

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Компјутерска анализа конструкција

Број индекса: 339/2011

Вељко Д. Јевтић

Анализа напонско-деформационог стања

гумено металних опруга

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Зорица Ђорђевић, доцент**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да објасни улогу, примену и начин рада гумено-металних опруга. Анализом домаће и стране литературе кандидат треба да покаже докле се до сада дошло са проучавањем опруга овог типа. Такође, кандидат треба у програмском пакету Inventor Professional да изврши анализу напонско-деформационог стања гумено-металне опруге одбојника железничких возила и да, евентуално, да неке препоруке за оптимизацију геометрије гумених елемената.

Препоручена литература:

[1] Николић, В., "Машински елементи", Машински факултет, Крагујевац, 2004.

[2] Atmadzhova D., Nenov N., "STUDY OF THE RUBBER METAL SPRINGS FATIGUE OF PRIMARY SPRING SUSPENSION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE", FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering, Vol. 10, No 1, 2012, pp. 63 – 70.

[3] Милковић Д., Симић Г., Лучанин В., "EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL DETERMINATION OF RUBBER-METAL SPRING ELEMENTS CHARACTERISTICS", 28. Danubia-Adria-Symposium in Experimental Mechanics, Siofok, Hungary, 2011.

Крагујевац

ментор:

24.06.2013. год.

Др Зорица Ђорђевић, доцент

РЕЗИМЕ

Гумено-металне опруге имају широку примену нарочито код железничких возила и на местима где се јављају потреси и вибрације. Предност гумено-металних опруга је у томе што комбинују добре особине гуме и метала, лако се монтирају и мењају, није им потребно скоро никакво одржавање и имају ниску цену израде. Анализа напонско-деформационог стања гумено-металних опруга има за циљ да утврди најповољније односе дебљине гуменог елемента и површине ослањања у циљу налажења најповољнијег решења за ублажавање негативних последица удара, осцилација и вибрација. Најповољнија решења могу се наћи анализом напонско-деформационог стања опруге у програму Inventor Professional 2013 који штеди време и новац за испитивање погодних решења за израду ових опруга.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: Гумено-металне опруге, напони, деформације.

ABSTRACT

Rubber-metal springs are widely used especially for railway vehicles and in places where exists imacts and vibrations. The advantage of rubber-metal springs ere combination the good qualities of rubber and metal, easy to assemble and change, not need almost maintenance and have a low cost of manufacture. Analysis of the stress-strain state of rubber-metal springs has for purpose to established the best relations thick rubber element and the ground surface in order to find the best solutions for mitigation negative effects shock, imacts, and vibrations. The best solutions can be found with analyzis of stress-strain state springs in Inventor 2013, which saves time and money for testing of suitable solutions for making these springs.

KEY WORDS: Rubber-metal springs, stresses, deformations.

САДРЖАЈ

1.	Увод.....	7
2.	Опруге.....	8
2.1.	Подела опруга.....	8
2.1.1.	Флексионе опруге.....	11
2.1.2.	Завојна флексиона опруга.....	12
2.1.3.	Торзионе опруге.....	13
2.1.4.	Тањирасте опруге.....	14
2.1.5.	Прстенасте опруге.....	15
2.2.	Системи опруга.....	17
2.3.	Материјали за опруге.....	19
3.0.	Опруге са гумено-металним елементима.....	21
3.1.	Гумено металне опруге - преглед истраживања.....	21
3.1.1.	Преглед радова из области анализе напонско-деформационог стања.....	21
3.1.2.	Преглед радова из области експерименталног испитивања опруга.....	26
3.1.3.	Преглед радова из области комбинованог експериментално- аналитичког одређивања карактеристика гумено-металних опруга.....	30
3.2 .	Опруге са гумено-металним елементом.....	32
3.2.1.	Скраћење експлоатационог века ГМО услед негативног утицаја тполоте.....	37
3.3.	Примена гумено-металних опруга.....	37
3.3.1.	Опруге за пригушивање осцилација.....	39
3.3.2.	Опруге за пригушивање вибрација.....	40

3.3.3. Ваљкасти гумени пригушивачи вибрација.....	42
3.3.4. Ваљкасти гумени пригушивачи осцилација са пробушеним ваљком.....	42
3.3.5. Гумени пригушивач са холкером.....	43
3.3.6. Параболични пригушивачи вибрација.....	43
3.3.7. Специјално дизајнирани амортизери за контролу удара и вибрација.....	43
3.4. Амортизери за контролу удара и вибрација код железничких возила.....	47
3.4.1. Примери примене осталих гумено металних опруга код железничких возила.....	49
4. Анализа напонско деформационог стања гумено-металних опруга.....	50
4.1. Моделирање и анализа напонско-деформационог стања одбојника.....	52
5. Закључак.....	62
6. Литература.....	63

1. УВОД

Једноставне незавојне опруге су се користиле кроз историју човечанства, као рецимо лук и стрела. У бронзано доба почињу да се користите сложеније опруге, као на пример пинцета или клешта. Ctesibius (Ктесибије Александријски) је израђивао бронзане опруге, с повећаним садржајем калаја, које су имале добра еластична својства.

Прве завојне опруге су се појавиле у 15. веку. Први сат с торзионом опругом за навијање појављује се у 16. веку. Године 1676. британски физичар Robert Hooke (Роберт Хук) открива законитости у раду опруга, код њиховог истезања и сабијања, што се данас назива Хуков закон.

Опруга је машински елемент који се користи за остваривање еластичних спојева. Под деловањем силе долази до деформације опруге, а по престанку деловања силе опруге се враћају у првобитни положај. Опруге су конструктивни елементи који одговарајућим обликовањем и употребом вискоеластичних материјала могу механички рад еластичном деформацијом претворити у потенцијалну енергију и обрнуто, потенцијалну енергију враћањем у првобитни облик претворити у механички рад. Опруге, дакле, користе једно од основних својстава материјала: еластичност. Иако се опружна функција може остварити и на друге начине, најчешће су у употреби механичке опруге [1].

Опруге служе за еластично везивање машинских елемената. Намена опруга је веома различита. Примењују се за:

- мерење силе, масе или момента код динамометара, вага и моментних кључева,
- за еластично међусобно притискање делова код брава, клизача и поклопаца,
- за акумулацију енергије код часовника, оружја и играчака,
- за ограничење највеће силе односно притиска код вентила сигурности или момента увијања код спојница сигурности.

Гумено-металне опруге се користе код: ослонаца машина, железничких вагона, пригушења ударних и вибрационих оптерећења и смањења буке, вешања мотора код моторних возила, као еластични ослонци и спојеви код машина, као еластични елементи код спојница итд. Код железничких вагона значајна је примена гумено металних опруга код одбојника. Основне предности одбојника са метално-гуменим опругама у односу на одбојнике са прстенастом опругом су:

- нижа цена,
- лака уградња,
- немогућност блокирања опруге.

Од великог значаја за практичну примену је спој гуме са челичним деловима преко којих се еластични елементи оптерећују. Спој се остварује процесом вулканизације или пресовањем преко одговарајућих металних површина, које често својим рељефним обликом залазе у гуму. Гумено-метални елементи су конструктивни делови који се израђују од природних и синтетичких каучука у споју са металним носачима. У њима су садржане предности оба саставна елемента: високе способности угиба и амортизације гуме и велика површинска оптерећења која подноси метални део. Управо такви захтеви се постављају код огибљења железничких возила (локомотиве, возови, маневарска возила и вагони) [2].

2. ОПРУГЕ

2.1 Подела опруга

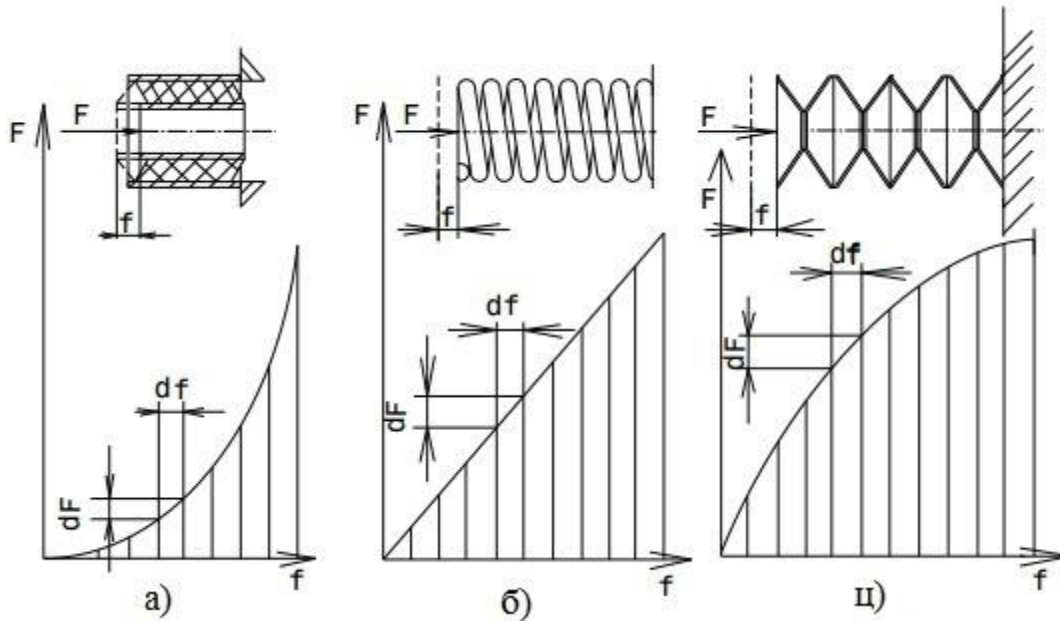
Постоји више типова опруга које се користе: тањирасте, завојне, просте торзионе, гумено-металне, спиралне, плочасте, прстенасте, флексионе и различити типови специјалних опруга.

