

ПОДЕШАВАЊЕ ОСЛАЊАЊА ТАКМИЧАРСКОГ ВОЗИЛА RACE CAR SETUP

Душан Стојковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Овај рад има за циљ да на основу прикупљених података (возила и возача), и анализе истих, да за предлог подешавања појединачних подсистема у склопу система ослањања возила. Предложена подешавања морају бити у складу са националним правилником категорије „2000 Super Production“.

Кључне речи: подешавања ослањања, такмичарско возило, телеметријски подаци

Abstract – This paper has a goal to suggest race car setup based on the analysis of used setup and gathered telemetry data. Suggested setups will be in accordance with Serbian National regulations for racing class „2000 Super Production“.

Keywords: racing setup, race car, telemetry data

1. УВОД

Аутомобилизам је спорт у коме такмичар представља кибернетички спој човека и машине. Из наведеног се закључује да успех у овом спорту зависи како од возача, тако и од возила. У свим дисциплинама ауто спорта постоје правила и технички прописи које возач и возило морају да задовоље. Наведена правила имају за циљ да поставе техничка ограничења возилима како би перформансе различитих возила биле приближне, и тиме повећају утицај возача на коначан исход такмичења.

У скоро свим дисциплинама ауто спорта подешавања система ослањања су дозвољена у одређеној или неограниченој мери. Ова подешавања су важна јер одређују релативни положај пнеуматика у односу на подлогу чиме суштински утичу на његово понашање а тиме и на перформансе возила. Утицај подешавања система ослањања се најбоље може видети у резултатима квалификација и трка. Наиме два или више идентичних возила, са различитим подешавањем система ослањања, често остварују потпуно различите резултате и пролазна времена.

2. ПОДАЦИ

2.1 Улазни подаци

Марка возила је „Alfa Romeo 147 Super Production“ које је фабрика наменски израдила за такмичења у категорији „2000 Super Production“.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Борис Стојић, доцент.

Карактеристике мотора:

- Радна запремина: 2000 cm^3
- Максимална снага: 169 kW
- Број обртаја максималне снаге: 7500 $\frac{o}{min}$
- Највећи обртни момент: 200 Nm
- Број обртаја максималног обртног момента: 6500 $\frac{o}{min}$
- Прехрањивање: Атмосверско

Карактеристике возила:

- Погонски точкови: предњи
- Маса возила спремног за вожњу: 1014.5 kg
- Дужина: 4213 mm
- Ширина предњег трага возила: 1801 mm
- Ширина задњег трага возила: 1790 mm
- Међуосовинско растојање: 2546 mm
- Ослањање предњих точкова: двоструко троугаоно раме
- Ослањање задњих точкова: механизам са више водећих полууга „multi-link“



Слика 1. Изглед Возила

2.1.1 Раподела тежине

Табела 1. Измерене тежине испод сваког точка

Предњи леви точак	Предњи десни точак
3463 N	3419 N
Задњи леви точак	Задњи десни точак
2129 N	2036 N

Осовинска оптерећење предње осовине износи: 6882N

Осовинско оптерећење задње осовине износи: 4165N

Помоћу прикупљених података одређује се висина тежишта на следећи начин:

$$H = \frac{L \cdot \sqrt{L^2 - h_D^2}}{h_D} \cdot \frac{R'_P - R_P}{W} + r$$
$$H = \frac{2.546 \cdot \sqrt{2.546^2 \cdot 0.001^2}}{0.001} \cdot \frac{714 - 655}{1014.5} + 0.288$$
$$H = 0.377 \text{ m}$$

$R_p = 714 \text{ kg}$ - измерено оптерећење предње осовине када је задњи крај подигнут

$h_D = 0.001 \text{ m}$ - висина дизања задњег краја

$r = 0.288 \text{ m}$ - измерени статички радијус точка

2.1.2 Угао бочног нагиба точкава

Од бочног нагиба точка зависи величина контактне површине пнеуматика са подлогом, а самим тим расположива сила приањања приликом убрзања, кочења или скретања возила.

Табела 2. Измерени бочни нагиби точкава

Предњи леви точак:		Предњи десни точак:	
	3.4°		3.7°
Задњи леви точак:		Задњи десни точак:	
	2.1°		2.7°

2.1.3 Угао усмерености точкава

Угао усмерености точкава (енг. „Toe“) може бити позитиван, негативан или неутралан. У колико је најмање растојање, у хоризонталној равни, два точка исте осовине испред осовине којима ти точкови припадају тада точкови имају позитиван угао усмерености.

