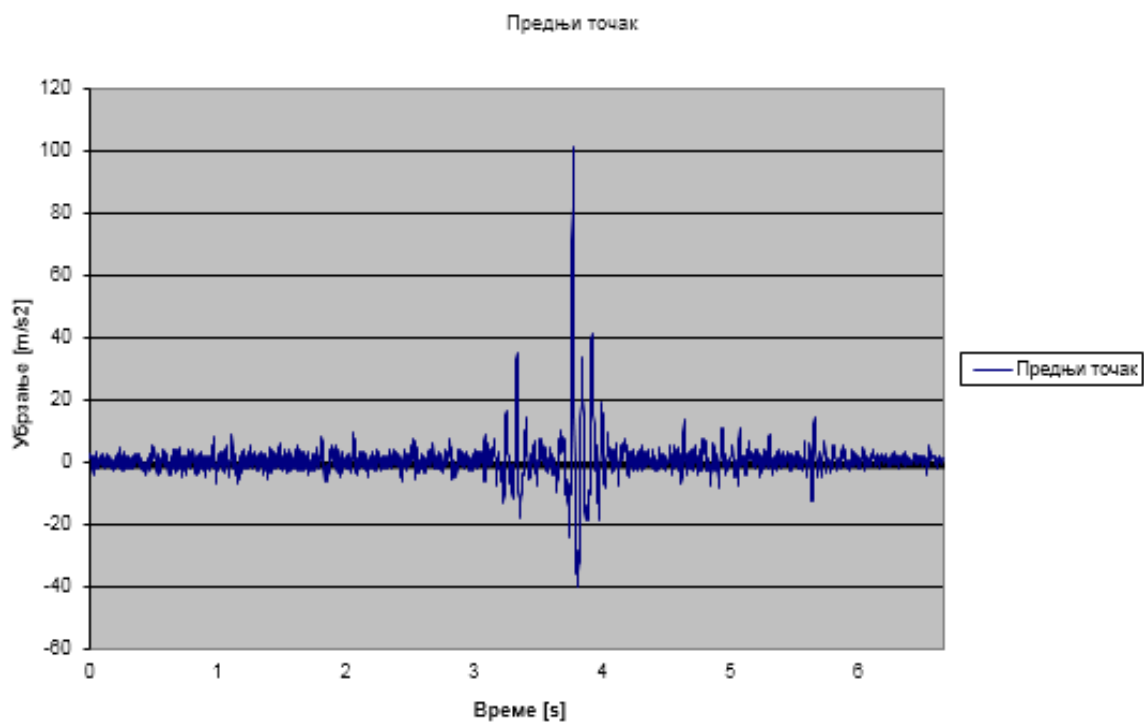
Табела 6.22 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини од 60 km/h

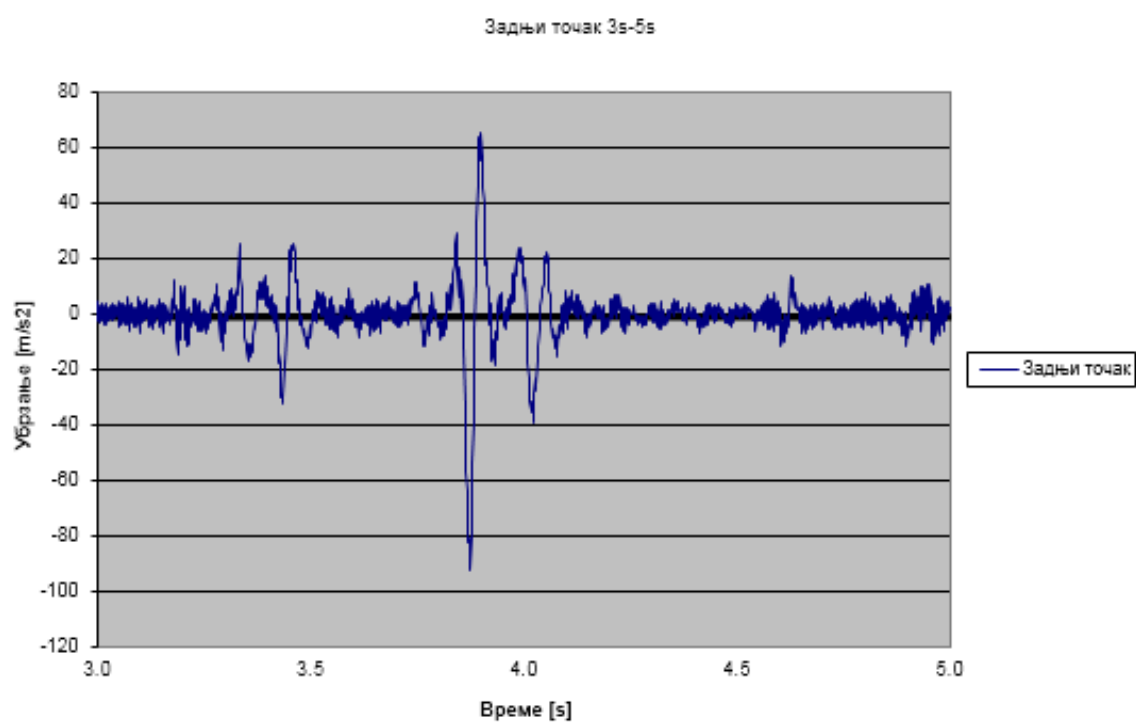
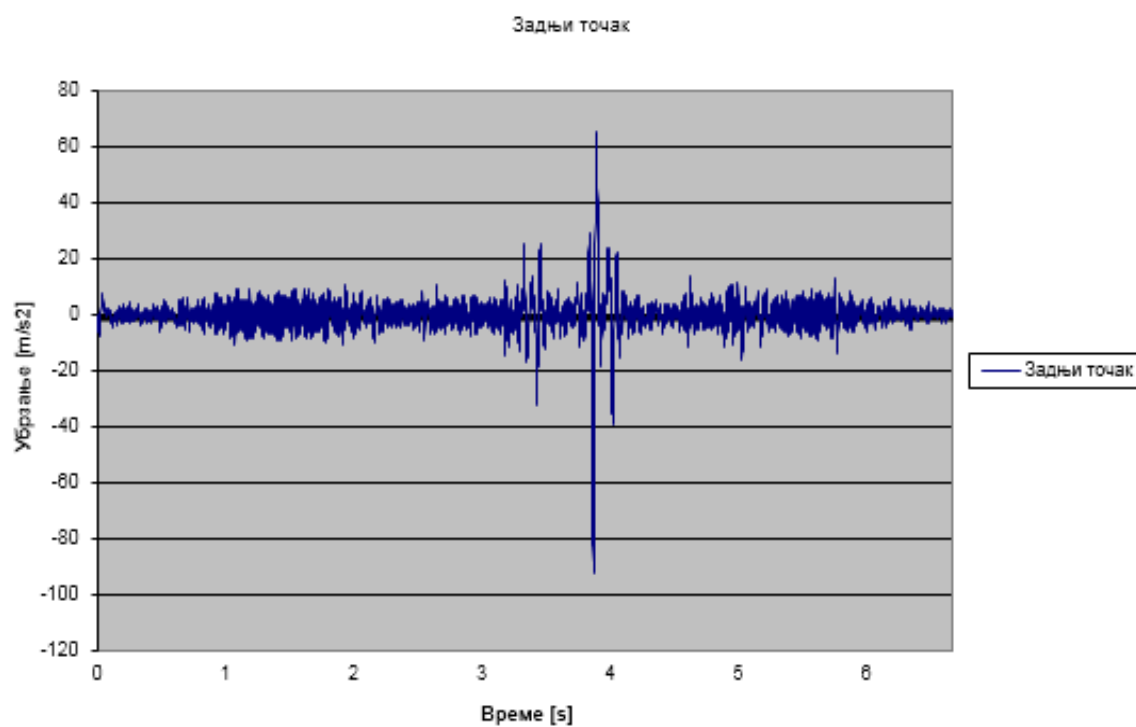
	X-teziste	y-teziste	z-teziste	zadnji tocak	prednji tocak	Hod
Stdev	2.374655	3.242078	3.672314	7.009121	6.414526	0.078927
Average(ABS)	1.858904	2.120444	2.999395	3.881104	2.96942	0.068553
Average	-0.39687	-0.01783	-0.07333	-0.06931	0.47655	-0.0247
RMS	2.40759	3.242127	3.673046	7.009463	6.432204	0.082702

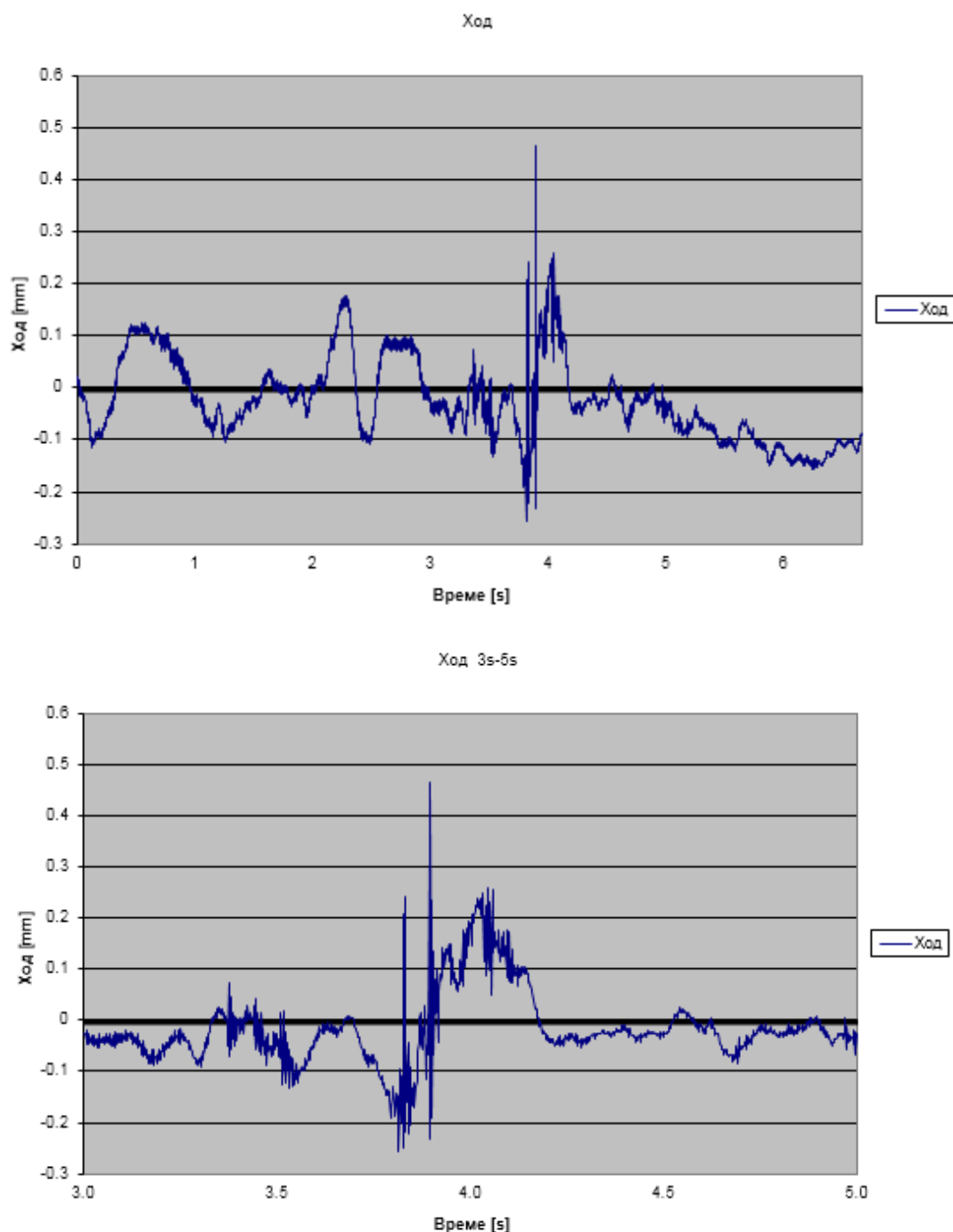












Дијаграм 6.22 Вожња преко вертикалне побуде (денивелисаног уличног шахта) при брзини од 60 km/h

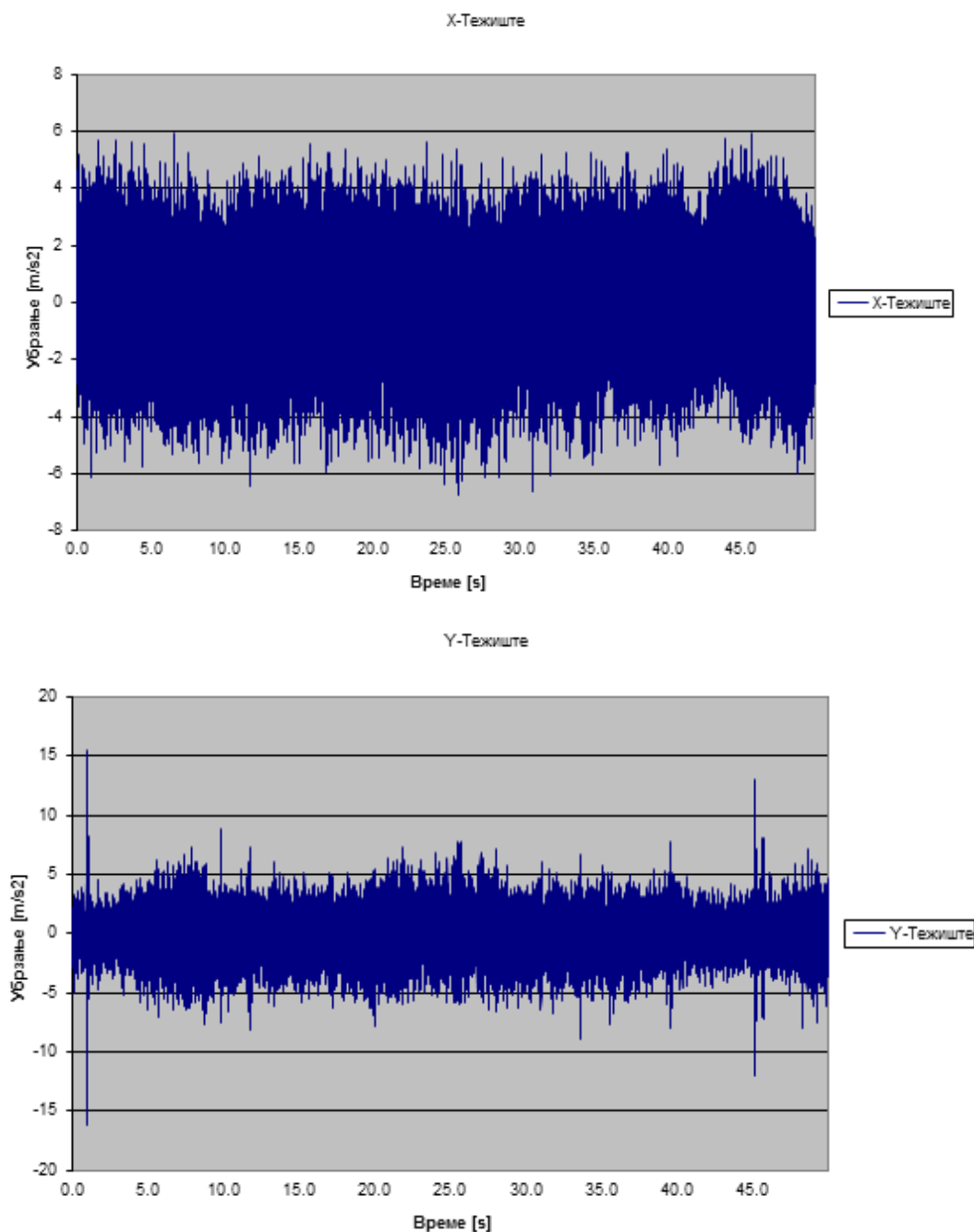
Пети сегмент мерења (мерења XIII, XIV и XV) је обављен на стази за вожњу ауто-мото трка „Шумадија сајам“ у Крагујевцу. Мотоцикл је вожен константним брзинама од 70 km/h, 120 km/h и 130 km/h. На мотоциклу је за испитне брзине од 70 km/h и 130 km/h био постављен и давач транслаторног померања на управљачу мотоцикла, помоћу кога може да се прати угао заокретања управљача.