У зависности од облика и начина оптерећења опруге могу бити изложене: савијању (флексији), увијању (торзији) или површинском притиску. Отуда и подела опруга на:

- флексионе,
- торзионе,
- прстенасте.

Како опруге имају могућност акумулације енергије, деформациони рад као мера те акумулационе енергије, пропорционалан је сили односно моменту савијања или увијања (шрафирана површина испод кривих на слици 1), па је у општем случају [2]:

$$A = \int_0^{f_k} F df ; \quad \text{или} \quad A = \int_0^{\varphi_k} M d\varphi . \quad (1)$$



Слика 1. Карактеристике опруга: а) прогресивна, б) линеарна, ц) дегресивна [2]

Ако је карактеристика еластичности опруге праволинијска биће:

$$A = \frac{1}{2} F f \quad \text{или} \quad A = \frac{1}{2} M \varphi, \quad (2)$$

где је крутост (с) дефинисана као:

$$c = \frac{dF}{df}; \quad \text{или} \quad c_\varphi = \frac{dM}{d\varphi}. \quad (3)$$

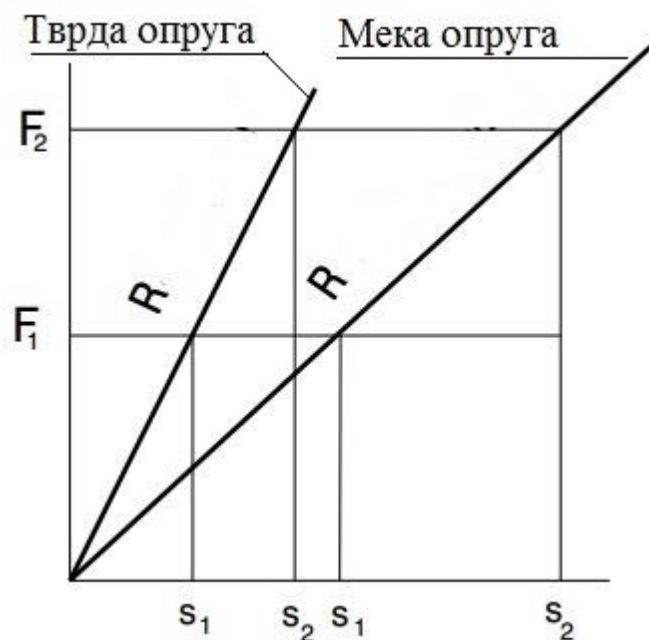
Ако се са повећањем силе опруга све теже деформише, карактеристика је прогресивна (крутост опруге расте). Овакве су гумене опруге, коничне и бачвасте завојне торзионе опруге, као и завојне торзионе опруге с променљивим кораком).

Ако се коефицијент крутости c са повећањем сабијања f , односно угла увијања φ не мења, тј. константан је, опруга има линеарну карактеристику. Овакве су завојне торзионе опруге и торзиони штапови. У том случају је [2]:

$$c = \frac{F}{f}, \quad \text{односно} \quad c_\varphi = \frac{M}{\varphi}. \quad (4)$$

Ако се са повећањем силе опруга све лакше деформише, карактеристика је дегресивна (крутост опруге опада). Овакве су тањирасте опруге.

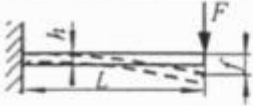
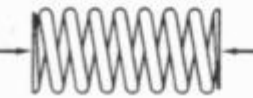
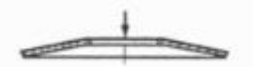
Ако је нагиб линије у дијаграму стрм, потребна је велика сила за мало сабијање, тј. опруга је крута (тврда). Ако је нагиб линије положен, опруга је мека (слика 2).



Слика 2. Дијаграм сабијања опруга различите тврдоће [2]

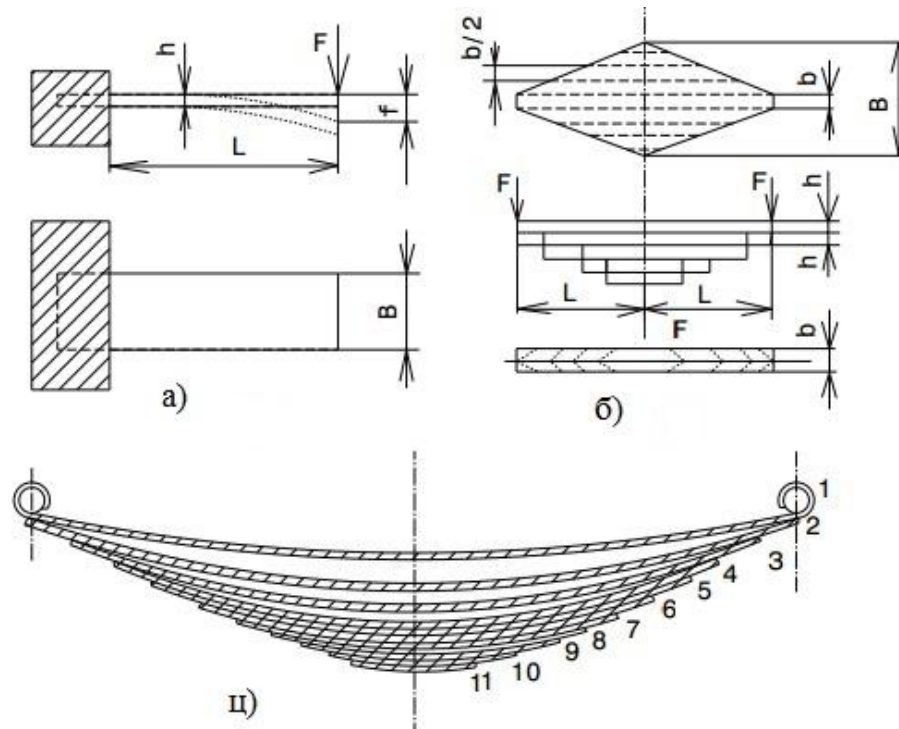
Подела опруга према врсти напрезања при деформисању приказана је у Табели.1.

Табела 1. Подела и основни параметри опруга [3]

Подела			Скица	Крутост	Напон	Деформац. рад
Опруге изложене савијању	Лиснате опруге			$c = \frac{bh^3 E}{12 L^3}$	$\sigma = \frac{6 F L}{bh^2}$	$A = \frac{bh L \sigma^2}{18 E}$
	Гибњеви			$c = \frac{zbh^3 E}{4 L^3 \varsigma}$	$\sigma = \frac{6 F l}{zbh^2}$	$A = \frac{\varsigma zb h L \sigma^2}{18 E}$
	Завојне опруге			$c_\varphi = \frac{I E}{l_\varphi}$	$\sigma = \kappa \frac{M}{W}$	$A = \frac{l_\varphi W^2 \sigma^2}{2 E I \kappa^2}$
	Спиралне опруге			$c_\varphi = \frac{I E}{l_\varphi}$	$\sigma = \kappa \frac{M}{W}$	$A = \frac{l_\varphi W^2 \sigma^2}{2 E I \kappa^2}$
Опруге изложене увијању	Цилиндричне завојне	са кружним пресеком жице		$c = \frac{d G}{8 z_a K^3}$	$\tau = \kappa \frac{8 F D}{\pi d^3}$	$A = \frac{z_a D d^2 \pi^2 \tau^2}{16 G \kappa^2}$
		притисне				
		Коничне завојне	са правоугаоним пресеком жице		$c = \frac{d G}{8 z_a K^3}$	$\tau = \kappa \frac{8 F D}{\pi d^3}$
	са кружним пресеком жице					
	Плочасте опруге	са правоугаоним пресеком жице		$c = \frac{b^2 h^2 G}{z_a D^3 \kappa^2}$	$\tau = \kappa' \frac{F D}{bh \sqrt{bh}}$	$A = \frac{z_a D b h \kappa^2 \tau^2}{2 G (\kappa')^2}$
		са правоугаоним пресеком жице				
Сложено напрегнуте опруге	Плочасте опруге			Видети литературу		
	Прстенасте опруге			Видети литературу		

2.1.1 Флексионе опруге

Флексионе опруге се деле на: просте лиснате – (мала оптерећења, а велика деформабилност, слика 3а)), сложене лиснате - гибњеви (велика оптерећења, примењују се код шинских, друмских возила и преса слике 3 б) и ц)), тањирасте (код нпр. хидрауличних постројења), завојне (имају угаону деформацију и присутне су код уређаја за навијање: сатови, играчке и слично).