Табела 3. Измерени углови усмерености точкава

Предњи леви точак:		Предњи десни точак:	
	-0.08°		-0.15°
Задњи леви точак:		Задњи десни точак:	
	0.24°		0.37°

2.1.4 Пнеуматици

Табела 4 Притисци пнеуматика пре возње

Предњи леви:		Предњи десни:	
	170 kPa		170 kPa
Задњи леви:		Задњи десни:	
	180 kPa		180 kPa

2.1.5 Телеметријски подаци

За прикупљање телеметријских података, брзине, убрзања, путање, користи се уређај „LT-Q6000“ произвођача „Qstarz“. Прикупљени подаци се затим обрађују у наменском софтверу „Qstaz QRacing“.

2.2 Добијени подаци

Одмах по завршетку прве тренинг сесије, извршено је прикупљање података који ће се користити за анализу перформанси возила.

2.2.1 Температуре пнеуматика

Мерење температура пнеуматика извршено је посредством ласерског мерача, на спољашњој, средњој и унутрашњој страни газеће површине.

Табела 5. Измерене температуре пнеуматика

Страна:	Предњи леви:			Предњи десни:		
	Спољашња	Средња	Унутрашња	Унутрашња	Средња	Спољашња
	87 °C	86 °C	84 °C	86 °C	86 °C	84 °C
Страна:	Задњи леви:			Задњи десни:		
	Спољашња	Средња	Унутрашња	Унутрашња	Средња	Спољашња
	88 °C	84 °C	82 °C	85 °C	86 °C	85 °C

2.2.2 Притисци пнеуматика

Табела 6. Притисци пнеуматика након возње

Предњи леви:		Предњи десни:	
	230 kPa		230 kPa
Задњи леви:		Задњи десни:	
	220 kPa		220 kPa

2.2.3 Телеметријски подаци

Очитавањем са уређаја за прикупљање телеметријских података долази се до вредности брзине и убрзања, као и положаја возила на стази коме ти подаци одговарају, за дати тренутак. Након очитавања података са уређаја, потребно је извршити очитавање вредности максималних бочних убрзања возила за сваку кривину појединачно.

Табела 7. Очитане вредности максималних бочних убрзања у кривинама

Кривина:	Лева (G)	Десна (G)
I	1.40	
II		1.27
III		1.22
IV	1.27	
V	1.50	
VI		1.11
VII	1.53	
VIII		1.20
IX	1.51	

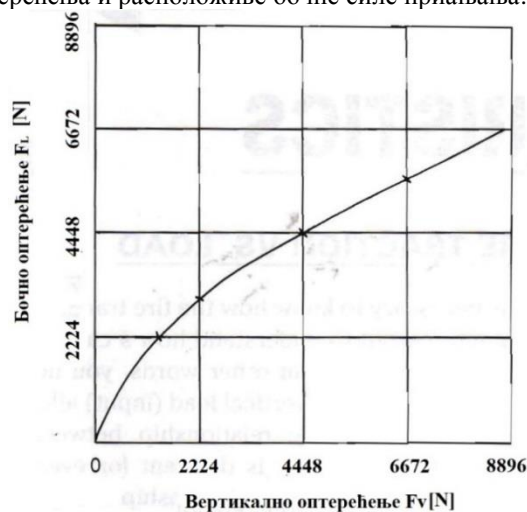
2.2.4 Субјективан утисак возача

При уласку у кривине возач има утисак неутрално подешеног возила по питању подуправљања и надуправљања. На додавању гаса на темену кривине и јачом корекцијом волана ка унутрашњости кривине у малој мери је присутно контролисано надуправљање, које возач сматра пожељним. Приликом јаких кочења возило је стабилно. На стази је примећено доста неравнина које потенцијално могу дестабилизovati возило приликом проласка алтернативним путањама у току трке.

2.3 Обрада података

2.3.1 Пнеуматици

Пнеуматике најбоље карактерише крива вертикалног оптерећења и расположиве бочне силе приањања.



Слика 2. Крива вертикалног оптерећења и бочне расположиве силе пнеуматика

Управо је односом максималног могућег бочног оптерећења које се може реализовати при текућем вертикалном оптерећењу, одређена ефикасност скретања [2]. Може се закључити да пораст вертикалног оптерећења пнеуматика негативно утиче на ефикасност скретања јер је пораст бочног оптерећења мањи а самим тим је ефикасност скретања мања.

2.3.1.1 Притисци пнеуматика

На основу измерене вредности притисака пнеуматика (Табела 8.) и препоруке произвођача истих, закључује се да није потребна корекција притисака.