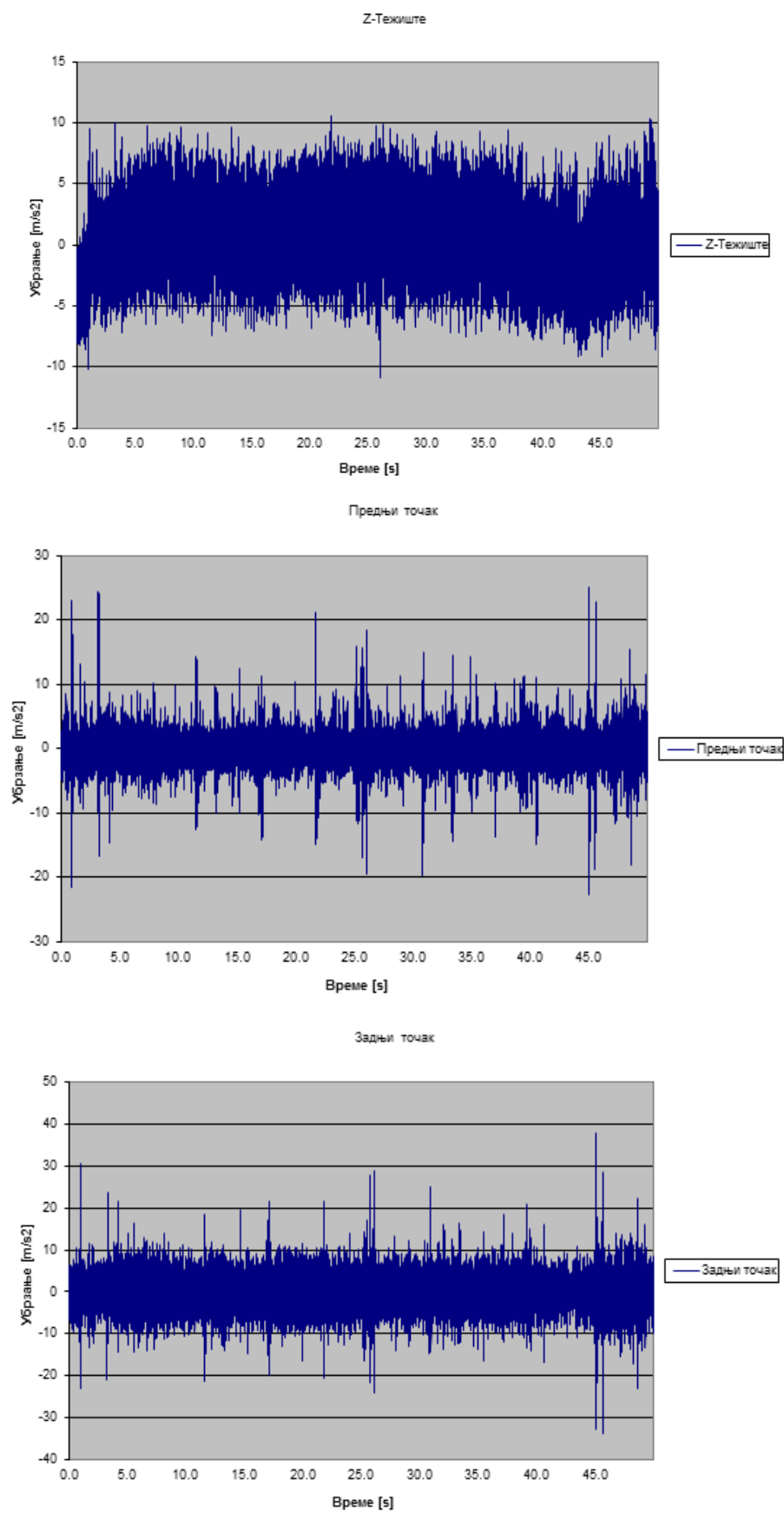
Приказ обављених мерења дат је табеларно (табеле 6.23, 6.24, 6.25) и графички (дијаграми 6.23, 6.24, 6.25).

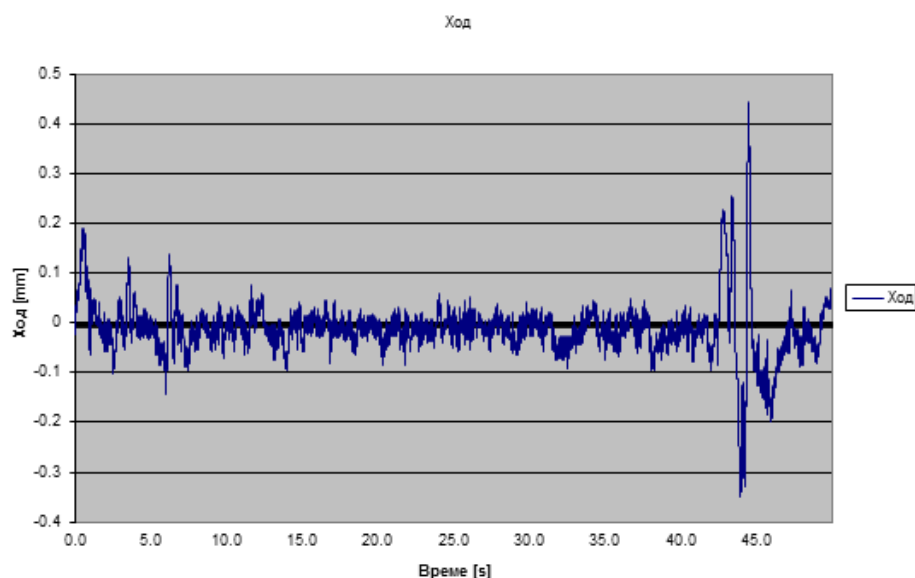
(XIII) Праволинијско кретање константном брзином 70 km/h

Табела 6.23 Праволинијско кретање константном брзином 70 km/h

	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Teziste	Zadnji točak	Prednji Točak	Hod
StDev	2.10857	2.168389	3.171968	4.658596	3.078628	0.057453
Aver(ABS)	1.752377	1.730764	2.632066	3.669779	2.180264	0.035913
Average	0.046212	0.002993	0.542322	-0.02917	0.011143	-0.01289
RMS	2.109076	2.168391	3.217995	4.658687	3.078648	0.058882





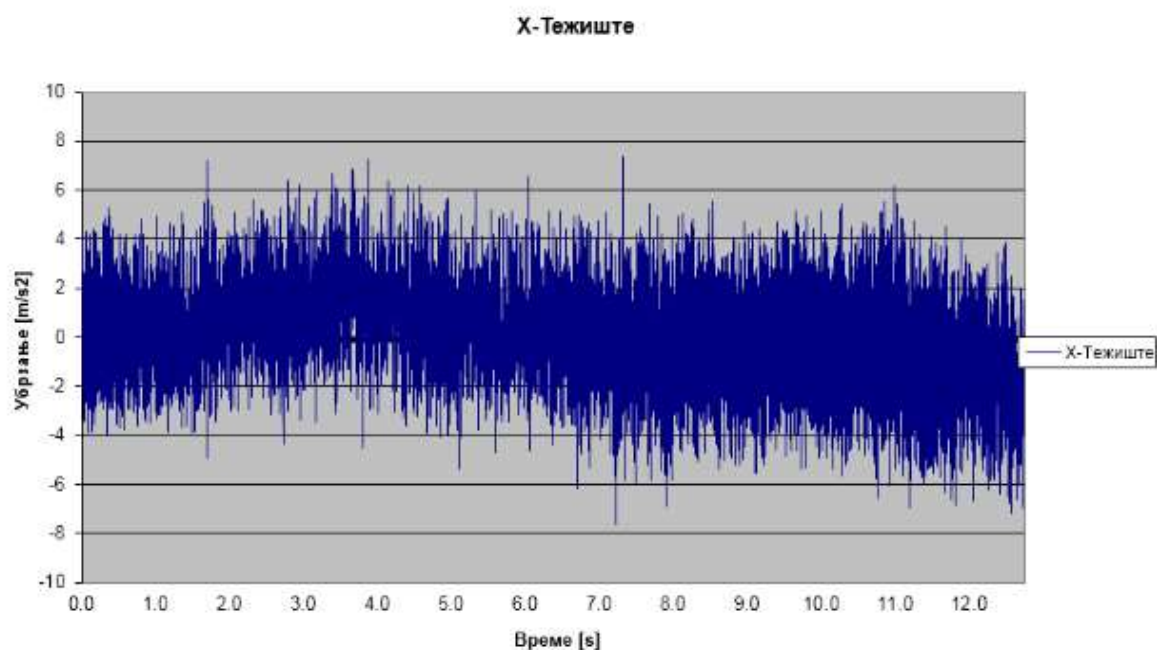


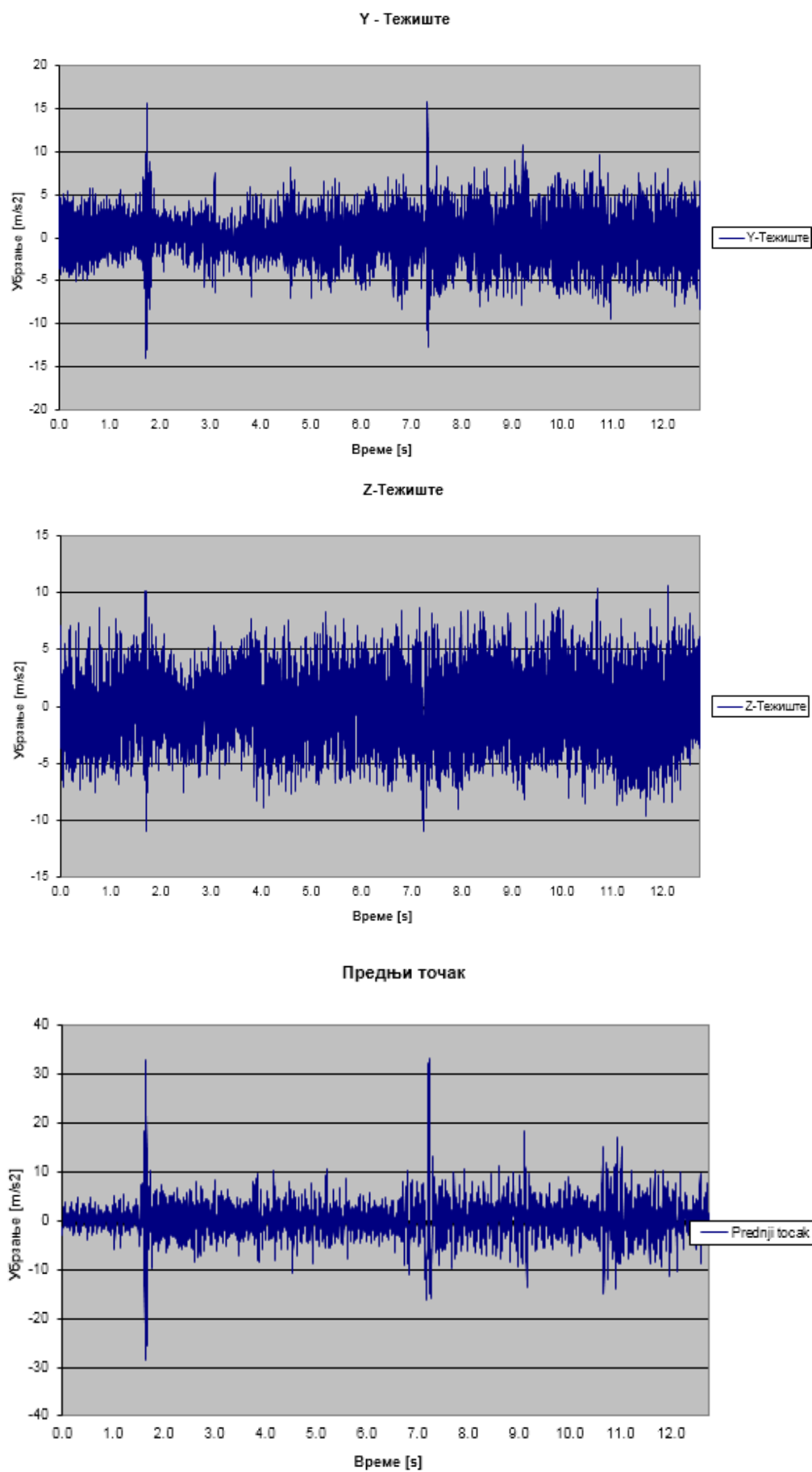
Дијаграм 6.23 Праволинијско кретање константном брзином 70 km/h

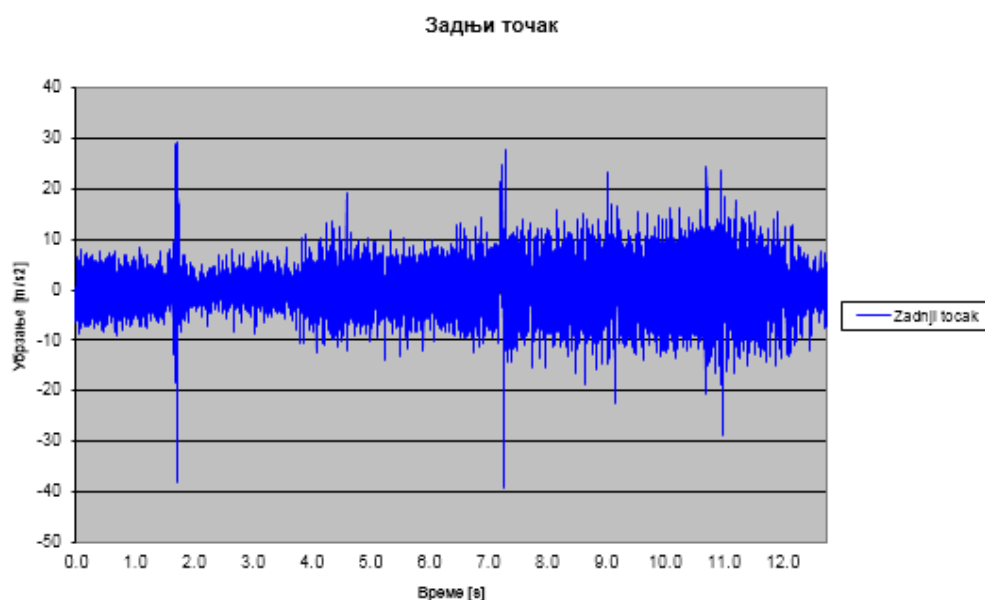
(XIV) Праволинијско кретање константном брзином 120 km/h