Слика 3. Флексионе опруге (а) проста лисната опруга, б) и ц) сложена лисната опруга [2]

Код просте лиснате опруге (слика 3 а)) угиб на месту дејства силе је:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{L^3}{3EI} F; \quad c = \frac{3EI}{L^3}, \quad (5)$$

где је: c – крутост опруге, E – модул еластичности, $I = Bh^3/12$ – момент инерције пресека листа (конзоле). Ради уједначавања напонског стања у свим пресецима конзоле и повећања деформација, опруга се може израдити од листа променљиве ширине. На слици (3б) је дата двострука конзола са засеченим крајевима, па се деформација на месту дејства силе F и крутост могу одредити помоћу израза [2]:

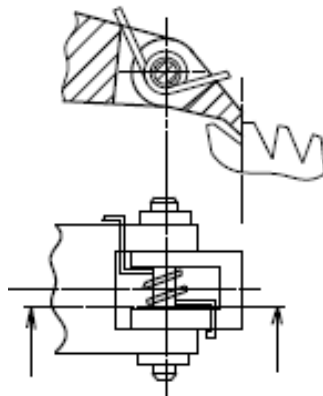
$$f = \frac{F}{c} = \frac{4L^3\xi}{EBh^3} F; \quad c = \frac{EBh^3}{4L^3\xi}, \quad (6)$$

$$\text{где је: } \xi = \frac{3B}{2B + b}. \quad (7)$$

Ако се овај облик опруге подели на траке (листовете) ширине b ($B = zb$) и листови сложе, добија се основни облик гибња. Већи број лиснатих опруга трапезног облика повезаних у једну целину чине гибња. Наиме, за већа оптерећења и веће деформације појединачне лиснате опруге не могу да задовоље конструкционе захтеве. Лиснате опруге исте ширине, али различите дужине тако су повезане да је лист највеће дужине постављен са горње стране и најчешће има савијене крајеве (за шинска возила). Испод овог листа налази се још један лист исте дужине, а остали краћи листови према својој дужини поређани су испод и на средини повезани најчешће завртњевима. Гибњеви се најчешће примењују код теретних, путничких и шинских возила. Када се листови гибња поређају један поред другог, онда се добија двострука конзола трапезног облика, јер је гибња укљештен на средини [2].

2.1.2 Завојна флексиона опруга

Завојна флексиона опруга се употребљава првенствено као повратна опруга у разним ручицама и поклопцима. Један крај опруге фиксно је учвршћен на одговарајуће кућиште или конзолу, а други крај се покреће заједно са ручицом или поклопцем (слика 4). У основном положају опруга има преднапрезање силом F_p , која притиска ручицу или поклопац на одговарајући наслон. Приликом активирања опруге сила F_p се повећа на радну силу F , која осигурава окретање ручице за жељени угао α или отварање поклопца. Након растерећења опруга је опет оптерећена силом F_p .



Слика 4. Завојна флексиона опруга [2]

2.1.3 Торзионе опруге

Торзионе опруге обухватају: штапове, навојне опруге и телескопске опруге.

- 1) штапови (слика 5) - имају мале угаоне деформације,
- 2) цилиндричне завојне (слика 6) - имају најширу примену и то код: спојница, вентила мотора, уопште у транспортним средствима.
- 3) телескопске - за велика оптерећења (код одбојника вагона и слично). Обично имају конични изглед (слика 8).

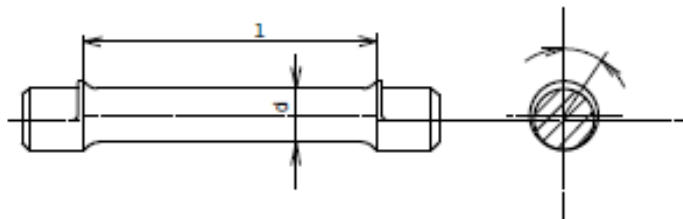
Зависност силе и деформације цилиндричних торзионих завојних опруга је праволинијска, а веза између силе и деформације, ако опруга није преднапрегнута, је [2]:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{8z_a K^3}{Gd} F; \quad c = \frac{Gd}{8z_a K^3}; \quad K = \frac{D}{d}, \quad (8)$$

где је: D – пречник опруге, d - пречник жице од које је опруга израђена, G -модул клизања, K - однос мотања штапа опруге.

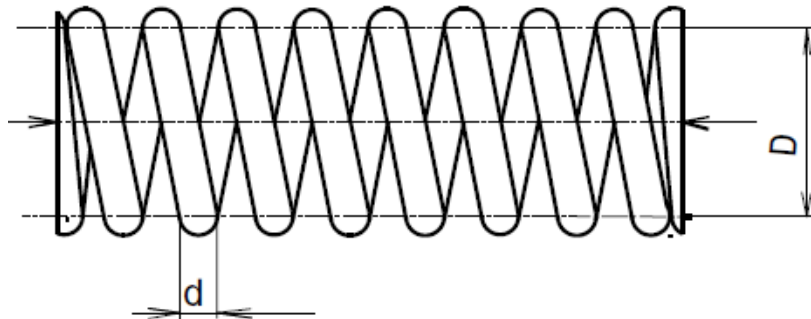
Просте торзионе опруге су најчешће округли штапови са квалитетном површинском обрадом (слика 5), израђени од топло ваљаног челика за побољшање предвиђеног за торзиона напрезања (Č4830, 50CrV4). Један крај оваквог штапа је фиксиран, док је други тако улежиштен да може да се окреће око своје осе. Ако на слободни крај штапа делује момент увијања T , онда долази до његовог еластичног увијања на активној дужини l_a пречника d .

Ради смањења концентрације напона и искоришћења материјала прелаз између крајева и активног радног дела штапа се изводи преко одговарајућих прелазних заобљења. Просте торзионе опруге примењују се код еластичних спојница, као носеће опруге код теретних возила, као и за мерење обртног момента код динамометарских кључева. Недостатак ових опруга је што због своје дужине захтевају велики простор за уградњу.



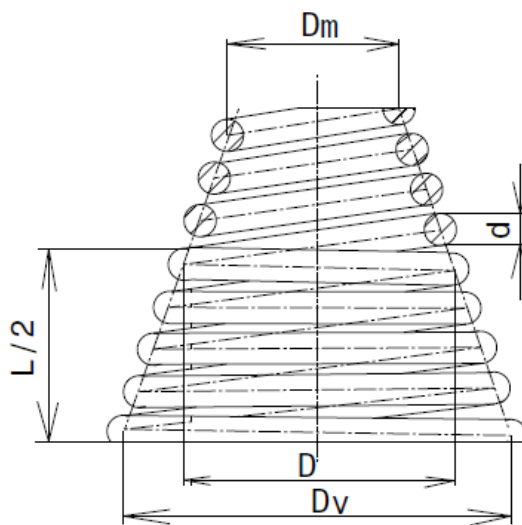
Слика 5. Прости торзиони штап [2]

Цилиндричне завојне опруге (слика 6) имају највећу примену у машинству.



Слика 6. Цилиндрична завојна опруга [2]

Телескопске опруге служе за велика оптерећења (код одбојника вагона и сл.). Обично имају конични изглед (слика 7).

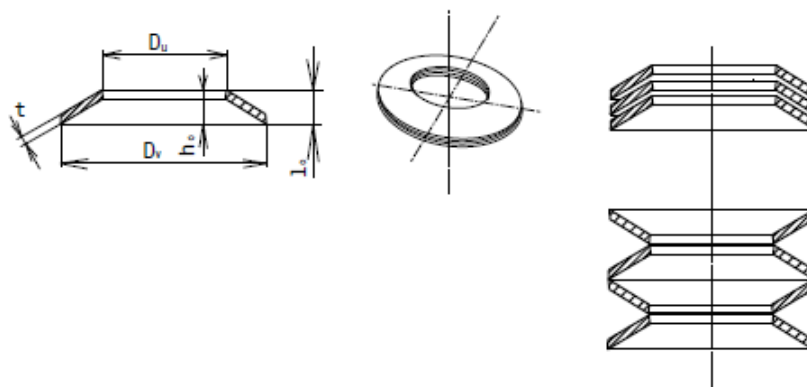


Слика 7. Конично завојна опруга [2]

2.1.4 Тањирасте опруге

Тањирасте опруге су конусног облика (конусне љуске), које се најчешће користе као слогови (пакети) састављени од већег броја опруга истих пречника (слика 8). Примењују се код статичких и једносмерно променљивих оптерећења. Оптерећење се преноси по спољашњем и унутрашњем обиму љуске и доводи до сложеног напонског стања, где доминирају нормални напони услед савијања. Слогови тањирастих опруга могу имати унутрашње вођење (са осовиницом) или спољашње вођење (унутар цилиндра). Погодније

је унутрашње вођење. Осовиница за вођење додирне површине тањирастих опруга треба бити цементирана и брушена. Прва и последња тањираста опруга у слогу треба бити са поравнатим ивицама, ради добијања довољне површине за преношење оптерећења.