2.3.1.2 Температуре пнеуматика

На температуре пнеуматика, поред притиска пнеуматика, највећи утицај има геометрија система ослањања возила и расподела динамичких оптерећења на појединачне пнеуматике.

Ако је контактна површина мала и оптерећена приањање је умањено. Поред умањења приањања, долази и до прегревања тог дела пнеуматика, које након одређене вредности изазива трајно умањење силе адхезије. Табела 7. приказује измерене радне температуре пнеуматика. Из приложеног се може закључити следеће:

- Нагиб предњег левог точка је недовољан.
- Нагиб задњег левог точка је недовољан.
- Нагиб предњег десног точка је превелики.
- Нагиб задњег десног точка је одговарајући.

2.3.2 Бочна убрзања

Из табеле 9 се види да је највеће бочно убрзање левих кривина забележено у седмој кривини и износи 1.53 G. Највеће бочно убрзање десних кривина забележено је у другој кривини и износи 1.27 G.

3. ПРЕДЛОГ ПОДЕШАВАЊА

3.1 Квалификациона подешавања

Током квалификација возач нема потребу претицања других возила на стази (сем ако су доста спорија) тако да је сконцентрисан на своју вожњу, што омогућава примену „агресивнијих“ подешавања која пружају боља пролазна времена али и већи психо-физички напор возача.

3.1.1 Пнеуматици

Предлажи се коришћене вредности притисака пнеуматика као на тренинг сесији.

3.1.2 Спиралне опруге

Возач је приликом тренинг сесије приметио велики број неравнина, тако да се предлажу предње опруге мањих крутости.

Табела 8. Крутости опруга за квалификације

Предња лева:	Предња десна:
80 N/mm	80 N/mm
Задња лева:	Задња десна:
160 N/mm	160 N/mm

3.1.3 Амортизери

Због коришћења мекших предњих опруга предлаже се пропорционално смањење карактеристика пригушења предњих амортизера.

Табела 9. Подешавања амортизера за квалификације

Напред	
Сабијање:	12
Извлачење:	10
Брзо сабијање:	6
Позади	
Сабијање:	12
Извлачење:	10
Брзо сабијање:	5

3.1.4 Стабилизатори

Како у датом случају возач жели да избегне нагињање возила, а смањена је крутост предњих спиралних опруга, предлаже се повећање крутости предњег стабилизатора. Уз претпоставку да је предњи стабилизатор крући за 5 N/mm врши се провера ефикасности скретања предње осовине.

Како је $E_p = 0.87$ а $E_z = 0.86$ закључује се да су крутости стабилизатора задовољавајуће.

3.1.5 Геометрија система ослањања

3.1.5.1 На основу прикупљених радних температура пнеуматика (**Error! Reference source not found.**) и субјективног возачевог осећаја, предлажу се следећи нагиби точкова:

Табела 10 Квалификациони бочни нагиби

Предњи леви точак:	Предњи десни точак:
3,6°	3,6°
Задњи леви точак:	Задњи десни точак:
2,7°	2,7°

3.1.5.2 Углови усмерености точкова

Позитиван угао усмерености задњих точкова умањује могућност надуправљања на самом уласку у кривину. Како возачу више погодује надуправљање, позитивна вредност угла усмерености задњих точкова се може умањити. Неутралан угао усмерености умањује отпор котрљања точкова због чега ће се вредност негативног угла предњих точкова умањити, водећи рачуна да се не компромитује скретање возила.

Табела 11. Углови усмерености точкова за квалификације

Предњи леви точак:	Предњи десни точак:
-0.07°	-0.07°
Задњи леви точак:	Задњи десни точак:
0.00°	0.00°

3.2 Подешавања за трку

У току трке возач сем своје вожње треба да води рачуна и о вожњи осталих такмичара, и да увек буде спреман на непредвиђен сплет догађаја, брзе реакције на новонастале догађаје као и нагле промене правца скретања.

Из претходно наведеног закључује се да подешавања за трку требају да буду конзервативна тако што ће да обезбеде возачу стабилно возило, ниску деградацију пнеуматика, и добар темпо.

3.2.1 Пнеуматици

Предлажу се исти притисци пнеуматика.

3.2.2 Спиралне опруге

Како су у току трке могуће нагле промене правца, стабилизатори већих крутости би у тим ситуацијама дестабилизовали возило и изазвали губитак контроле. Међутим применом стабилизатора мањих крутости повећава се нагињање возила а самим тим и вертикално оптерећење спољашњих пнеуматика и губитак ефикасности скретања. Да би се нагињање возила умањило биће коришћене спиралне опруге већих крутости.