Табела 6.24 Праволинијско кретање константном брзином 120 km/h

	X-teziste	Y-teziste	Z-teziste	Zadnji tocak	Prednji tocak
StDev	2.338664	2.737837	3.225728	5.998842	3.837873
Aver(ABS)	1.902748	2.142309	2.636134	4.610413	2.676801
Average	0.140392	0.095679	-0.18353	-0.0202	0.430117
RMS	2.342874	2.739509	3.230944	5.998876	3.861899





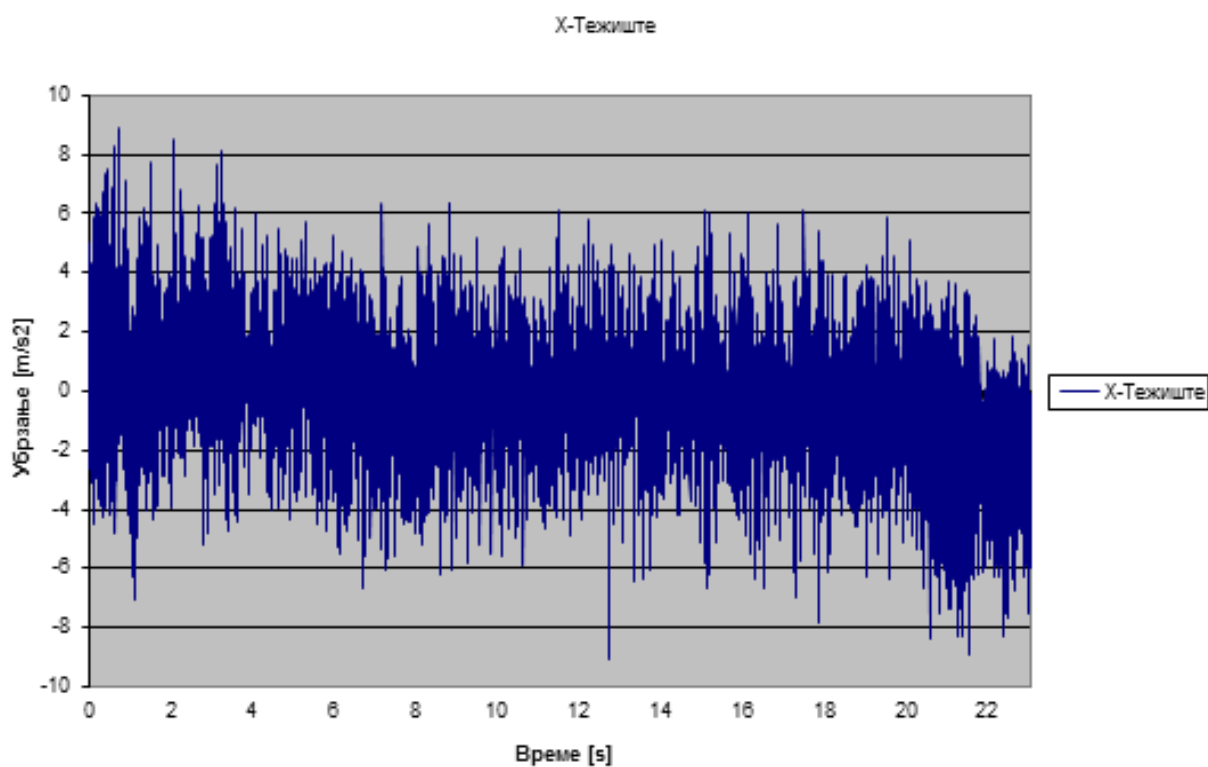


Дијаграм 6.24 Праволинијско кретање константном брзином 120 km/h

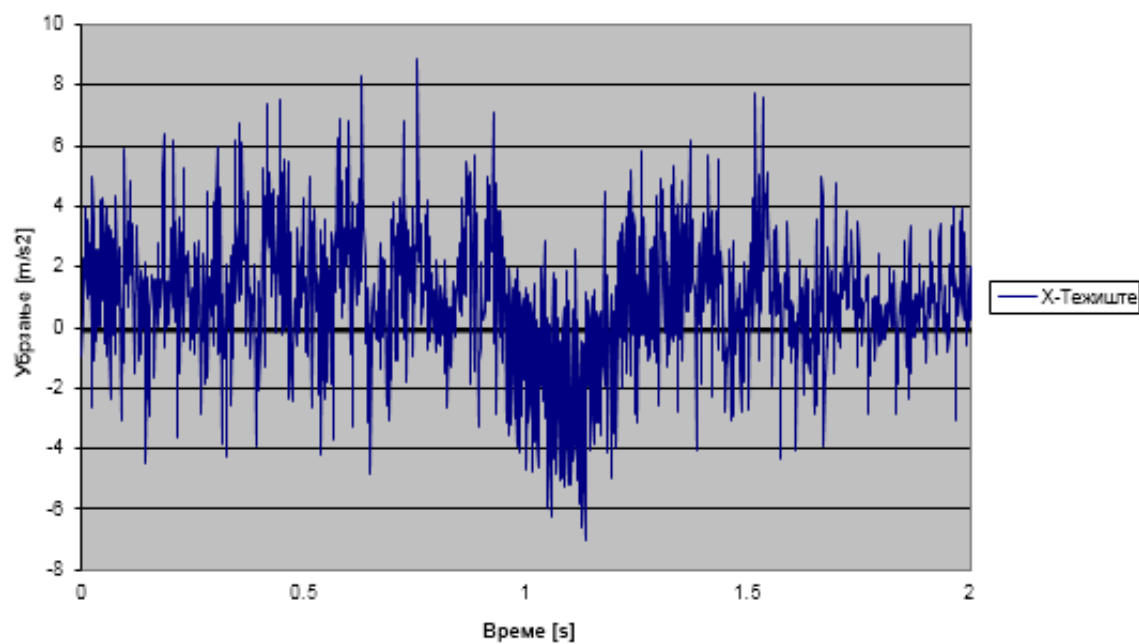
(XV) Праволинијско кретање константном брзином 130 km/h

Табела 6.25 Праволинијско кретање константном брзином 130 km/h

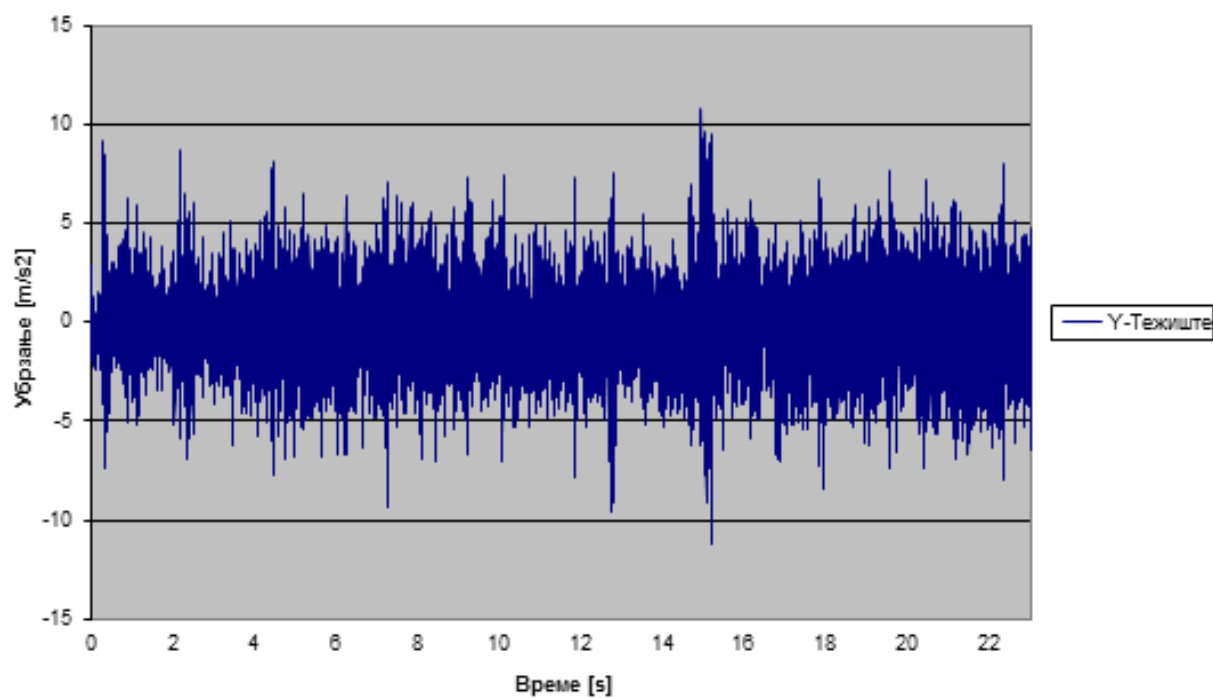
	X-Teziste	Y-Teziste	Z-Tesiste	Zadnji točak	Prednji točak	Hod
StDev	1.878995	2.143556	3.054937	7.288019	5.396988	0.050031
Aver (ABS)	1.374959	1.666934	2.478493	5.567928	3.983198	0.043022
Average	-0.03852	-0.16771	-0.38427	-0.06395	0.089347	0.01825
RMS	1.879389	2.150107	3.07901	7.288299	5.397727	0.053256