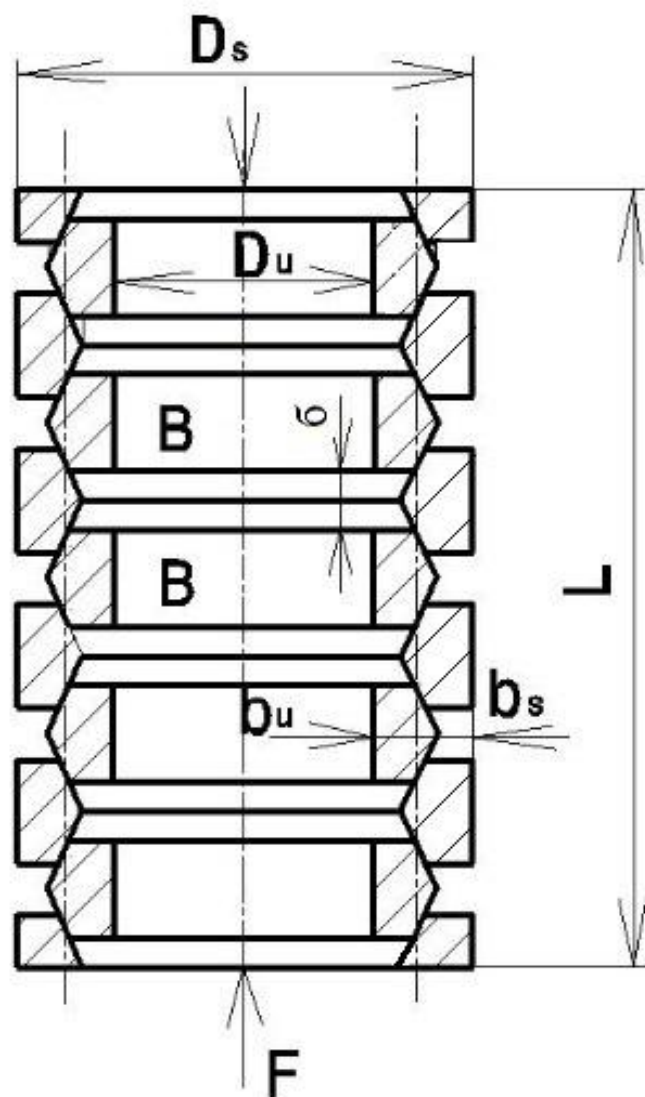


Слика 8. Тањирасте опруге [2]

2.1.5 Прстенасте опруге

Прстенасте опруге (слика 9) служе за амортизацију оптерећења тако што се под дејством силе притиска спољашњи прстенови истежу, а унутрашњи скупљају. Одликују се великим пригушењем ударне силе и малим деформацијама под дејством великих сила. Користе се за пригушивање ударних сила, на пример код: одбојника возила, везе уређаја за хватање терета и ужади код неких дизалично-транспортних машина и сл.

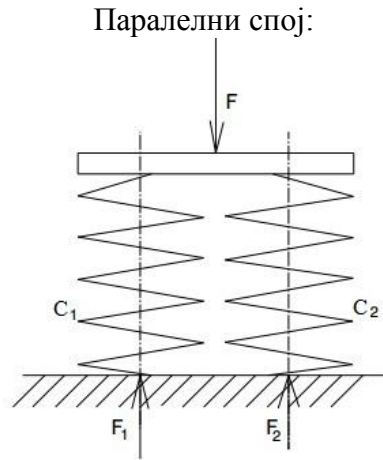
Прстенасте опруге служе за амортизацију оптерећења тако што се под дејством силе притиска спољашњи прстенови истежу, а унутрашњи скупљају. Одликују се великим пригушењем ударне силе и малим деформацијама под дејством великих сила. Оптерећење код ових опруга је равномерно по целој дужини, тако да је овде искоришћење материјала веома повољно, односно с обзиром на оптерећење које преносе, ово су опруге веома компактне конструкције. Прстенаста опруга састоји се од затворених спољашњих и унутрашњих прстенова са дуплим конусним површинама које клизе једна по другој. Аксијална притисна сила преко конусних додирних површина прстенова напреже спољашње прстенове на затезање, а унутрашње на притисак. Прстенаста опруга има знатно пригушење, тако да је сила растерећења 3 пута мања од силе оптерећења. Због пригушења знатан део механичке енергије претвара се у топлоту и до 70% код доброг подмазивања додирних површина [2].



Слика 9. Прстенаста опруга [2]

2.2 Системи опруга

Опруге се могу користити и у пакету:



Слика 10. Паралелни спој опруга [2]

Сила F се дели на силе F_1 и F_2 :

$$F = F_1 + F_2 = c_1 f_1 + c_2 f_2 . \quad (9)$$

Како су обе опруге једнако сабијене, тј. $f_1 = f_2 = f$, биће:

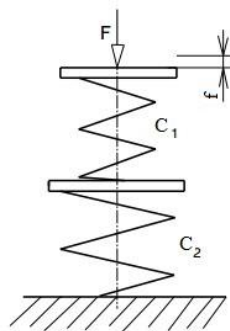
$$F = (c_1 + c_2) f . \quad (10)$$

Коефицијент крутости паралелног споја је $c = F/f = c_1 + c_2$.

Уопштено за већи број паралелно спојених опруга укупни коефицијент крутости је:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + \dots \quad (11)$$

На овај начин добија се крути (тврди) пакет опруга.



Слика 11. Редни пакет опруга [2]

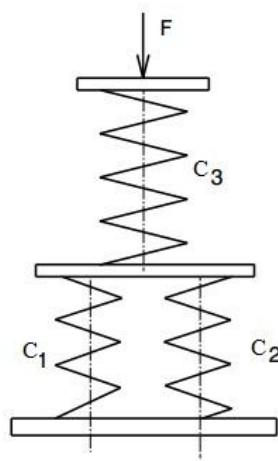
Уколико иста сила делује на обе опруге, опруге ће због различитих коефицијената крутости имати различита сабијања:

$$f = F/c_1 = F/c_2 ; \quad (12)$$

$$f = f_1 + f_2 = F \cdot \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} ; \quad (13)$$

$$\frac{f}{F} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \dots \quad (14)$$

Тада се добија се меки пакет опруга тзв. комбиновани спој (пример према слици) [2].



Слика 12. Комбиновани спој [2]

Коефицијент крутости пакета доњих опруга (паралелни спој) је:

$$c_{\text{dole}} = c_1 + c_2 . \quad (15)$$

Коефицијент крутости горње опруге је:

$$c_{\text{gore}} = c_3 . \quad (16)$$

Доњи и горњи део су у серијском споју па се укупни коефицијент крутости рачуна према изразу [2]:

$$\frac{1}{c_1} = \frac{1}{c_{\text{dole}}} + \frac{1}{c_{\text{gore}}} = \frac{1}{c_1 + c_2} + \frac{1}{c_3} . \quad (17)$$

2.3 Материјали за опруге

Услед потребе за великим деформационим радом и великим деформацијама, опруге имају велике напоне, материјал од којих се израђују мора бити изузетно еластичан и чврст. За израду опруга користе се челици са великим садржајем С (до 1,1%), легирани са: Si, Mn, Cr, Ba, а да би им се повећала статичка и динамичка чврстоћа користе се термичке обраде (каљење, побољшање и сл.) и површинске (цементација, сачмарење и сл.). Тако се за гибњеve и опруге доста примењују челици за побољшање легирани са Si : Č2131, Č2132, Č2133, Č2134; док се за израду изразито динамички оптерећених опруга користе легирани челици код којих је Cr најугицајнији елемент: Č4230, Č4830 и Č4831. Као полуфабрикати за израду опруга користе се: жице, шипке или траке вруће или хладно ваљане, или хладно вучене. Зависно од величине и полазног полуфабриката, опруге се могу обликовати у хладном и топлом стању. Тако се, на пример, цилиндрично завојне опруге израђују навијањем хладно вучене или брушене жице око цилиндра који у ствари представља унутрашњи пречник опруге.

При одабиру материјала за опруге мора се узети у обзир способност обликовања и еластична својства материјала. Избор материјала првенствено зависи од услова експлоатације опруге.