Табела 12. Крутости опруга за трку

Предња лева:	Предња десна:
190 N/mm	190 N/mm
Задња лева:	Задња десна:
220 N/mm	220 N/mm

3.2.3 Амортизери

Како су за трку предложене опруге већих крутости у односу на тренинг сесију предлаже се пропорционално повећање пригушења сабијања и извлачења.

Табела 13. Подешавање амортизера за трку

Напред	
Сабијање:	27
Извлачење:	23
Брзо сабијање:	5
Позади	
Сабијање:	16
Извлачење:	14
Брзо сабијање:	5

3.2.4 Стабилизатори

Прво се извршава прорачунско умањење крутости предњег стабилизатора како би се закључило да ли долази до повећања или смањења расположивог приањања. Ефикасност скретања предње осовине износи $E_p = 0.85$; За трку ће се користити задњи стабилизатор са тренинг сесије док ће задње спиралне опруге бити већих крутости тако да возило тежи благом надуправљању, које погодује скретању. Ефикасност скретања задње осовине износи $E_p = 0.83$ на основу чега се закључује да су крутисти стабилизатора одговарајуће.

3.2.5 Геометрија система ослањања

3.2.5.1 Углови бочних нагиба точкава

Углови бочних нагиба точкава коришћени на квалификацијама пружају одговарајуће температуре пнеуматика због чега ће остати непромењени.

3.2.5.2 Углови усмерености точкава

У току трке проласци кроз кривине могу бити офанзивном, дефанзивном и идеалном путањом. Како би се побољшало скретање возила када се не налази на идеалној путањи, предлаже се негативнија вредност угла усмерености предњих точкава. У случају наглих промена правца кретања возила позитивна вредност угла усмерености задњих точкава умањује могућност настанка превеликог и не контролисаног надуправљања.

Табела 14. Углови усмерености точкава за трку

Предњи леви точак:	Предњи десни точак:
-0.10°	-0.10°
Задњи леви точак:	Задњи десни точак:
0.03°	0.03°

4. ЗАКЉУЧАК

Извршени прорачуни служе само за основно разумевање понашања возила при различитим подешавањима система ослањања, и пружају смернице ка постизању жељених подешавања. Коришћењем високо прецизних уређаја за прикупљање телеметријских података и поседовање криве преформансе тачно коришћених пнеуматика, ови прорачуни се могу проширити и помоћу њих се доћи до прецизнијих вредности подешавања система ослањања. На тај начин брже би се дошло до жељених подешавања јер би рачунска била приближнија стварно потребним подешавањима. Тако би се ефикасније искористило расположиво време на стази јер би и возач мање времена посветио тестирању подешавања, а више вежбању својих возачких вештина.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] „Appendix-J-Clan-261.“ Спортски Ауто Картинг Савез Србије, .
- [2] Herb, Adams. *Chassis Engineering*. Н.Р. Books, 1993.
- [3] <http://racingcardynamics.com/racing-tires-lateral-force/>. . 25 7 2019.
- [4] <http://www.alfaclubvic.org.au/forum/index.php?topic=11017.0>. . 26 7 2019.
- [5] https://alfa-restoration.co.uk/shop/product_info.php?products_id=2007. . 26 7 2019.
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alfetta_front_suspension_antiroll.jpg. . 5 8 2019.
- [7] <https://eibach.com/us/p-101-suspension-worksheet.html>. . 10 8 2019.
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-roll_bar. . 25 7 2019.
- [9] <https://www.oponeo.co.uk/blog/camber-understanding-the-wheel-s-angle-of-inclination>. . 15 08 2019.
- [10] Milliken, William and Douglas Milliken. *Race Car Vehicle Dynamics*. SAE Publications Group, 1995.
- [11] Puhn, Fred. *How to make your car handle*. Н.Р. Books, 1976.
- [12] Staniforth, Allan. *Competition Car Suspension*. Haynes Publishing, 1999.
- [13] Дубока, Ч. и Ж. Арсенић. *Испитивање моторних возила - Приручник*. Београд: ЈУМВ, 1994.
- [14] Стојић, Борис. *Теорија кретања друмских возила*. ФТН Нови Сад, 2014.

Кратка биографија:



Душан Стојковић рођен је у Краљеву 1993. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области механизације и конструкционог машинства одбранио је 2017. год. након чега је уписао мастер студије.