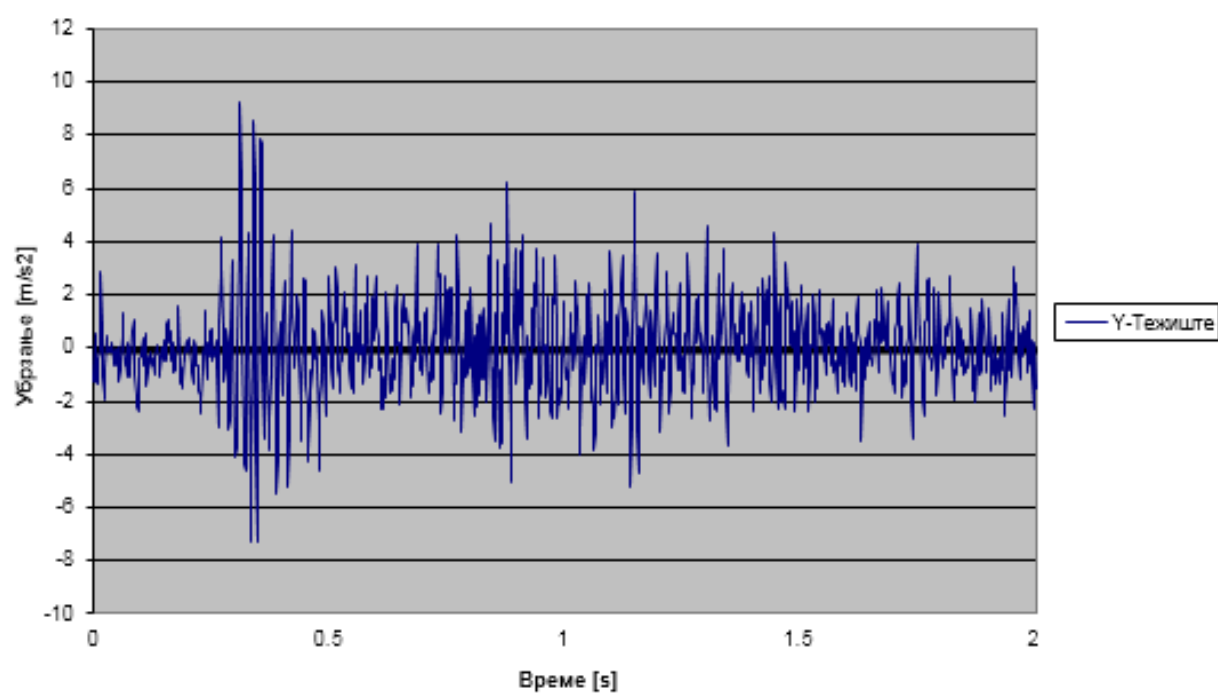
X-Тежиште 0s-2s



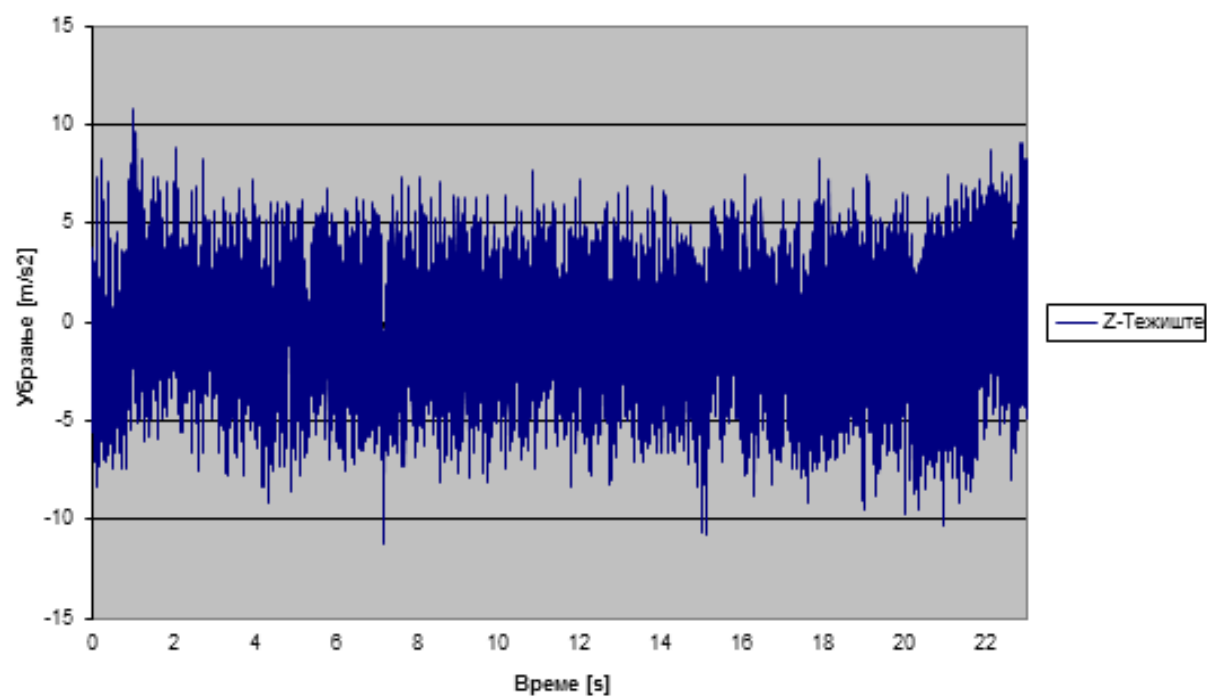
Y-Тежиште



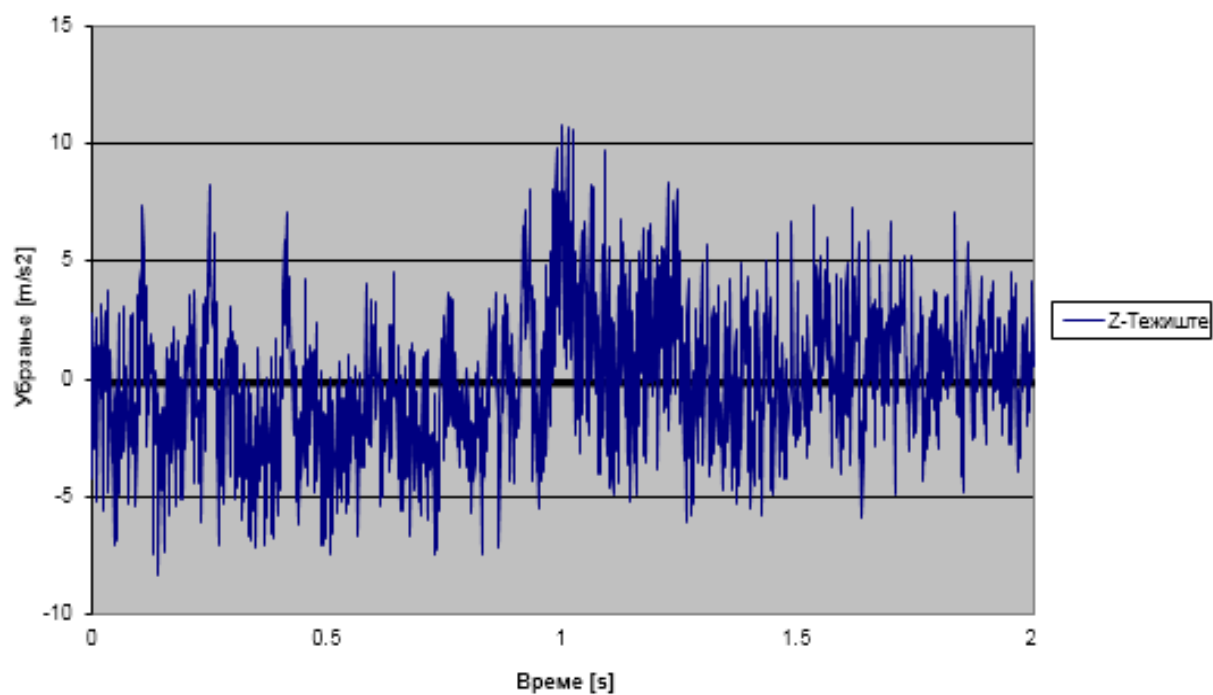
Y-Тежиште 0s-2s



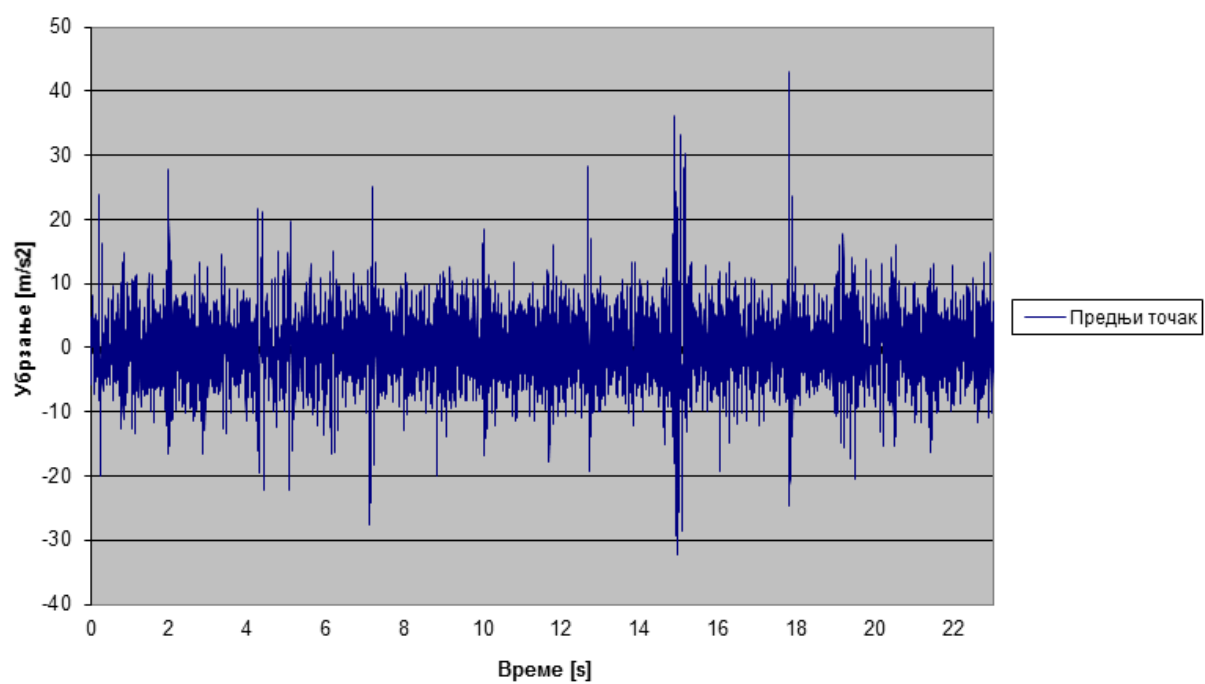
Z-Тежиште



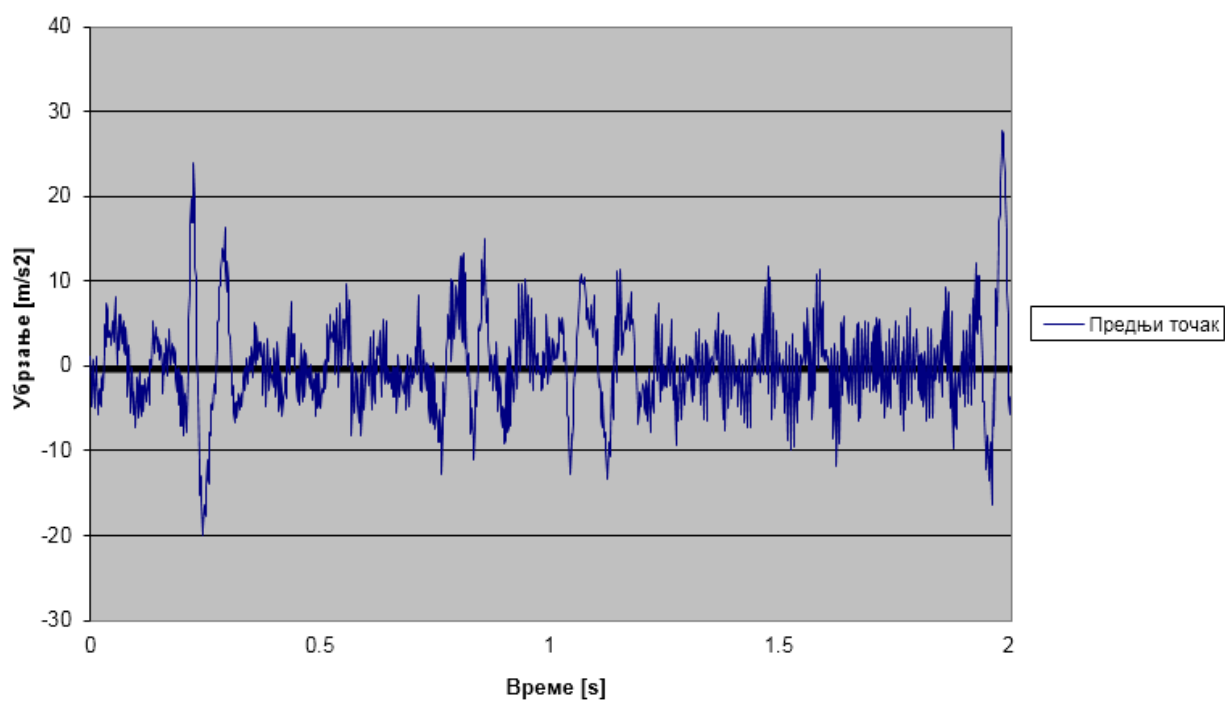
Z-Тежиште 0s-2s



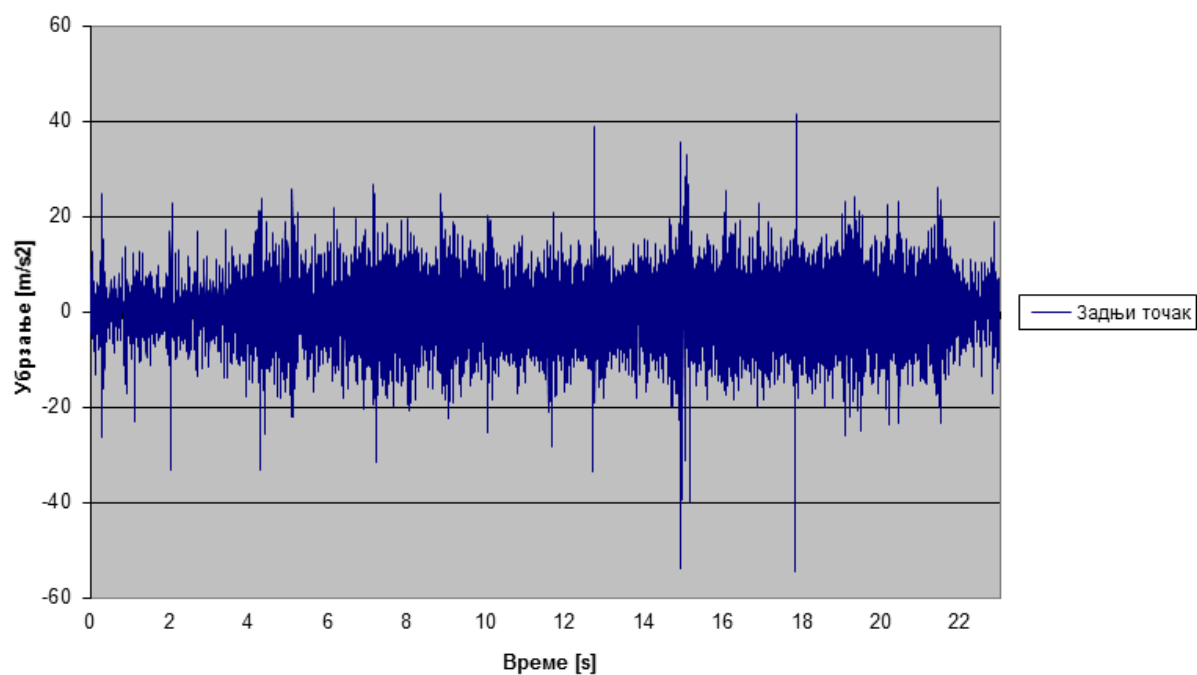
Предњи точак



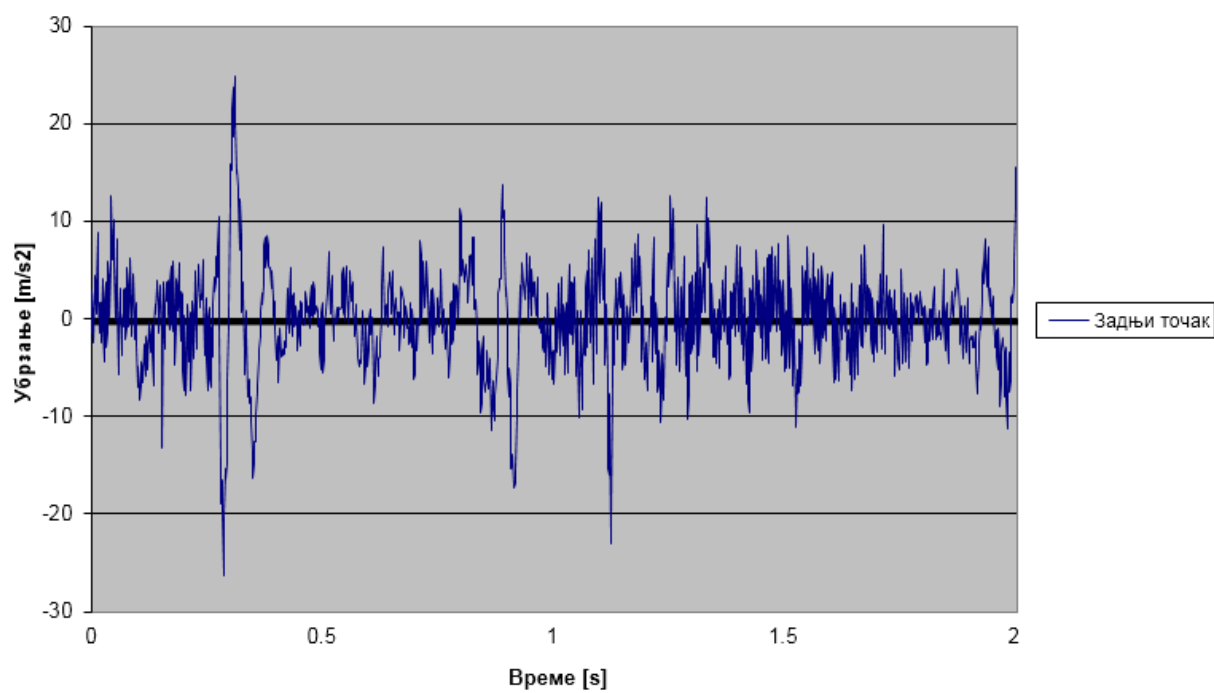
Предњи точак 0s-2s



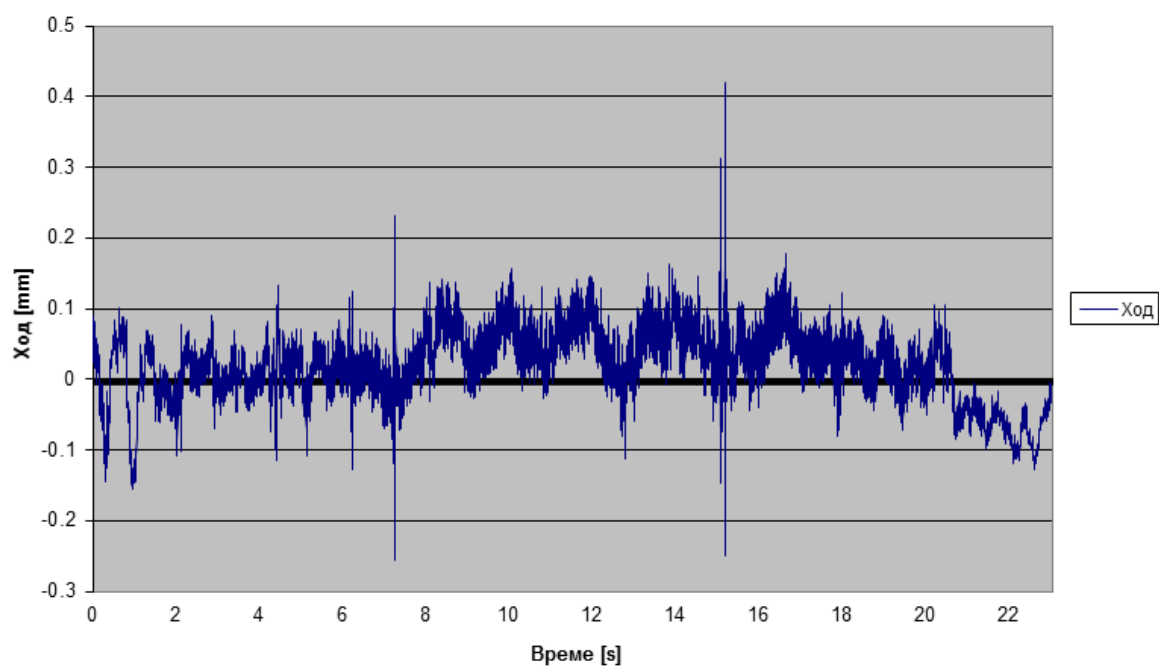
Задњи точак

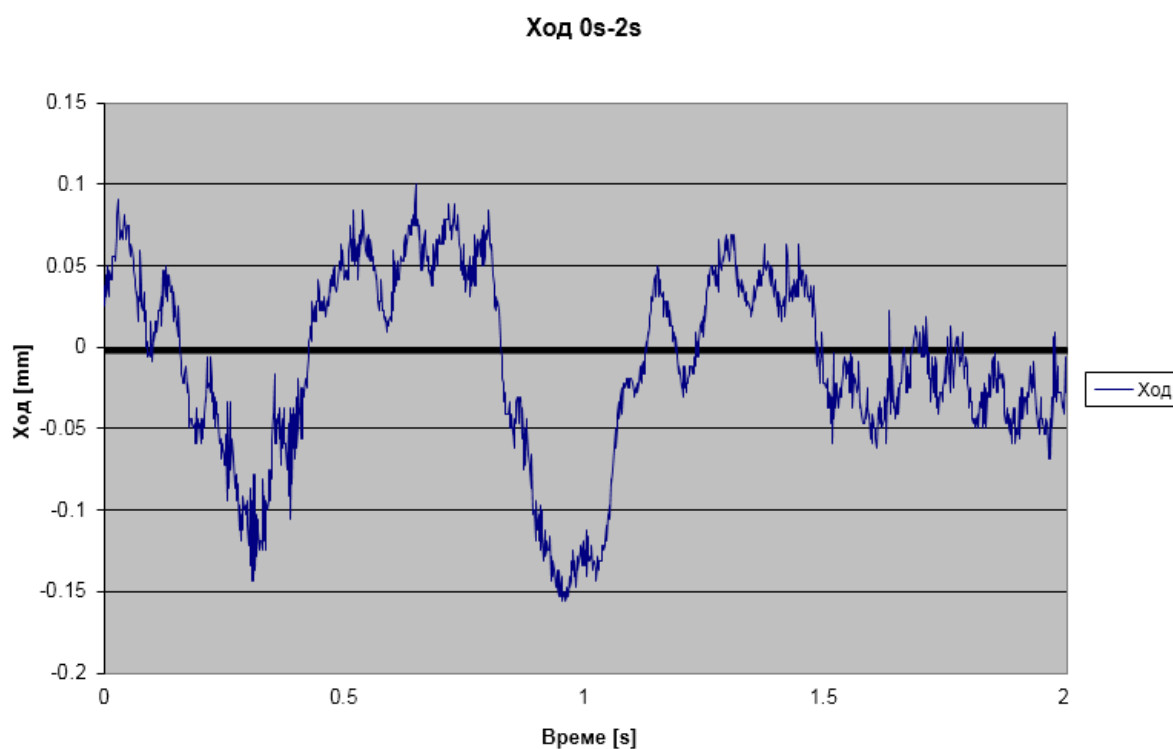


Задњи точак 0s-2s



Ход





Дијаграм 6.25 Правoliniјско кретање константном брзином 130 km/h

Због великог обима експерименталних резултата треба нагласити, да за сваки од приказаних резултата мерења, урађено је од 3 до 5 поновљених мерења, која су показала поновљивост експерименталних резултата.

Табела 6.26 Правoliniјско кретање брзином 70 km/h

Правoliniјско кретање брзином 70 km/h						
	X- тежиште	Y- тежиште	Z- тежиште	Задњи точак	Предњи точак	Ход
StDev	2.10857	2.168389	3.171968	4.6585958	3.0786278	0.057453
Aver(ABS)	1.752377	1.730764	2.632066	3.6697792	2.1802640	0.035913
Average	0.046212	0.002993	0.542322	-0.0291728	0.0111433	-0.01289
RMS	2.109076	2.168391	3.217995	4.6586871	3.0786480	0.058882
StDev	2.156799	2.463034	3.398031	4.827967113	3.3153859	0.093104
Aver(abs)	1.722701	1.943344	3.078296	3.785596625	2.3657953	0.048209
Average	-0.04246	0.020221	1.638914	-0.06123571	0.0350229	-0.02432
RMS	2.157217	2.463117	3.772619	4.82835544	3.3155709	0.096228
StDev	1.920825	1.954598	3.154604	4.755127181	3.2370010	0.038994
Aver(abs)	1.556921	1.538469	2.597461	3.723003039	2.3213915	0.029346
Average	-0.03081	0.039083	0.540663	-0.07011603	0.0183227	-0.01173
RMS	1.921072	1.954989	3.2006	4.755644095	3.2370528	0.040721

Табела 6.27 Праволинијско кретање брзином 120 km/h

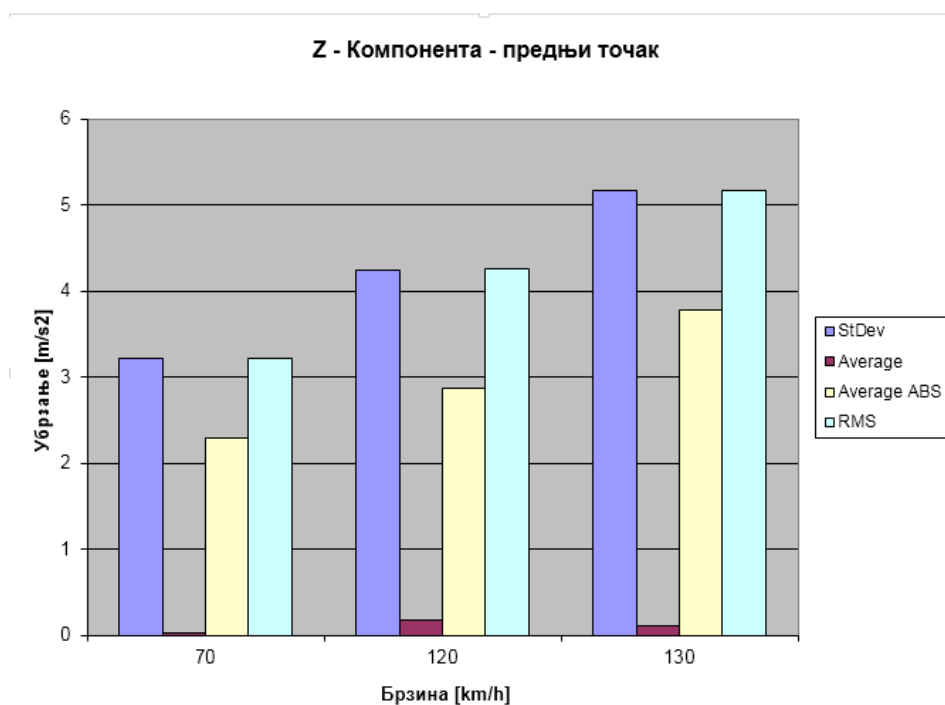
Праволинијско кретање брзином 120 km/h					
	X-тежиште	Y- тежиште	Z- тежиште	Задњи точак	Предњи точак
StDev	2.338664	2.737837	3.225728	5.998842465	3.83787259
Aver(ABS)	1.902748	2.142309	2.636134	4.610413333	2.676801046