Опруге за рад у нормалним условима: ако се за ове опруге користи нелегирани челик, онда је то најчешће већ патентирана жица са 0,5 до 0,85 % угљеника. Патентирање се изводи тако да се аустенитна жица провлачи кроз оловну купку где се изотермно побољшава, а затим се охлади на ваздуху. Обично се након тога још хладно гњечи. После израде (мотања) изводи се ниско попуштање. Због слабе прокаљивости нелегирани челици се користе само за мање пресеке, а због слабе температурне постојаности за рад на температурама само до 80 °C. За опруге које се топлотно обрађују после обликовања користе се челици легирани силицијумом, манганом, хромом и мање ванадијумом, уз средњи садржај угљеника (0,4 до 0,7 %). Легирни елементи повећавају прокаљивост, постојаност попуштању и механичка својства материјала опруге. Силицијум се раствара у феритној решетки, повећавајући чврстоћу материјала, а још више границу течења, која код оваквих материјала може достићи и 90 % затезне чврстоће. С друге стране, при топлотној обради на вишим температурама, силицијум повећава склоност челика јаком разугљеничавању и крупнозрнатошћу, па се на површини добије чисти ферит који је неотпоран на динамичка напрезања. Карактеристика мангана је да осим што повећава својства челика исто као силицијум, узрокује неравномеран распоред састојака сулфида и оксида. Ваљањем оне заузму влакнасти распоред, па челик легиран манганом има високу жилавост у уздужном смеру (лиснате опруге).

Опруге за рад на повишеним температурама: код ових опруга челици су легирани првенствено хромом (до 1,5 %) који са гвожђем формира комплексни карбид, а са другим елементима (молибден, волфрам и ванадијум) формирају своје температурно постојане карбиде.

Опруге за рад у корозионој средини: проблем корозије најједноставније и најјефтиније се решава израдом опруга од претходно наведених челика, њиховим облагањем антикорозионим заштитним слојем. Много ефикасније, али зато и знатно скупље, је

израдити опруге од материјала отпорног на корозију. То су првенствено нерђајући челици и различите врсте бронзи.

У пракси се за опруге највише употребљавају топло ваљани челици који се након каљења отпуштају, како би се повећала жилавост материјала. Најбоља својства чврстоће постижу се употребом округле жице за опруге која се израђује у различитим нивоима квалитета. За хладну израду опруга поступцима резања, пресовања и намотавања, користе се хладно ваљане челичне траке. Крутост металних опруга зависи, код затезних и савојних опруга, од Јунговог (Young) модула еластичности материјала опруге E , односно од смичућег модула еластичности код торзионих опруга [2].

Табела 2. Механичке карактеристике челика за топло обликоване опруге [3]

Ознака	R_e N/mm^2	R_m N/mm^2	δA_5 %	Савијање $\sigma_{D(-1)}$ N/mm^2	Увијање $\tau_{D(-1)}$ N/mm^2
Č2130	1050...1150	1200...1400	7	550...650	350...400
Č2131	1100...1250	1300...1500	6	600...700	380...430
Č2132	1100...1250	1300...1500	6	600...700	380...430
Č2133	1100...1250	1300...1500	6	620...720	400...470
Č2330	1150...1300	1350...1500	6	700...800	450...500
Č2331	1150...1300	1350...1500	6	700...800	450...500
Č2332	1150...1300	1350...1500	6	700...800	450...500
Č2134	1200...1350	1400...1600	6		
Č4230	1350...1500	1500...1700	5		
Č4830	1200...1350	1350...1700	6	750...850	480...530
Č4831	1350...1500	1350...1700			
$\sigma_{D(0)} = R_e$ $\tau_{D(0)} = \tau_T = 0.6 R_e$					

При димензионисању опруга битно је да су напрезања која настају као последица спољњих оптерећења мања од допуштених. Допуштена оптерећења зависна су, поред коришћеног материјала, и од облика опруге, начина оптерећења и опасности од последица које би евентуално пуцање опруге проузроковало. Уопштено допуштена напрезања одређују се за поједине врсте опруга посебно. Уколико такви подаци нису на располагању, допуштена напрезања опруге могу се одредити оријентационо према затезној чврстоћи материјала R_m [2].

3. ОПРУГЕ СА ГУМЕНО-МЕТАЛНИМ ЕЛЕМЕНТИМА

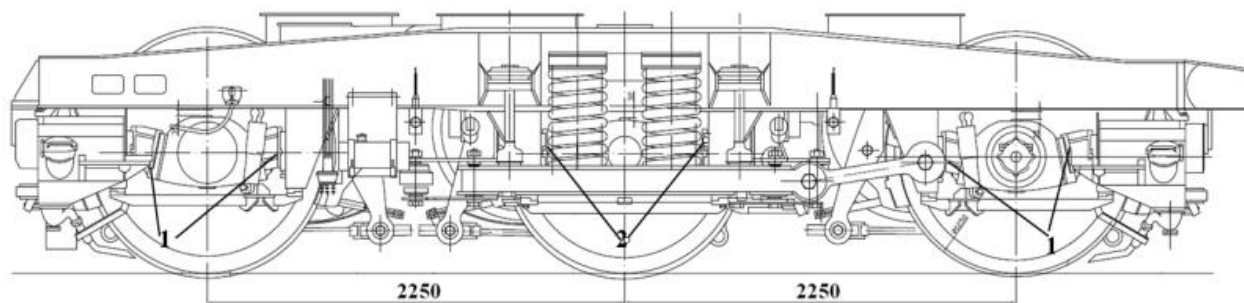
3.1 Гумено металне опруге - преглед истраживања

Анализом гумено-металних опруга су се бавили бројни истраживачи, како код нас тако и у свету, али ова област још увек није потпуно истражена тако да и даље представља изазов за многе истраживаче.

3.1.1 Преглед радова из области анализе напонско-деформационог стања

У раду [4] је представљена симулациона анализа, која је спроведена помоћу методе коначних елемената у циљу предвиђања концентracије напона и оцене понашања замора материјала. На основу нелинеарног квази-статичког модела и анализе, заостали напони су регистровани и суперпонирани и ова методологија је развијена да помогне да се предвиди век трајања гумено-металних опруга (ГМО). Резултати добијени у раду могу се користити за оптимизацију основних параметара дизајна и функција ГМО.

У вагонима електричних локомотива серије 46-000 коришћеним у систему бугарских железница (слика 13) употребљавају се гумено-металне опруге на главној осовини вагона.

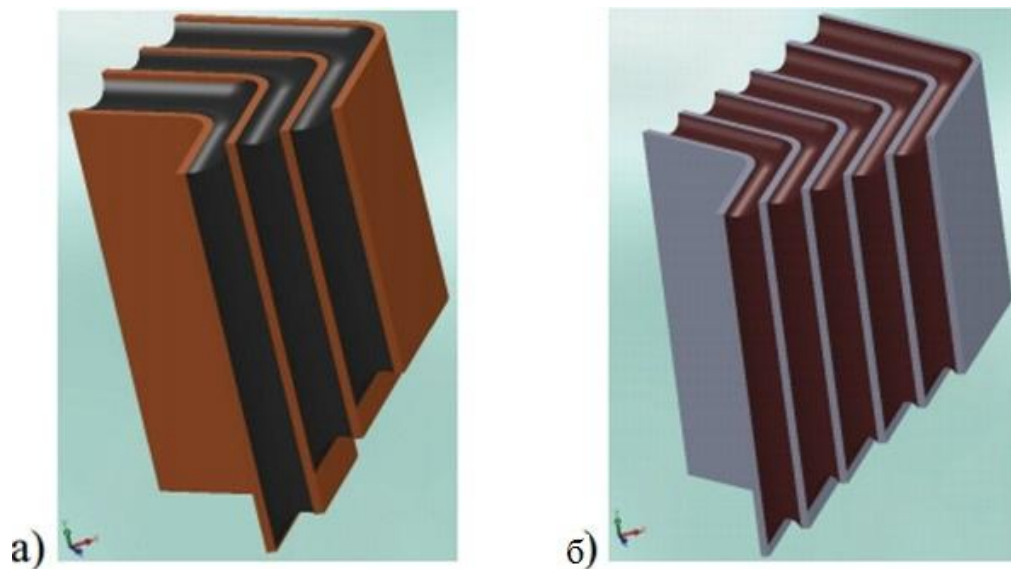


Слика 13. Вагон електричне локомотиве серије 46-000 [4]

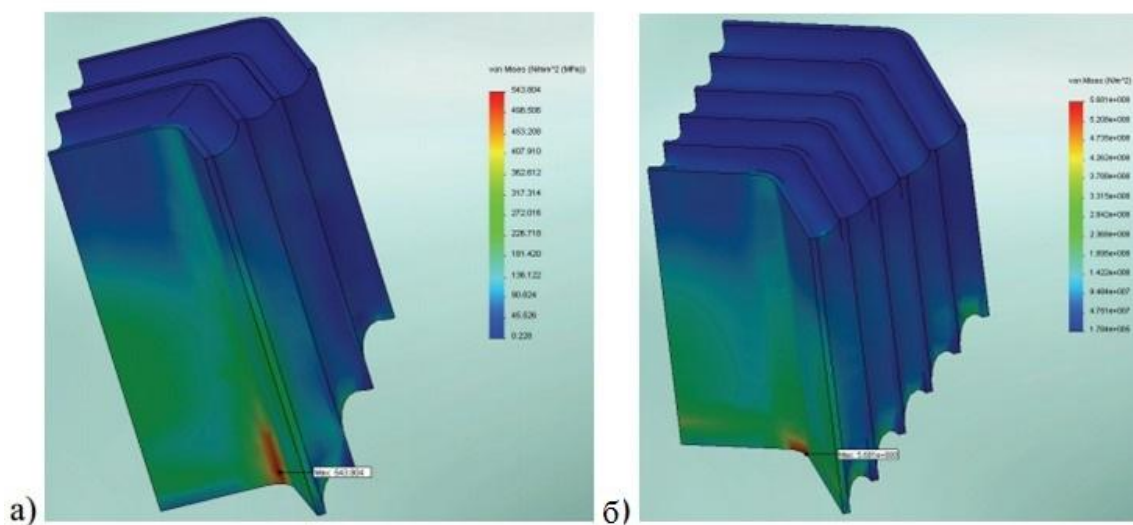
1- ГМО на предњем и задњем точку; 2- ГМО на средњем точку

Неке студије страних аутора [11, 12] су потврдиле да животни циклус ГМО достиже око 0,8 милиона циклуса, а у фази пројектовања конструкција је предвиђено 1,5 милиона циклуса. Највероватније објашњење у вези овог недостатка је замор материјала и присуство заосталих напона у металним плочама. Друге студије (нпр. [13]) су покушај да се предвиди, на основу ефикасне тродимензионалне анализе напона, деформационих стања металних плоча и гумених слојева време пуцања изазвано замором материјала и цепањем гумених слојева.