Average	0.140392	0.095679	-0.18353	-0.02019607	0.430116601
RMS	2.342874	2.739509	3.230944	5.998876461	3.861899313
StDev	1.87074	2.399439	3.042105	5.215890017	4.458980272
Aver(ABS)	1.570519	1.850334	2.456216	3.55360948	2.841831485
Average	0.775293	-0.03366	0.248511	-0.05921026	0.03365362
RMS	2.02503	2.399675	3.052239	5.216226081	4.459107268
StDev	2.316786	2.456924	3.369907	5.143564759	3.885629446
Aver(ABS)	1.877447	1.940379	2.876028	3.901226679	2.758101397
AVERAGE	0.178936	-0.05196	-1.13426	-0.09890761	0.097770617
RMS	2.323686	2.457474	3.555673	5.144515637	3.886859308
StDev	2.417268	2.593741	3.363346	7.291847882	4.798833703
Aver(ABS)	1.94052	2.039827	2.944304	5.385299906	3.085084616
Average	-0.16221	-0.08967	-1.30674	-0.14070223	0.10501928
RMS	2.422704	2.595291	3.608278	7.293205239	4.799982704
StDev	2.284931	2.715935	3.432158	5.256350871	4.256514119
Aver(ABS)	1.860276	2.156279	2.88131	3.840535838	2.941791032
Average	0.349831	-0.16014	-0.97169	-0.10755799	0.106482514
RMS	2.311556	2.720652	3.567056	5.257451208	4.257845813

Табела 6.28 Праволинијско кретање брзином 130 km/h

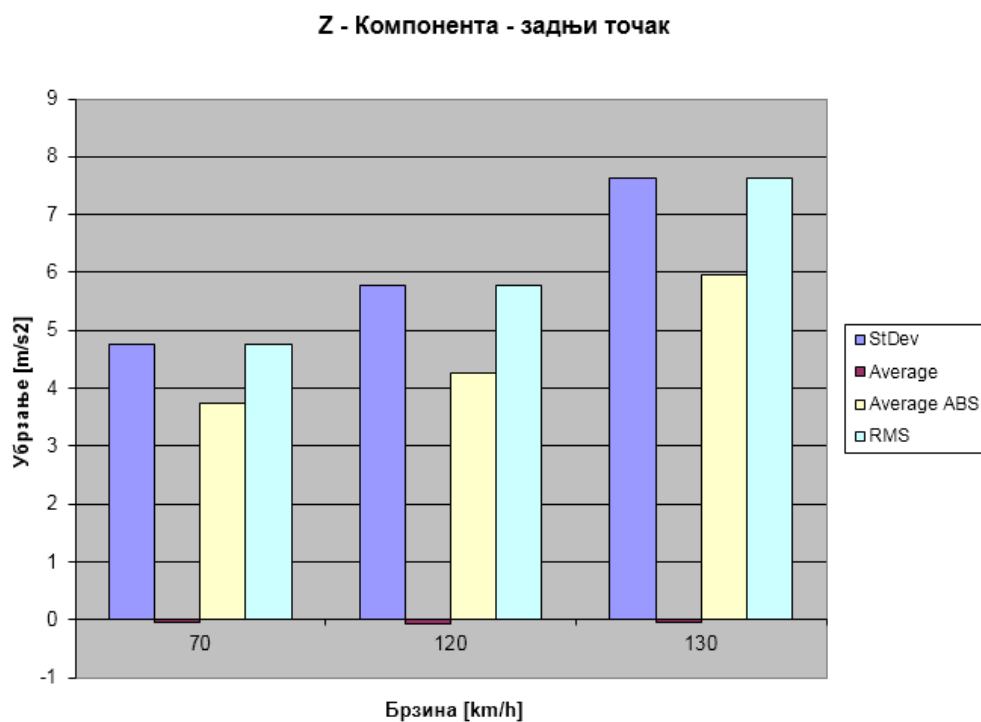
Праволинијско кретање брзином 130 km/h						
	X- тежиште	Y- тежиште	Z- тежиште	Задњи точак	Предњи точак	Ход
StDev	1.878995	2.143556	3.054937	7.288019	5.396988	0.050031
Aver (ABS)	1.374959	1.666934	2.478493	5.567928	3.983198	0.043022
Average	-0.03852	-0.16771	-0.38427	-0.06395	0.089347	0.01825
RMS	1.879389	2.150107	3.07901	7.288299	5.397727	0.053256
StDev	1.693188	2.421592	3.136839	7.59361	5.174166	0.049779
Aver (ABS)	1.249695	1.884024	2.577668	5.919346	3.761344	0.042257
Average	-0.11992	-0.15478	-0.48432	-0.00863	0.110833	0.025062
RMS	1.69743	2.426533	3.174007	7.593615	5.175353	0.055732
StDev	1.756024	2.418678	3.247561	8.011143	4.931688	0.059345
Aver (ABS)	1.295722	1.926101	2.724626	6.417763	3.568331	0.045161
Average	-0.12529	-0.07436	-0.7451	-0.03328	0.144085	0.005627
RMS	1.760488	2.419821	3.331942	8.011212	4.933792	0.059611

Табела 6.29 упоредни приказ статистичких вредности мерења при праволинијском кретању брзинама 70 km/h; 120 km/h; 130 km/h