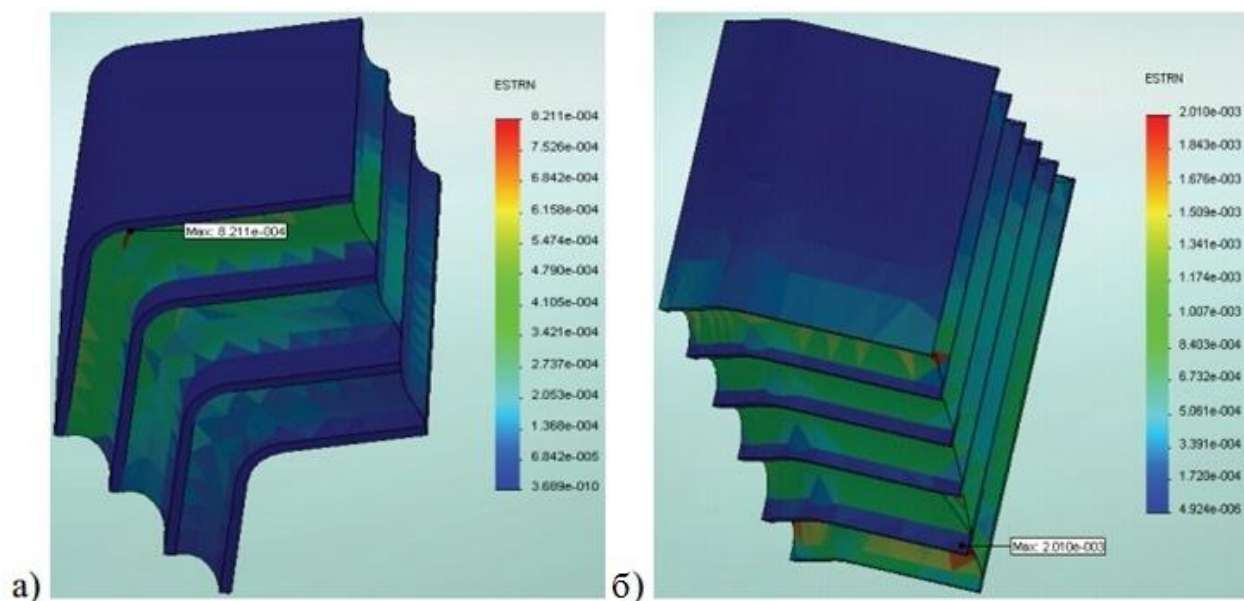
На основу расподеле тежине локомотиве на точкове, изабрано је номинално оптерећење од 50 KN. На слици 15 приказане су максималне вредности напона, а слика 16 показује деформацију опруге.



Слика 14. Модели гумено металних опруга а) са 3 слоја гуме, б) са 5 слојева гуме [4]



Слика 15. Анализа напона у опругама а) са 3 слоја гуме, б) са 5 слојева гуме [4]



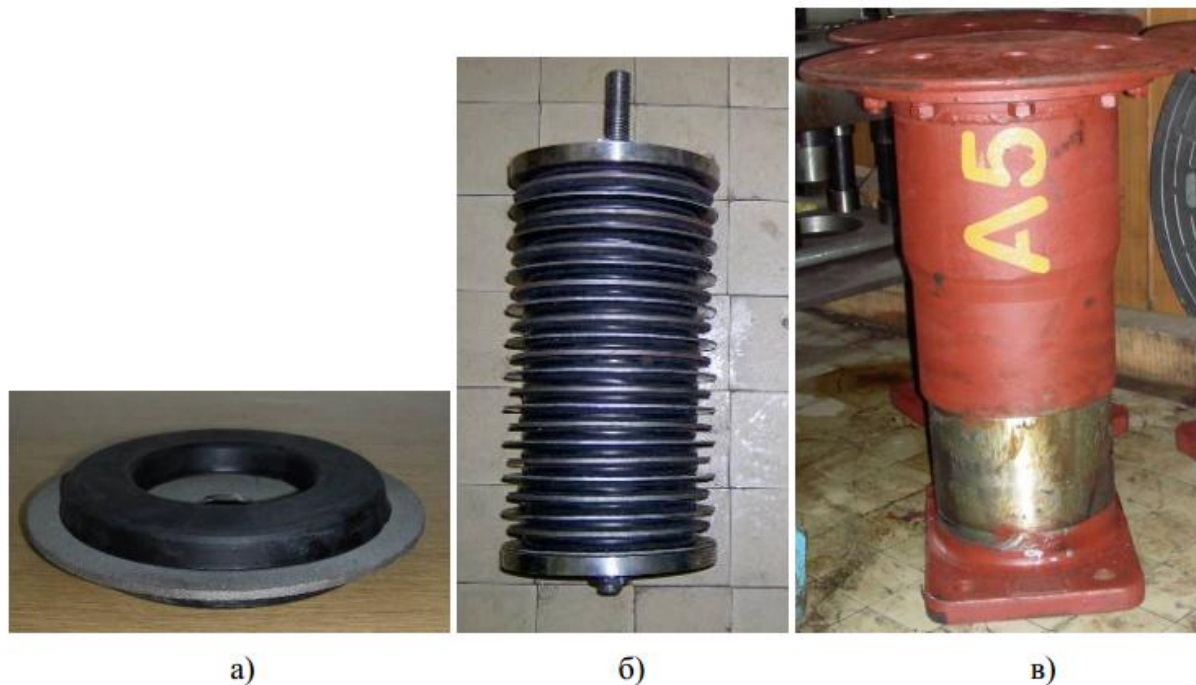
Слика 16. Анализа деформација опруга а) са 3 слоја гуме ($\max 0,82 \cdot 10^{-3}$)
б) са 5 слојева гуме ($\max 2,01 \cdot 10^{-3}$) [4]

Резултати истраживања су оправдали тврдњу да век трајања ГМО се може продужити смањењем напрезања.

Постигнута је процена замора ГМО компоненти (слојева гуме и металних плоча у облику латиничног слова V) и прогнозиран је животни век металних плоча. Предвиђање животног века гумених слојева, с обзиром на јачину замора, је сложеније због специфичности материјала. Коришћење тродимензионалне методе је ефикасан начин за предвиђање почетка појаве прслине услед замора материјала. Ова студија о ГМО може да се користи у процесу пројектовања, моделирања и анализе ГМО као и за оптимизацију њених параметара у погледу материјала (гума и метал).

У раду [5], на основу дефинисања релевантних карактеристика гумено-металних елемената који се примењују код железничких возила, приступило се моделирању и оптимизацији конструкције основног опружног елемента, као и дефинисању поступака испитивања гумене смеше и гумено-металних елемената и комплетних склопова, у складу са домаћим и међународним стандардима.