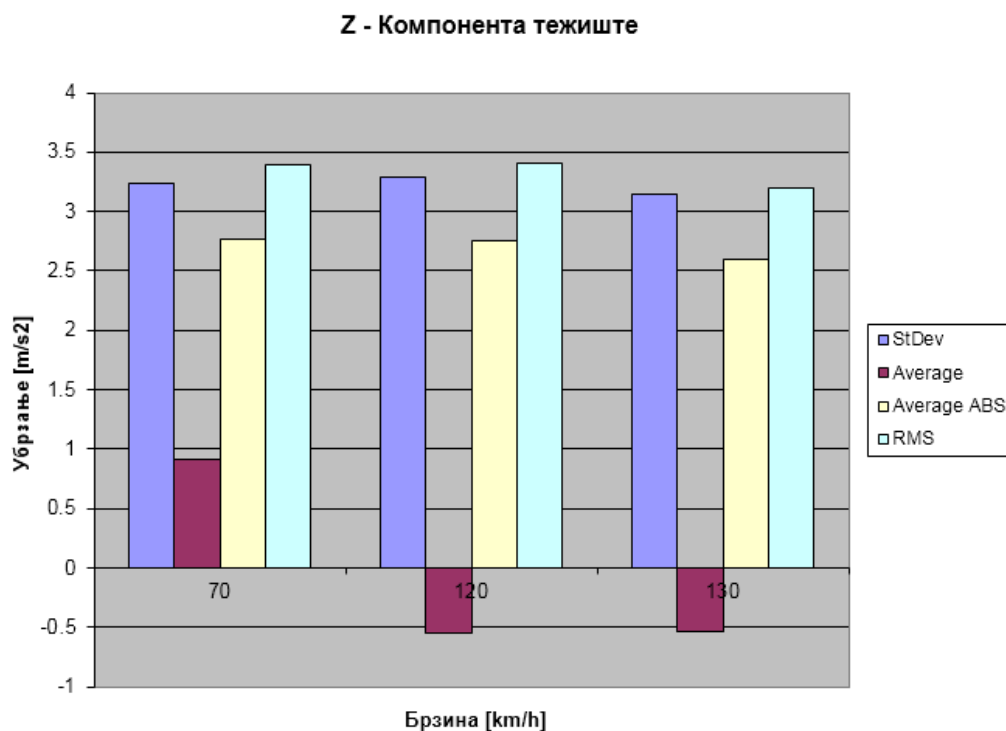
Stdev	X- тежиште	Y- тежиште	Z- тежиште	Задњи точак	Предњи точак	Ход
70	2.062064	2.19534	3.241534	4.747230034	3.210338281	0.063184
120	2.245678	2.580775	3.286649	5.781299199	4.247566026	
130	1.776069	2.327942	3.146446	7.630924098	5.167614008	0.053052
Average						
70	-0.00902	0.020766	0.9073	-0.05350818	0.021496344	-0.01632
120	0.275827	-0.04695	-0.55336	-0.08191664	0.168818004	
130	-0.09458	-0.13228	-0.5379	-0.03529023	0.114754999	0.016313
Average ABS						
70	1.677333	1.737525	2.769274	3.72612631	2.289150305	0.037823
120	1.830302	2.025826	2.758798	4.258217047	2.860721915	
130	1.306792	1.825687	2.593596	5.968345668	3.770957658	0.04348
RMS						
70	2.062455	2.195499	3.397071	4.747562228	3.21042395	0.065277
120	2.28517	2.58252	3.402838	5.782054925	4.253138881	
130	1.779102	2.332154	3.194986	7.631042314	5.168957604	0.0562



Дијаграм 6.26 Убрзања у центру предњег точка у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања



Дијаграм 6.27 Убрзања у центру задњег точка у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања



Дијаграм 6.28 Убрзања у тежишту мотоцикла у правцу Z-осе у зависности од брзине кретања

6.4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ДИСКУСИЈА

Добијене експерименталне резултате можемо анализирати на основу локација и места испитивања, као и поређењем са симулационим истраживањима из претходног поглавља.

1. Експериментална испитивања мерења убрзања при стационарним режимима на линији техничког прегледа. Анализом измерених вредности, долазимо до закључка колике динамичке силе можемо очекивати на предњем и на задњем точку, као и у тежишту система мотоцикл-возач при различитим режимима рада мотора мотоцикла. Варијације динамичких сила у центру предњег и задњег точка имају за последицу промену силе кочења, а тиме директно утичу и на стабилности мотоцикла у условима кочења. Силе у тежишту осим утицаја на стабилност мотоцикла, утичу и на осцилаторну удобност, комфор возача и сувозача. Ако је систем мотоцикл-возач изложен дуготрајним вибрацијама, јављају се различити негативни ефекти, који могу да се одразе на безбедност вожње, као и на здравље возача (синдром „белих прстију“). Овим вибрацијама највише су изложени возачи мотоцикала и мопеда, који користе ово возило за обављање примарне делатности (поштари, саобраћајни полицајци, курири, достављачи брзе хране и сл.).

2. Експериментална испитивања мотоцикла на путу, стази за вожњу ауто-мото трка као и полигонима за обуку возача при чему је систем возач-мотоцикл изложен реалним условима која су претходно наведена у сегментима два, три, четири и пет.

Режими вожње, када мотоцикл улази, или излази из кривине могу бити обухваћени, кроз анализу експерименталних резултата у којима се мотоцикл кретао по кругу што је приказано у мерењима VII и VIII. При овим мерењима возач је деловао на промену угла управљачког система, што представља улаз у посматрани систем. На добијеним графицима се примећује значајни пораст убрзања у тежишту мотоцикла, у бочном (y) и вертикалном (z) правцу, као и промене вертикалних убрзања у центрима предњег и задњег точка. Возач мотоцикла, при кретању кроз кривину, осим деловања на управљачки систем, помера и сопствено тело, чиме остварује промену угла мотоцикла, као и тежишта комплетног система (мотоциклист-мотоцикл). Развијање адекватног субмодела биће разматран у даљим истраживањима.

У експерименту који је обављен у трећем сегменту (IX мерењу) примећује се зависност, која је у сагласности са симулационим моделом, тако да се у вертикалним реакцијама у центрима точкова испољава повећање оптерећења предњег точка, као и растерећење задњег точка, које је возач мотоцикла компензовао својим стилем кочења, како би задржао стабилност мотоцикла.

Режими вожње у којима фигурише вертикална побуда при брзинама од 17km/h, 30 km/h и 60 km/h (четврти сегмент) су приказани у експерименталним мерењима (X, XI, XII). На приказаним графицима се примећује да у тренуцима наилазак на препреку значајно се испољава величина вертикалних убрзања у центрима предњег и задњег точка, који представљају побуду система. Систем реагује на побуду значајним повећањем убрзања у све три компоненте у тежишту мотоцикла, док је на управљачком систему регистрована промена угла управљача, која је у сагласности са измереним вредностима на осталим мерним местима, а коју возач мора да коригује, како би остварио безбедно управљање мотоциклом и повратио стабилност целокупног система.

Пети сегмент мерења је праволинијско кретање константном брзином при коме су снимљени осцилаторни процеси у центрима точкова, тежишту система (три компонентне убразања) и ход на управљачу. Добијени записи омогућавају да се посебно издвоје типични осцилаторни процеси изазвани специфичним стањима на коловозу, као што су оштећења, деформације, једном речју стање коловоза након одређеног периода употребе. Уз напомену да су записи ових осцилаторних процеса на путу реална стања која при праволинијској вожњи указују на корелацију побуде предњег и задњег точка са обзиром да се исти крећу по истом трагу и побуђују се са временским кашњењем у једнаком односу l/v где је l - међуосно растојање точкова мотоцикла, а v - брзина кретања мотоцикла. Ову чињеницу потврђују експериментално добијени резултати, а конкретан показатељ је функција кохеренце између побуде предњег и задњег точка са вредностима које се приближавају јединици.

3. Симулациона испитивања на осцилаторном моделу мотоцикла који је у сагласности са експерименталним испитивањем осцилаторних процеса мотоцикла регистрованих на путу. Предност симулационог метода је у варирању побуда предњег и задњег точка и праћење реакција у тежишту система.

7. ЗАКЉУЧЦИ

Закључци су систематизовани сагласно деск истраживањима, резултатима рачунарске симулације и извршених експерименталних мерења, а у свему као потпора доказивања постављених хипотеза.

Динамичке карактеристике мотоцикла у релацији са понашањем возача битно утичу на безбедност саобраћаја. Саобраћајне незгоде са мотоциклима су најчешће са тежим последицама. Значајан утицај на ниво активне безбедности мотоцикла испољен је кроз његову динамику вуче и динамику кочења. Специфичности конструкција и сама комплексност кинематике и динамике мотоцикла у знатном степену усложњавају упоредно спровођење теоријских и експерименталних истраживања за моделе, генерално.

На бази добијених резултата динамичких параметара кретања мотоцикла, идентификовани су показатељи динамичког понашања мотоцикла за следеће режиме:

- а) процес кочења,
- б) за процес залета,
- ц) за режиме кретања константном брзином,
- д) за режиме осциловања,
- е) за режиме изражене интеракције динамичких равни.

Процеси залета и кочења, праћени сложеним вибрацијама које изазивају нестабилност кретања, представљају посебне проблеме при пројектовању и реализацији експерименталног система и при спровођењу експеримената за идентификацију динамичких карактеристика вуче и кочења. Решења се траже у коришћењу компактних, мобилних мерних система, а корак даље су бесконтактни давачи мерних величина, бежични пренос сигнала, њихова интеграција са GPS системима.

Један од таквих је систем мерних давача за регистровање и обраду мерних података, анализатор осцилаторних процеса B&K, РС подржан са HMB Spider 8, коришћен у овој дисертацији. У релацији са коришћеним мерним системима су и примењене методе за обраду података. У функцији времена или пута, регистроване су компоненте убрзања – успорења, а методама нумеричке интеграције и нумеричког диференцирања су добијене брзине и померања на мерним местима.

Комплетан приказ промене показатеља залета у релевантном временском домену је од посебног значаја за оцену активне безбедности мотоцикла тј. његове динамичке карактеристике и изборе режима кретања при претицању.

Идентификоване динамичке карактеристике мотоцикла које су реализоване у експерименталним мерењима при режиму залета мотоцикла показују да је значајан ниво убрзања у сва три правца у тежишту мотоцикла и то при праволинијској вожњи. Убрзања су најинтензивнија у подужном правцу, али значајне вредности убрзања су регистроване и у бочном као и у вертикалном правцу. Возач мотоцикла и при праволинијској вожњи повремено користи својства бочне динамике, како би стабилизовао положај мотоцикла. Мотоцикл, као једнотражно возило, не поседује сопствену стабилност положаја нити стабилност правца кретања. Из тих разлога је тежак за управљање и са великим ризиком изазивања саобраћајних незгода и повређивања возача. Чест узрок саобраћајних незгода је погрешно кочење и пад

возача са мотоцикла. Симулациони и експериментални резултати показују да су критични режими кочења са аспекта стабилности кретања мотоцикла они, при којима задњи точак губи контакт са тлом, као и режими при којима предњи точак блокира. Гранична успорења при овим режимима дефинишу домене стабилног и нестабилног кочења. Симулациона и експериментална истраживања као и бројне експертизе саобраћајних незгода у којима су учествовали мотоцикли, указују на потребу масовније примене технологије активне контроле процеса кочења у стресним ситуацијама.

Поред процеса кочења на стабилност мотоцикла утичу и импулсне побуде од пута и окружења (ветар, као и турбуленције ваздушне средине у условима саобраћаја, ефекти опструјавања и узајамне побуде возила при мимоилажењу претицању и кретању мотоциклисте између других возила). Експериментална испитивања су показала, да се у случају изненадне вертикалне побуде, јавља значајна компонента дестабилизације управљача, за који возач мора да има адекватан одговор у смислу кориговања момента на управљачу. Импулсним побудама треба да се дода и тренутна панична побуда возача, коју сам возач треба да стабилизује. Ако реакција возача није адекватна, долази до губитка контроле управљања мотоциклом и настанка саобраћајне незгоде.

У односу на двотражна возила једнотражна возила су тежа за управљање због сложене интеракције са окружењем и возачем, неопходне у циљу одржавања стабилности правца кретања и положаја. Ова истраживања су веома комплексна, а савремена симулациона техника у том правцу уводи одређена олакшања и смањује потребне трошкове.

Нестационарни режими кретања мотоцикла, убрзавање и кочење, карактеристични су по начину понашања возача, износу коришћења потенцијала приањања пнеуматик – коловоз и сврставају се у режиме повећаног ризика од настанка саобраћајне незгоде. У току ових режима генеришу се комплексни осцилаторни процеси носеће структуре мотоцикла, који како утичу на замор возача тако и на ефикасност његовог управљачког дејства.

Проширење приказаних модела возачем би била надградња на ова истраживања, где би се приказани резултати користили као улаз.

Резултати приказани у дисертацији указали су на комплексну интеракцију саставних компонената система у све три релевантне динамичке равни кретања, којој треба посветити пажњу у даљим истраживањима усмереним ка побољшању безбедносно – техничких карактеристика мотоцикла, као и квалитетније обуке возача. У симулационом моделу кочења приказаном у поглављу 5, јасно се показује да са порастом подужног успорења, односно, интензитета кочења задњи точак се растеређује, а предњи, за исти износ допунски оптеређује. Ово је експериментално потврђено преко ходова центара предњег и задњег точка, као и преко вредности убрзања/успорења.

Подударање симулационих и експерименталних резултата упућује на уградњу система за активну контролу процеса кочења, квалитетније обуке у ауто-мото школама методама симулације, као и додатне едукације возача који поседују возачку дозволу, али не владају потребним вештинама управљања мотоциклом, а све у циљу повећања укупне безбедности саобраћаја. У ауто-мото школама, а нарочито на додатним семинарима, полазницима би се указало на проблематику стабилности и опасности које вребају возаче при нестационарним режимима вожње у сложеним условима саобраћаја.

Измерена убрзања у центрима точкова су променљиве стања система која се доводе у везу са излазима система (три измерене компоненте у тежишту система посредством троосног давача убрзања) на бази којих се могу одредити преносне

функције мотоцикла, а резултати мерења омогућавају да се одреди преносна функција на релацији измерено убрзање у центру предњег точка у односу на генерисана убрзања у сва три правца у тежишту мотоцикла за дате услове (пут, режим кретања, брзина кретања). Исто се односи и на убрзања у центру задњег точка. Ово би представљало парцијалне преносне функције мотоцикла. Истовремено се може одредити и резултујућа преносна карактеристика мотоцикла при мерењу убрзања у центрима оба точка. У првом случају се сагледава утицај побуде само на једном точку, предњем или задњем, а у другом случају истовремени утицај побуде на оба точка. Центар точка са тлом повезује еластични пнеуматик и елементи везе.

У том смислу, измерени сигнали у центрима точкова мотоцикла у овим истраживањима су еквиваленте побуде мотоцикла и на бази њих је одређивање реалне побуде у контакту пнеуматика точкова мотоцикала и коловоза.

Са друге стране, измерене променљиве x, y, z у тежишту мотоцикла су еквивалентне побуде возача мотоцикла у три ортогонална правца, на основу којих се могу одредити преносне карактеристике возача у наведеним правцима са аспекта осцилаторног оптерећења, односно комфора и регулационо техничких показатеља управљања у крајњем резултату показатеља безбедности кретања система мотоциклиста – мотоцикл – пут.

7.1. ИСПУЊЕНОСТ ХИПОТЕЗА

Губитак стабилности мотоцикла при праволинијском кретању може се утврдити на основу динамичких модела и параметара кретања и приањања мотоцикла. И рачунски и експериментално су идентификована убрзања, која су у директној пропорционалности са динамичком силом, од које зависе реакције тла.

Показано је да процес кочења изазива губитак стабилности мотоцикла у смислу промене реакције на задњем точку, па је експерименталном идентификацијом успорења и адекватним симулационим моделом за процес кочења потврђено да постоје критичне вредности успорења за раличите режиме оптерећења мотоцикла (симетрично и несиметрично у симулационим моделима).

Процес интензивног убрзавања-залета мотоцикла има удео у управљивости мотоцикла, па је идентификацијом убрзања и адекватног симулационог модела за процес залета, дат допринос у анализи параметара безбедности вожње.

Осцилаторни и вибрациони процеси имају значајан утицај на дестабилизацију управљања мотоциклом.

Неадекватно деловање возача на команде мотоцикла (ручне, ножне и померање тела), утиче на дестабилизацију мотоцикла, чиме се угрожава безбедност саобраћаја.

Идентификација успорења у сва три правца на телу возача би била корисна у едукационе сврхе у смислу обуке нарочито младих возача.

Измереним резултатима убрзања (успорења) и релевантних померања, добијеним са одговарајућом опремом, била би извршена идентификације динамичких карактеристика чији би резултати имали своје место у обуци возача у ауто-мото школама, а била би применљива и на обукама возача који већ поседују одговарајућу возачку дозволу, а схватају да им је потребно додатно усавршавање.

Применом резултата истраживања може се значајно побољшати ефикасност рада у превенцији саобраћајних незгода са мотоциклистима, што се за сада чини углавном сагледавањем статистичких резултата истраживања незгода. Модели за предикцију настанка саобраћајне незгоде могу да буду проширени резултатима утицаја убрзања, како би се одредиле мере заштите и превенције.

7.2. НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА

Преносна карактеристика је дата на основу измерених вредности. Комбиновани модел је развијен (експериментални и симулациони) у циљу симулације и идентификације релевантних преносних функција у одређеним ситуацијама, односно режимима вожње на одговарајућим класама пута (стаза за вожњу ауто-мото трка "Шумадија Сајам" Крагујевац, као и на улицама и путевима града Крагујевца) и у одређеним лабораторијским условима (лабораторија АМСС-ЦМВ, линије техничких прегледа "Тандем доо" и "ММ Бест").

Елементи преносне функције су одређени уз помоћ приказаних модела за карактеристичне режиме кретања (кочење, залет, константна брзина кретања, прелаз типичних препрека на путу), за краткотрајне побуде (поремећаје) са једне стране, за временске побуде у коначним интервалима времена, као и за њихове комбинације, теоријски и експериментално (примери временских записа добијених на путу при константној брзини кретања, променљивој брзини, праволинијском кретању и кретању по кругу). У приказаним резултатима, анализирани су симулациони и идентификациони модели а њихова подобност примене је илустрована конкретно добијеним резултатима у временском и фреквентном домену.

Посебан је значај развијене подлоге за одређивање преносних карактеристика система применом спектралне анализе. На овим основама и концепту развијеног комбинованог модела (теоријско-експерименталног) динамичких параметара кретања мотоцикла, омогућено је истраживање у најопштијем случају комплексног нелинеарног система изложеног дејству како тренутних поремећаја тако и временски променљивих и стохастичких процеса. У свим претходно приказаним симулационим и идентификационим моделима за карактеристичне режиме могу се успоставити различити видови преносних карактеристика на релацији побуда, структура и реакција система, односно краће речено улаз→систем→излаз, као што је приказано симулационим динамичким моделима и идентификационим експерименталним моделима, а у формама физичких модела.

Карактеристична примена експерименталних преносних карактеристика је први пут у нашој литератури дата на осцилаторном моделу мотоцикла.

Моделирање је извршено постављањем физичког модела из кога су проистекли симулациони суб-модел и идентификациони модел којим се приказују различити облици сложених динамичких процеса и омогућава анализа релевантних параметара.

Идентификација преносних функција и њихова експериментална валидација на приказаним моделима, су од суштинског значаја за истраживање активне безбедности мотоцикала. Експериментална идентификација динамичких величина је оригинални допринос и представља платформу за истраживање параметара других, будућих типова мотоцикала. На тај начин ова дисертација отвара простор за будућа истраживања свих једнотражних возила.

Осим тога моделирање и симулирање кретања мотоцикла у вертикалној-подужној равни, омогућава сагледавање утицајних фактора на вибрационе процесе мотоцикла са аспекта комфора и безбедности кретања и у том смислу налажење компромисног решења између ових фактора у погледу усаглашавања конструктивних и експлоатационих параметара. Истовремено, оваквим, будућим истраживањима, би се формирала значајна база информација о карактеристикама

понашања мотоцикла, што ће да постане неопходно за обуку возача у условима у којима због, све веће популарности, еколошких захтева и других разлога, њихово коришћење постаје све масовније.

8. ЛИТЕРАТУРА

- Aleksandrović B., Radonjić R., Radonjić D., Janković A., (2014): "Researching Motorcycles Stability at Motion", Int. Congress MVM 2014, Kragujevac, 9-10- oktobar, pp. 461-465, ISBN 978-86-6335-010-6.
- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Radonjić, D., Janković, A. (2015): "Uticaj karakteristika sistema motociklist-motocikl-put na bezbednost saobraćaja", Savetovanje sa međunarodnim učešćem na temu saobraćajne nezgode, Zlatibor, 14.-16. Maj, pp. 576-614, ISBN 978-86-86931-12-2.
- Aleksandrović, B. Đapan, M., Janković, A., (2010): "Identifikacija vibracija na ramu motocikla – bezbednosni aspekti", Naučno savetovanje na temu saobraćajne nezgode, Zlatibor, 20.-22. Maj, pp. 226-233, ISBN 978-86-7514-040-5.
- Aleksandrović, B., Đapan, M., Janković A., (2010.): „Experimental research of dynamic stresses of motorcycle frame“, Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 36, num. 3, 21-36, December
- Aleksandrović, B., Đapan, M., Radonjić, R., Janković, A., (2011): "Istraživanje korelacije oscilatornih procesa motocikla pri nestacionarnim režimima kretanja", 10. Međunarodna konferencija o dostignućima elektrotehnike, mašinstva i informatike „DEMI 2011“, Banja Luka, 26.-28. Maj, ISBN 978-99938-39-23-1;
- Aleksandrović, B., Djapan, M., Radonjić, R., Janković, A. (2011): Experimental research of motorcycles's frame vibration during acceleration and braking, Medjunarodni naučno-stručni skup nauka i motorna vozila (science and motor vehicles), Beograd, 19.- 21. April, pp. 525-538, ISBN 978-86-80941-36-3.
- Aleksandrović, B., Krstić, G., Janković, A. (2006.): "Bezbednost motocikla pri kočenju", VIII simpozijum sa međunarodnim učešćem „Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 2006", Novi Sad, 26.-28. Oktobar.
- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Janković, A., Prašević, M. (2013): "The Influence Of Motorcycle Vibration Process On Driver Safety, Facta Univerzitatis", Series Working and Living Environmental Protection, Vol.10, No.1, pp. 1-12, ISSN 0354-804X(print), ISSN 2406-0534 (Online).
- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Janković, A. (2012): "Researching The Effects Of Motorcycle's Vibrational Processes On Safe Drive", 23rd National Conference & 4th International Conference "Noise and Vibration" in Niš, 17.-19. October. Nis, Serbia, pp. 171-178. ISBN 978-86-6093-042-4.
- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Janković, A. (2015): "Researching about behavior of cybernetic system driver-motorcycle at limited regimes movement", 12. Međunarodna konferencija o dostignućima elektrotehnike, mašinstva i informatike „DEMI 2015“ 29.-30. Maj, Banja Luka, 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology.
- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Đapan, M., Janković, A. (2011): "The research of correlations between motorcycle oscillatory processes during the non-steady modes of motions", DEMI 2011, 10th Anniversary International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, p. 765-770.
- Aleksandrović, B. (2009.): "Neki aspekti aktivne bezbednosti motocikla", magistarska teza, Kragujevac, jul 2009.

- Aleksandrović, B., Radonjić, R., Janković, A., Radonjić, D. (2012): „Investigation Of The Tractor Aggregates Influence To Its Primary Functions“, Journal of Yugoslav Society of Power Machines, Tractors and Maintenance, Tractors and Power Machines, Vol.12, No.2/3, pp.14 -20, ISSN 0354-9496.
- Appel, H., Kramer, F., Morres, H. (1990.): „Unfallforschung und Unfallmechanik, Institut fuer Kraftfahrzeugtechnik“, TU Berlin.
- Appel, H., Meissner, T. (1998.): „Kraftfahrzeugtechnik I; Umdruck zur Vorlesung“, TU Berlin.
- Baldi, S., Baer, J., Cook, A. (2004): “Identifying Best Practices States In Motorcycle Rider Education And Licensing”, Journal of Safety Research, DOI: 10.1016/j.jsr.2004.11.001.
- Belmondo, J.P. (2003). et al.: “Performance evaluation for various braking systems of street motorcycles”, Promocycle Foundation, by the Federation Motorcyclist du Quebec, p1-19.
- Bertoluzzo M., Buja G., Cossalter V., Doria A., (2008) “*Development of an Easy-to-Ride Electric 3-Wheel Vehicle*”, FISITA F2008-07-022.
- Bridges, P., Russell, J.B. (2007): “The Effect Of Top-boxes On Motorcycle Stability”, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI 10.1080/00423118708968891.
- Cossalter, V., Lot, R., and Maggio, F. (2002.): “The Modal Analysis Of A Motorcycle In Straight Running And On A Curve”, Department of Mechanical Engineering, University of Padova, Italy.
- Cossalter, V., Doria, A., Lot, R., Ruffo, N. i Salvador M. (2010.): “Dynamic Properties Of Motorcycle And Scooter Tires: Measurement And Comparison”, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI 10.1076/vesd.39.5.329.14145.
- Cossalter V., Da Lio, M., Lot, R., Fabbri, L. (2010): “A General Method For The Evaluation Of Vehicle Manoeuvrability With Special Emphasis On Motorcycles”, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI 10.1076/vesd.31.2.113.2094.
- Cossalter V., Massaro, M., Peretto, M., Bobbo, S. Appllication of the Optimal Maneuver Method for Enhancing Racing Motorcycle Performance, SAE 08MSEC-0079.
- Cossalter V., Lot, R., Dalla Torre, G., Massaro, M. (2008): “A Multibody Tool for the Optimization of the Suspension Setup and Geometric Layout of Racing Motorcycle” FISITA F2008-12-139.
- Cossalter V., Lot, R., Peretto, M. (2007): “Motorcycles Steady Turning”, Journal of Automobile Engineering, Vol. 221 Part D, pp. 1343-1356.
- Cossalter V., Lot, R., Sartori, R., Massaro, M. (2008): “A Motorcycle Riding Simulator for the improvement of the Rider Safety”, FISITA F2008-11-015.
- Cossalter V. (2006): „Motorcycle dynamics“; 2nd English edition.
- Cossalter, V., Lot, R. (2010.): “A Motorcycle Multi-Body Model For Real Time Simulations Based On The Natural Coordinates Approach”, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Volume 37, 2002, Issue 6.
- Danner, M., Langwieder, K., Spörner, A. (1985): „Accidents of Motorcyclists – increase of safety by technical measures on the basis of knowledge derived from real-life accidents“. HUK-Verband, Insitut fur Zweirad Sicherheit, ESV-Conference, Oxford.
- Deguchi, M., (2012): “YAMAHA MOTOR CO.LTD.”: “Simulation Of Motorcycle-Car Collision”, Paper Number 05-0041, Japan.

- Demić, M. (1996): "Mehanika motocikla", Mašinski fakultet Kragujevac, DSP Mecatronic, Kragujevac.
- Evangelou, S., Limebeer, D.J.N., Sharp, R. S., Smith, M.C. (2006): "Control Of Motorcycle Steering Instabilities", IEEE Control Systems, DOI: 10.1109/MCS.2006.1700046.
- Evangelou, S., Limebeer, D., Sharp, R. and Smith M. (2007): "Mechanical Steering Compensators For High-Performance Motorcycles", Journal of Applied Mechanics.
- Fiala, E. (1966.): „ Lenken von Kraftfahrzeugen als kybernetische Aufgaben“, ATZ, 3/1968, s.156-162.
- Funke, J., Breuer, B. (2000): „Dynamische Vorderrad-Überbremsung bei Motorrädern. Forschungsbericht“, TU Darmstadt.
- Gačić, M., Aleksandrović, B., Tošković, J., Živanović, I. (2012): "Troškovi saobraćajne nezgode i procenjena vrednost štete-studija slučaja", Savetovanje sa međunarodnim učešćem na temu saobraćajne nezgode, Zlatibor, 20.-22. Maj, pp.56-63, ISBN 978-86-86913-08-5.
- Green, D. (2006): "A comparison of stopping distance performance for motorcycles equipped with ABS, CBS and conventional hydraulic brake systems". International Motorcycle.
- Harnen, S., Wong, S.V., Radin Umar, R.S., Wan Hashim, W.I. (2003): "Motorcycle Crash Prediction Model For Non-Signalized Intersections", IATSS Research Journal, DOI:10.1016/S0386-1112(14)60144-8.
- Hima, S., Nehaoua, L., Seguy, N., Arioui, H. (2007): "Motorcycle Dynamic Model Synthesis For Two Wheeled Driving Simulator", 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.
- Hedlund, J. (2011): "Motorcyclist traffic fatalities by State Governors Highway Safety Association", p. 1 – 15.
- Heinze, G.W., Kill, H.H. (1991): "Chancen für das Motorrad im Verkehrssystem von morgen", 4. Fachtagung Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik, München 1991, VDI Bericht Nr. 875, S.357-368. VDI-Verlag Düsseldorf.
- Henker, E. (1993): Fahrwerktechnik. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden.
- Herrmann, R., Gregotsch, K., Groß, G. (1987): "Entwicklung eines lärmarmen Motorrads". FE-Bericht 105 05 209, Umweltbundesamt Berlin.
- Heyl, G., Lindener, N., Stadler, M. (1993): "Akustische/aeroakustische Eigenschaften von Motorradhelmen." 5. Fachtagung Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik, Berlin 1993, VDI Bericht Nr. 1025, S. 175-203, VDI Verlag Düsseldorf.
- Hucher, S., Smith, T., Hermitte, T. (2007): „ Computational Analysis of Motorcycle Crash-Tests- a Basis for Motorcycle Accident Reconstructions“, CEESAR; France.
- Hurt, N., et al (1981): "Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures", Technical report, Traffic Safety Center, University of Southern California, p. 1-435.
- Janković, A., Aleksandrović, B. (2012): "Periodična kontrola i neki problemi dinamike motocikla", Stručni skup tehnički pregledi vozila Republike Srpske, 16 i 17 jun.
- Janković, A., Radonjić, R., Aleksandrović, B. (2015): "Analiza saobraćajnih nezgoda sa učešćem motocikla", Savetovanje sa međunarodnim učešćem na temu saobraćajne nezgode, Zlatibor, 14.-16. Maj, pp.504-510, ISBN 978-86-86931-12-2.
- Janković, A., Simić, D. (2006): "Bezbednost automobile", DSP Mecatronic, Kragujevac.