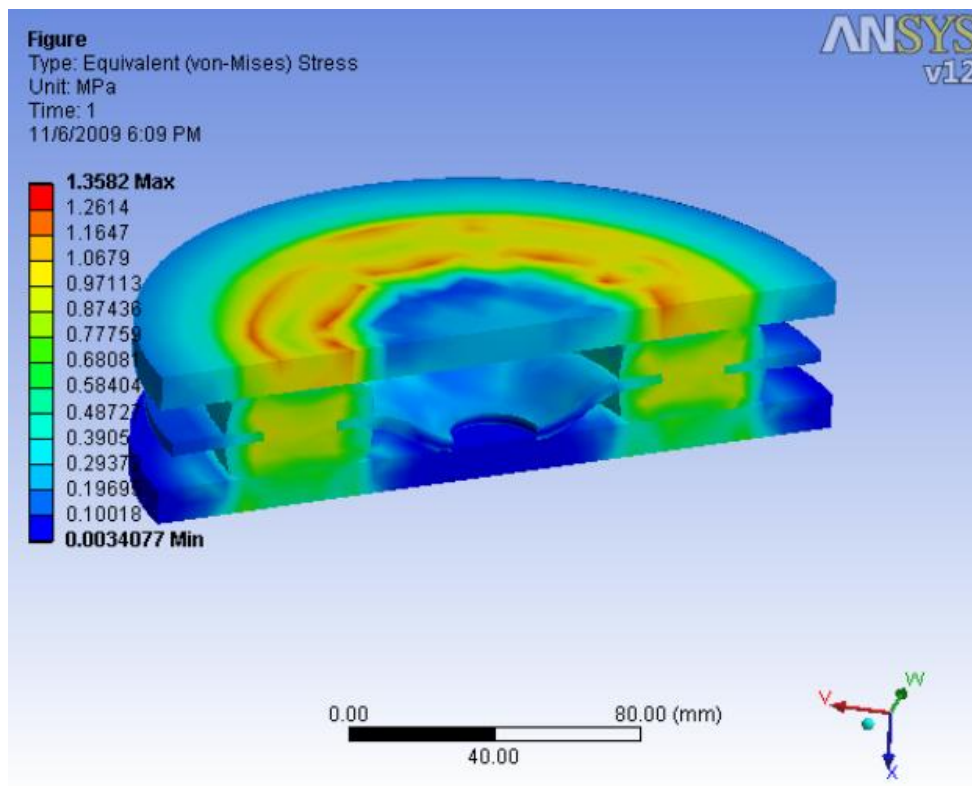
Техничке карактеристике анализираног одбојника су: ход $H=105 \text{ mm}$, класе А, карактеристике усклађене са објавом UIC 526-1. Одбојник може да се уграђује у локомотиве и теретна кола.



Слика 17. а) Основни опружни елемент, б) пакет гумене опруге, в) склоп одбојника. [5]

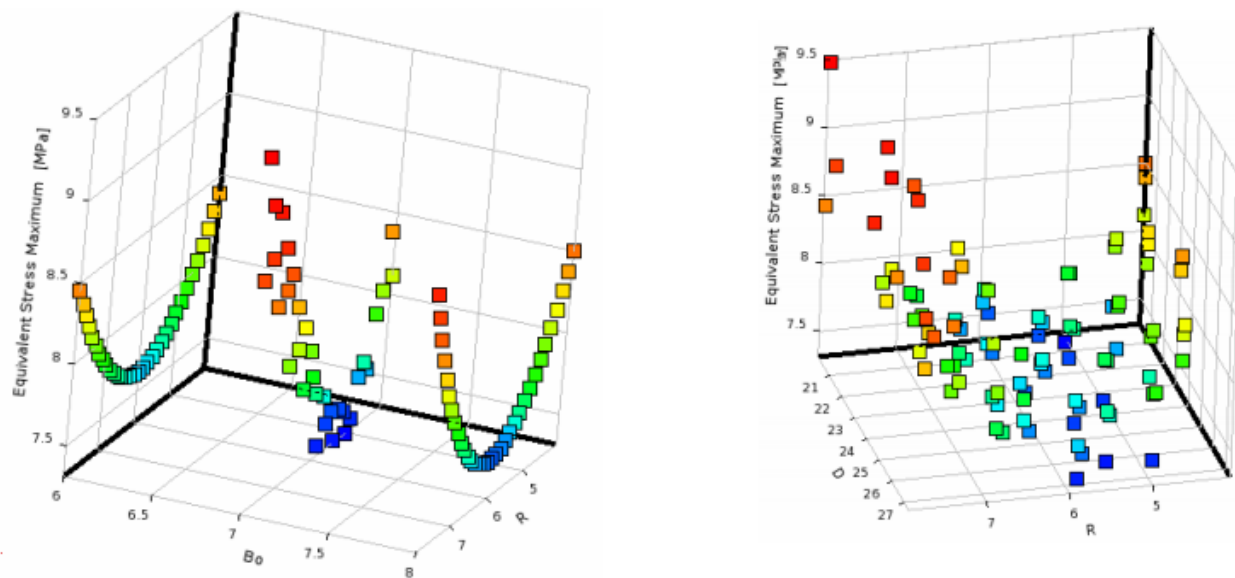
Било је потребно извршити оптимизацију конструкцијског решења спровођењем структурне анализе, као и да се изврши избор одговарајуће гумене смеше, која би имала задовољавајућа амортизујућа својства. На основу утврђених техничких карактеристика и технолошких параметара требало је израдити прототип производа одбојника.

На слици 18 дат је приказ половине модела основног опружног елемента и напонско стање наведеног елемента (при једноаксијалном притиску) добијено структурном анализом. Оптимизација геометрије основног опружног елемента извршена је како би се смањио укупни ниво напона у елементу и добила равномернија расподела напона. Смањењем нивоа напона и његовом равномернијом расподелом повећава се радни век основног опружног елемента, а самим тим и склопа оруге одбојника. Варирани су пречник отвора за пролаз гуме кроз арматурну плочу, број отвора и радијус гуменог дела елемента на месту контакта са међуплочама. Као резултат експерименталне анализе добијена је зависност максималног еквивалентног (Von - mises) напона у елементу од параметара експерименталне анализе. Минимизацијом добијене функционалне зависности дефинисани су оптимални геометријски параметри основног опружног елемента [5].



Слика 18. Модел и напонско стање основног опружног елемента одбојника [5]

На слици 19 приказана је функционална зависност максималног напона у гуменом делу елемента узavisности од параметра оптимизације.

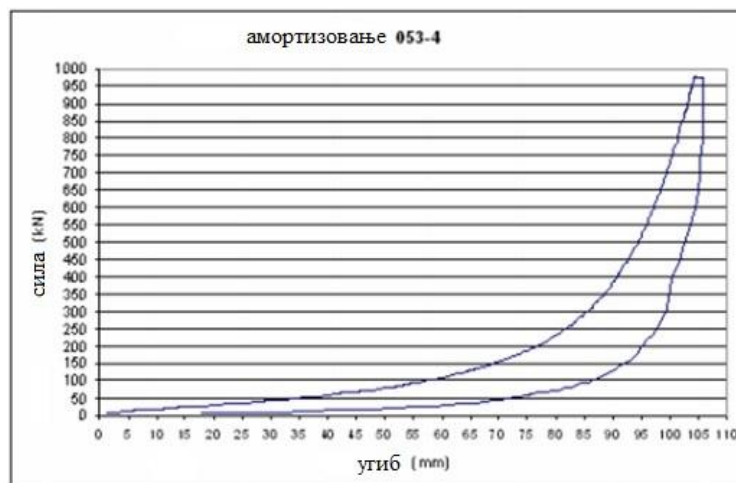


Слика 19. Зависност еквивалентног напона од параметара оптимизације [5]

3.1.2 Преглед радова из области експерименталног испитивања опруга

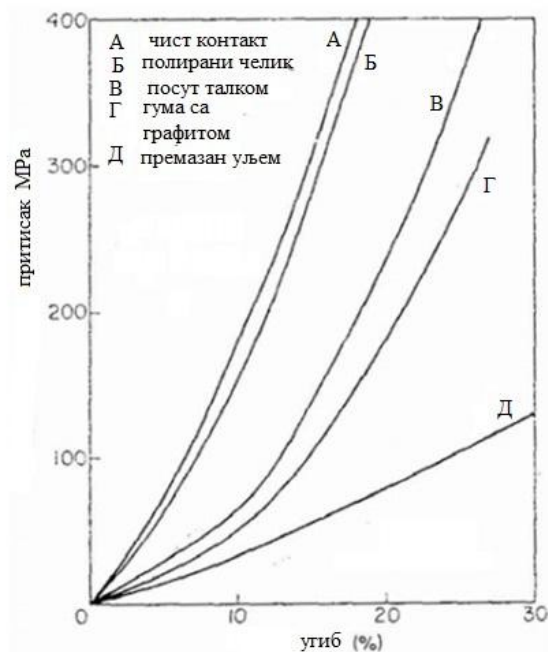
Рад [6] истражује трење између гуме и метала, што може значајно да утиче на пригушујуће карактеристике гумено-металних опруга. У оквиру експерименталних истраживања успостављена је у зависности од различитих контактних услова. Извршена је компресија гумено-металних опруга и резултати су евидентирани на дијаграмима. На овај начин се анализира узајамни утицај статичког трења између гуме и металног уложка и акумулиране и апсорбоване енергије у оквиру гумено-металних опруга.

Испитивање еластичних карактеристика склопова гумено-металних опруга, као и склопова одбојника врши се на хидрауличној преси максималног угиба од 105 mm и максималне силе од 1000 kN, након чега се врши декомпримовање. Током оба циклуса карактеристика "сила-угиб" се снима (Слика 20). Ово тестирање омогућава утврђивање еластичних и апсорпционих карактеристика гумених опруга, које треба да се утврде на основу акумулираног (рад компресије) и апсорбционог рада (енергија), који представљају разлику између компресионог и декомпресионог рада. Испитивање еластичних карактеристика опружних склопова одбојника врши се на идентичан начин, компресијом до максималног угиба од 55 mm или за вредност максималне силе од 850 kN.