- Janković, A., Aleksandrović, B., Joković, N. (2009): "Saobraćajne nezgode na području grada Kragujevca u periodu 2005.-2008". Naučno savetovanje na temu saobraćajne nezgode, Zlatibor,, 21.-23. Maj, pp. 228-236.
- Janković, A., Aleksandrović, B. (2008): „Motocikl danas u svetlu aktivne bezbednosti“, Naučno savetovanje na temu – Saobraćajne nezgode, Zlatibor.
- Janković, A., Aleksandrović, B. (2007): "Crash testovi i dinamički proračuni u funkciji rekonstrukcije saobraćajne nezgode", Naučno savetovanje na temu saobraćajne nezgode, predavanje na sekciji: Savremena motorna vozila – bezbednosni aspekt, Zlatibor, , 24.-26. Maj, pp.21-31.
- Janković, A., Radonjić, R., Radonjić, D., Aleksandrović, B. (2012): „Influence Of Tractor Dynamic Characteristics To Design Of The Tractor Systems“, Journal of Yugoslav Society of Power Machines, Tractors and Maintenance, Tractors and Power Machines , Vol.12, No.2/3, pp.21 -27, ISSN 0354-9496.
- Janković, A. (2007): „Dinamika automobila“, Mašinski fakultet, Kragujevac.
- Janković, A., Simić, D., Joković, S. Nikolić, B. (1994): "Mathematical modeling of the frontal impact", Int. J. MVM Vol 20, Number 4, Decembar Kragujevac.
- Janković, A., Gačić, M., Radonjić, R., Aleksandrović, B. (2012): "Investigation Of Social And Economic Factors Of Child's Safety In A Car In The Region Of Central Serbia", 10th International Conference Protection of Children in Cars, on December 06-07, Munich, Germany.
- Limebeer, D.J.N., Sharp, R. S., Evangelou, S. (2001.): "The Stability Of Motorcycles Under Acceleration And Braking", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science.
- Liu, T.S., Wu, J.C (1993): "A Model For A Rider-Motorcycle System Using Fuzzy Control", IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 23(1): 267 – 276.
- Mazharul Md., Hoong, C.C., Helai, H. (2010): "Applying Bayesian Hierarchical Models To Examine Motorcycle Crashes At Signalized Intersections", Accident Analysis & Prevention Journal, Singapore.
- Mitschke, M. (1972): "Dynamik der Kraftfahrzeuge", Springer – Verlag.
- Mukherjee, S., Chawia, A., Mohan, D., Singh, M., Sakurai, M., Tamura, Y. (2005): "Motorcycle-Car Side Impact Simulation", JARI, Japan.
- Pagano, S. (2004): "A Motorcycle Virtual Model", Dipartimento di Ingegneria Meccanica per l'Energetica Università di Napoli "Federico II", Italy.
- Perović, S., Janković, A., Aleksandrović, B. (2006): "Static analysis of the chassis frame of vehicle", International congress motor vehicles and motors, Kragujevac, 04.-06. Oktobar pp.1-6, ISBN 86-80581-95.
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, A., Radonjić, D. (2012): „Modeling of driver behavior “ International Congres Motor Vehicles & Motores 2012 kongres MVM-2012, Kragujevac.
- Radonjić, R. (1995): „Identifikacija dinamičkih karakteristika vozila“, Monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac.
- Radonjić, R. (2014): "Investigation of the driver – vehicles dynamics". MVM Congres 2014 – 041, p. 502-512.
- Radonjić, R, Janković, A., Aleksandrović, B. (2010): "The Study Of The Single Track Vehicles Dynamics", Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 36, br. 3, 21-33, September
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B. (2011): "Identification Of The Single Track Vehicles Dynamics", Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 37, num. 2, 57-68.

- Radonjić, R., Aleksandrović, B., Radonjić, D., Janković, A., Praščević, M. (2014): "Influence of Vehicle Characteristics on Ride Comfort", Noise and Vibration, Niš, 2014, 29-31. oktobar, pp. 203-208, ISBN 978-86-6093-062-2.
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B. (2011): "Identification of the motorcycle steering properties", Journal Mobility & Vehicle Mechanics, Vol.37, No.2, pp. 57 - 68, ISSN 1450-5304
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B., Radonjić, D. (2012): "Excitating Vehicle's Vibrations From The Road Surface", 23rd National Conference & 4th International Conference "Noise and Vibration" in Nis, 17.-19. October 2012. Nis, Serbia, pp.179-184. ISBN 978-86-6093-042-4.
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B., Radonjić, D., (2012): "Modeling Of Driver Behaviour", International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, October 3rd-5th, 2012, pp.401-410. ISBN 978-86-86663-91-7.
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B. (2012): „Effect Of Terrain Characteris On The Tractor Vibration“, 16th Scientific Conference Current Problems And Tendecies In Agricultural Engineering, Proceedings, Pp.163-173., 14.December 2012. University Of Belgrade, Faculty Of Agriculture, Institute Of Agricultural Engineering, ISBN 978-86-7834-168-7.
- Radonjić, R., Janković, A., Aleksandrović, B. (2012): „Uticaj karakteristika terena na oscilacije traktora “, Naučni časopis Poljoprivredna tehnika, godina XXXVII, broj 3, decembar 2012., strane 11-23, Poljoprivredni fakultet Beograd, Institit za poljoprivrednu tehniku. ISSN 0554-5587.
- Radonjić, R., Janković, A., Radonjić, D., Aleksandrović, B. (2012): „Optimiranje traktorskih sistema sa aspekta opterećenja ljudskog operatera“, Naučni časopis Poljoprivredna tehnika, godina XXXVII, broj 4, decembar 2012., strane 13-22, Poljoprivredni fakultet Beograd, Institit za poljoprivrednu tehniku. ISSN 0554-5587.
- Radonjić, R., Janković, A., Radonjić, D., Aleksandrović, B. (2012): „Optimization Of Tractor Systems With Respect To Human Factor Load“, 16th Scientific Conference Current Problems And Tendecies In Agricultural Engineering, Proceedings, Pp.156-162 , 14.December 2012. University Of Belgrade, Faculty Of Agriculture, Institute Of Agricultural Engineering, ISBN 978-86-7834-168-7.
- Radonjić, D., Radonjić, R. (2014): „Possibilities of using empirical formula for the determination of drive characteristics of modern IC-engines for vehicles“. MVM Congres 2014 – 0231, p. 288-297.
- Rice, R. (1978): "Rider Skill Influences on Motorcycle Maneuvering," SAE Technical Paper 780312 , doi:10.4271/780312
- Romeva, C., u.a (1993): " Effects of sudden slippage of driving wheel over a swinging arm in high powered motorcycles. Mechanical solutions to avoid these effects". Tagungsband 5. Grazer Zweiradtagung, 22/23,04,93 Graz. Mitteilungen des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz, Heft 65.
- Shankar, V., Mannering, F. (1996.): "An Exploratory Multinomial Logit Analysis Of Single-Vehicle Motorcycle Accident Severity", Journal of Safety Research, ISSN: 0022-4375, USA.
- Sharp, R.S., Alstead, C.J. (2007): " The Influence Of Structural Flexibilities On The Straight-Running Stability Of Motorcycle", Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI:10.1080/00423118008968629.
- Sharp, R.S., Peng, H. (2011): "Vehicle Dynamics Applications Of Optimal Control Theory", Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI: 10.1080/00423114.2011.586707.

- Sharp, R.S. (1978): "A Review Of Motorcycle Steering Behavior And Straight Line Stability Characteristics", Technical Paper, 780303.
- Sharp, R.S. (2011): "Rider Control Of a Motorcycle Near to Its Cornering Limits", Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, DOI 10.1080/00423114.2011.607899
- Sharp, R.S., Evangelou, S. and Limebeer, D.J.N. (2004): "Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics", Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, South Kensington Campus, London SW7 2AZ, UK
- Sharp R.S. (2000): "A Motorcycle Model For Stability And Control Analysis", Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Exhibition Road, London SW7 2BY, U.K.
- Simić, D. (1988): "Motorna vozila", treće izdanje. Naučna knjiga, Beograd.
- Simić, D., Radonjić, R. (1990): "Motorna vozila" – Zbirka zadataka. Treće izdanje. Naučna knjiga. Beograd.
- Spiegel, B. (2002): "Die obere Hälfte des Motorrads Motorbuch Verlag", Stuttgart.
- Stoffregen, J. (2006): „Motorradtechnik 6. Auflage Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk“ – ATZ MTZ Wiesbaden.
- Stoffregen, J. (2009): „Motorradtechnik“, durchgesehene und erweiterte Auflage September.
- Tezuka, Y., Ishii, H., Kiyota, S. (2001): "Application Of The Magic Formula Tire Model To Motorcycle Maneuverability Analysis", Article of Honda R&D Technical Review Vol.12 No.1, Japan,
- Thede, P., Parks. L. (2010): „Race Tech's Motorcycle Suspension Bible“.
- Tibken, M. (1993): "Das FAG ABS M3 für Motorräder, ein Beitrag für mehr Sicherheit beim Motorradfahren", 5. Fachtagung Motorrad der VDI – Gesellschaft Fahrzeugtechnik, Berlin 1993, VDI Bericht Nr.1025, 205-225. VDI – Verlag Düsseldorf
- Todorović, J. (1988): "Kočenje motornih vozila", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
- Weibel, K.P., Hackbart, E.O. (1989): "Das motorrad und seine Komponenten im Betriebsfestigkeitslabor." 3. Fachtagung Motorrad, der VDI – Gessellschaft Fahrzeugtechnik, Darmstadt 1989, VDI Bericht Nr .779, S: 235-258: VDI-Verlag Düsseldorf.
- Weidele, A. (1989): "Untersuchungen zur Kurvenbremsung von Motorädern – Gedanken zur Bremssicherheit." 3. Fachtagung Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik, Darmstadt 1989, VDI Bericht Nr. 779, S.303-330. VDI-Verlag Düsseldorf.
- Weidele, A. (1991): "Das Gebrauchsmotorrad der Zukunft – ein Denkansatz. 4. Fachung Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik", München 1991, VDI Bericht Nr.875, S. 369-382. VDI-Verlag Düsseldorf
- Wells, S. et al. (2006): "Motorcycle rider conspicuity and crash related injury: case-control study", BMJ, Volume 328, p 857-860.
- White, S. (2008): "Motorcycle safety and risk factors", On line Journal of Population Healt, University New England, p. 1-4.
- Willumeit, H.P. (1998): „Kraftfahrzeugdynamik, Umdruck zur Vorlesung“, TU Berlin.
- Willumeit, H.P. Nick und Hubbewegung (1994): „Radlasten und Umfangskräfte beim Abbremsen eines Motorrads“. *VDI BERICTE, Motorrad-6. Fachtagung, Köln.*
- Wisselmann, D., Iffelsberger, L., Brandhuber, B. (1993): "Einsatz eines Fahrdynamik-Simulationsmodells in der Motorradentwicklung bei BMW", ATZ 95. Heft 2.

Wisselmann, D., Iffeelsberger, L. (1989): "Computergestützte Simulation der Bewegungsformen von Motorrädern im Frequenzbereich", von 0-30 Hz. 3. Fachtagung Motorrad der VDI Gesellschaft Fahrzeugtechnik, Darmstadt 1989. VDI Bericht Nr. 779, S.205-224. VDI-Verlag Düsseldorf.

Wisselmann, D., Iffeelsberger, L. (1991): "Einsatz der Fahrdynamiksimulation zur Analyse und Verbesserung des Motorradlenkverhaltens", 4. Fachtagung Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik, München 1991. VDI Bericht Nr.875, S.23-42. VDI-Verlag Düsseldorf.

Документа релевантних институција-извештаји, закони, стратегије, стандарди и друго

Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (2009) Drugo izdanje. Službeni glasnik Republike Srbije, Beograd, (2009.)

Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (2010), 5-to izdanje Službeni glasnik Republike Srbije, Beograd, (2010.)

ECE/TRANS/180/A dd.3 Global technical regulation N03, (2006): "Motorcycle brake systems", United Nation , p 1-52.

ЕУ Правилник 2002/44/ЕЦ

ISO2631-1:1997, Механичке вибрације и удари - процена изложености целог тела вибрацијама Део 1: Општи захтеви

ISO5349-1:2001, Механичке вибрације – Мерења и процена изложености вибрацијама које се преносе на руке – Део 1: Општи захтеви

ISO5349-2:2001 Механичке вибрације – мерење и процена изложености вибрацијама које се преносе на руке – део 2: Практична упутства за мерење на радном месту

ISO8041:2005. Човекова реакција на вибрације – инструменти за мерење.

ISO9131:1993 Three-wheeled mopeds and motorcycles – Dimension – Vocabulary.

SRPS ISO 3833, 2005, Drumska vozila - međunarodni standard koji se odnosi na drumska vozila.

Association of European Motorcycle Manufacturers (ACEM).ACEM report, (2012). The motorcycle industry in Europe, Brussels.

Резултати истраживања Темпус пројекта број: 41045 (2006) „Унапређење система безбедности и здравља на раду кроз едукацију

National Highway Traffic Safety Administration (NIOSH), The National Institute for Occupational Safety and Health.2012 Информативне периодичне публикације.

Road accident statistics in Europe (2007) Source CARE and national data, European road safety day, Friday 27 april 2007.

The Solomon R. Guhenheim Foundation (2001): "The Art of Motorcycle", New York.

University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI), USA, информативне периодичне публикације.

Релевантне "web" адресе

Michelin Group, <http://michelin.com> [pristup 10.06.2016.]

Kawasaki Motors Corp, <http://kawasaki.com> [pristup 15.06.2016.]

Агенција за безбедност саобраћаја, <http://www.abs.gov.rs> [pristup 01.04.2016.]

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. <http://www.adac.de> [pristup 01.07.2016.]

BMW AG, <http://www.bmw-motorrad.rs/com/en/safety-concept> [pristup 01.07.2016.]

Robert Bosch GmbH, <http://www.boschmotorcycle.com> [pristup 01.05.2016.]

Brembo S.p.A. <http://www.brembo.com/en/bike/original-equipment/products/calipers> [pristup 01.06.2016.]

Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) <http://www.iihs.org> [pristup 11.05.2016.]

Indian Institute of Technology Hyderabad, Hyderabad, India. <http://www.iith.ac.in> [pristup 01.05.2016.]

United States Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration <http://www.nhtsa.gov> [pristup 01.05.2016.]

Molnar Precision LTD, <http://www.tga.co.uk/shop/replica-brake-hubs/ceriani-230mm-4ls-front-brake> [pristup 01.07.2016.]

Molnar Precision LTD, <http://www.tga.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2015/03/m4lsf-600x600.jpg> [pristup 01.07.2016.]

Zero Motorcycles, Inc., 2016. <http://www.zeromotorcycles.com/gallery/> [pristup 15.06.2016.]

www.mccchain.com [pristup 15.06.2016.]

Encyclopædia Britannica, Inc., 2016. <https://www.britannica.com/technology/gasoline-engine#ref67286> [pristup 10.06.2016.]

EXEDY Corporation, 2016. https://www.exedy.com/imgs/EXD_ja/product/cyc_p_mt03.jpg [pristup 15.06.2016.]

World Health Organization, <https://www.who.int> [pristup 03.04.2016.]

Yamaha Motor Corporation, U.S.A., 2016. <https://www.yamahamotorsports.com/supersport/models/2016/yzf-r6/gallery> [pristup 15.06.2016.]

Yamaha Motor Corporation, U.S.A., 2016. http://global.yamahamotor.com/news/2009/1019/img/ycat_main.gif [pristup 01.07.2016.]