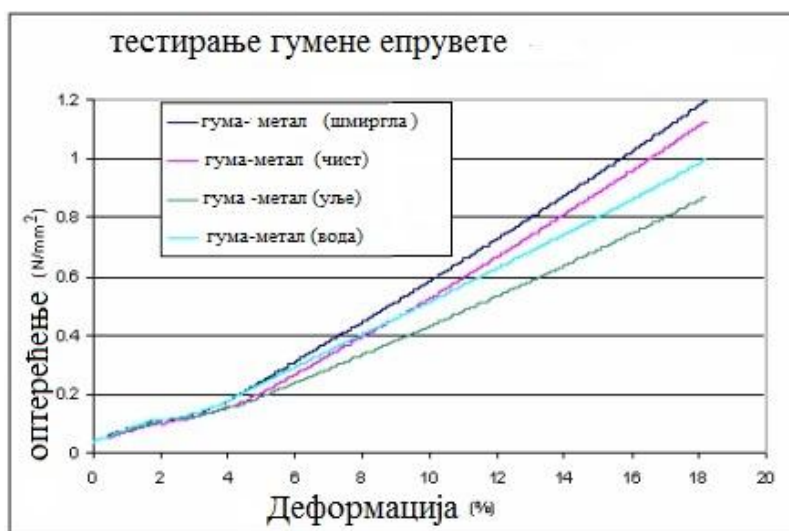
Слика 20. Статичке карактеристик одбојника гумено металних опруга [6]

Гума има веома висок коефицијент трења, и самим тим јединствена својства у погледу смањења могућности проклизавања. Слика 21. показује ефекат подмазивања крајева гуме под компресијом. Под условом да су челични крајеви чисти спој је скоро истих карактеристика као и код заливеденог узорка. Овај дијаграм приказује важност лепљења чак и када је гума под компресијом, јер се може десити да дође до случајног уласка уља кроз незалепљени слој што ће потпуно изменити карактеристике опруге.



Слика 21. Ефекти различитих стања површине на угиб гумене опруге [6]

За прво тестирање, површина између гуме и металне плоче очишћена је шмирглом, за израду веома чврстог контакта. Затим је коришћен чист контакт између гуме и металне површине. Након тога, контакт између гуме и метала је натопљен водом. Коначно, контакт између гуме и метала је премазан уљем. Слика 22 показује упоредне вредности еластичних карактеристика истог узорка гумене епрувете добијене током компресије у фазама испитивања статичког хистерезиса за различитих стања контактних површина.



Слика 22. Еластичне карактеристике у зависности од врсте додирних површина [6]

Вредност коефицијент трења је највећа у случају обраде контактних површина шмирглеом ($\mu = 0,8-1,1$). У случају контакта гуме и чистог метала вредност коефицијента трења је од 0,66 до 0,71, док је у случају влаженог контакта између гуме и метала вредност коефицијент трења од 0,64 до 0,86. Најмања вредност статичког коефицијента трења је у случају контакта гуме и метала премазаног уљем (0,5-0,7) [6].

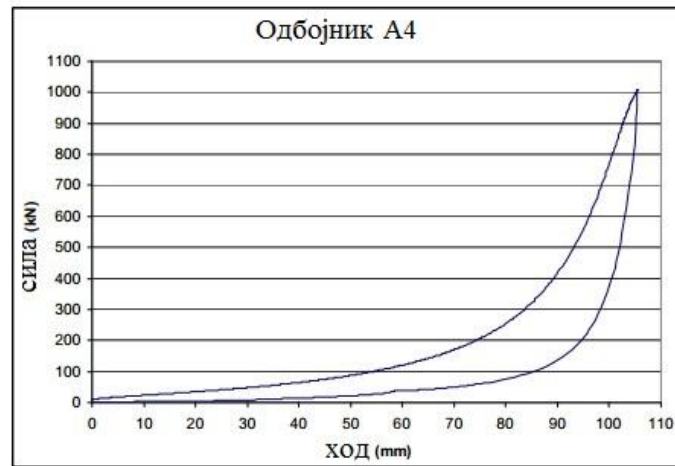


Слика 23. Апаратура за мерење коефицијента трења [6]

Експерименталном анализом дошло се до закључка да еластичне карактеристике гумено-металних опруга код одбојника одговарају захтевима, које поставља дизајнер само у случају када је контакт између гумених и металних делова израђен процесом вулканизације или лепљењем. Међутим, ако је контакт слободан онда ове карактеристике могу варирати у функцији стања контакта. Обављена експериментална истраживања указују да код гумено-металне опруге оптерећене на притисак, услови контакта између гуме и металних делова значајно могу утицати на еластичне карактеристике опруга. Добијени резултати показују да ако постоји вода или уље у контакту гуме и металног дела то ће довести до веће еластичности, другим речима, разлика акумулиране и апсорбоване енергије гумено-металних опруга биће већа.

Аутори рада [5] су се бавили експерименталним испитивањем рада одбојника. Овакав производ треба да испуни комплексне техничко-технолошке захтеве у експлоатацији, па је било неопходно да се изврши испитивање у складу са важећим међународним стандардима и железничким – UIC прописима.

Након израде гумено-металних елемената од одговарајуће смеше гуме, извршено је испитивање статичких карактеристика опружних склопова, а затим и комплетних склопова одбојника. Сабијање се врши максималном силом од 1000 kN, а брзина сабијања и растерећења се креће у опсегу од 0,6 m/min до 3m/min. На слици 24 приказан је снимљени радни дијаграм сила-ход узорка одбојника означеног са А4.



Слика 24. Радни дијаграм опружног склопа одбојника [5]

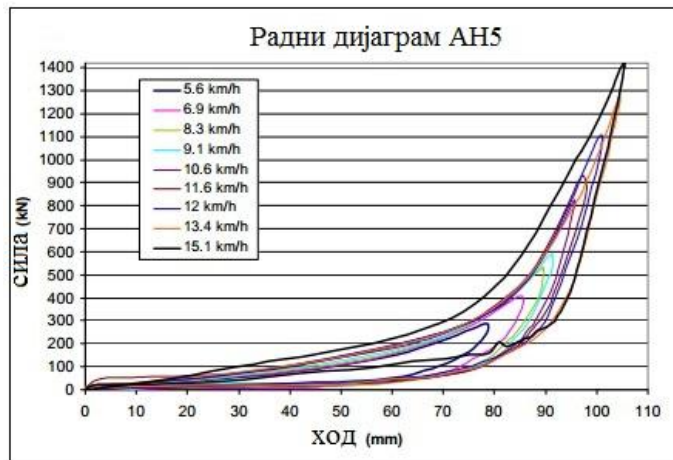
Испитивања статичких карактеристика и трајне деформације опружних склопова, као и испитивање статичких карактеристика склопова одбојника показала су задовољавајуће резултате.

Динамичко испитивање одбојника обавља се у циљу утврђивања динамичких способности акумулирања одбојника. Испитивање је извршено на равној пружи без нагиба, тако што један вагон који се креће одређеном брзином налеће на други вагон који стоји – незакочен. Том приликом су снимани дијаграми сила-ход на одбојнику и одређиван акумулирани, односно апсорбовани рад.

Приликом судара вагона мерене су следеће величине:

- Брзина вагона у тренутку судара,
- Сила и ход на одбојнику вагона који се одбија (мерни вагон),
- Убрзање и успорење оба вагона.

На слици 25 приказани су радни дијаграми одбојника у сударима при брзинама од 5 km/h до 15 km/h.

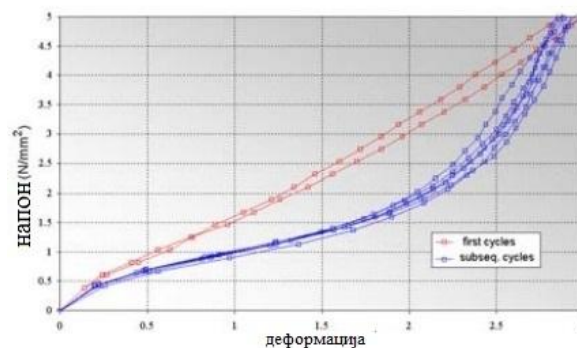


Слика 25. Радни дијаграм одбојника при испитивању налетањем вагона [5]

На основу измерених величина силе и хода испитиваних одбојника, вредности убрзања и успорења вагона приликом судара, вредности акумулиране и апсорбоване енергије, закључено је да карактеристике испитиваних одбојника категорије А са гумено-металним опружним елементима су задовољавајуће.

3.1.3 Преглед радова из области комбинованог експериментално-аналитичког одређивања карактеристика гумено-металних опруга

Комбинација експеримента и прорачуна је најефикаснији начин за постизање оптималног дизајна. Први део експерименталне анализе на одговарајућим гуменим узорцима користи се за улазне податке за материјални модел за нелинеарну анализу применом методе коначних елемената. На слици 26 приказани су напон и деформација за три узорка опруга направљених од гуме 56 ShA [7].



Слика 26. Криве напона и деформације за узорак гуме 56 ShA [7]

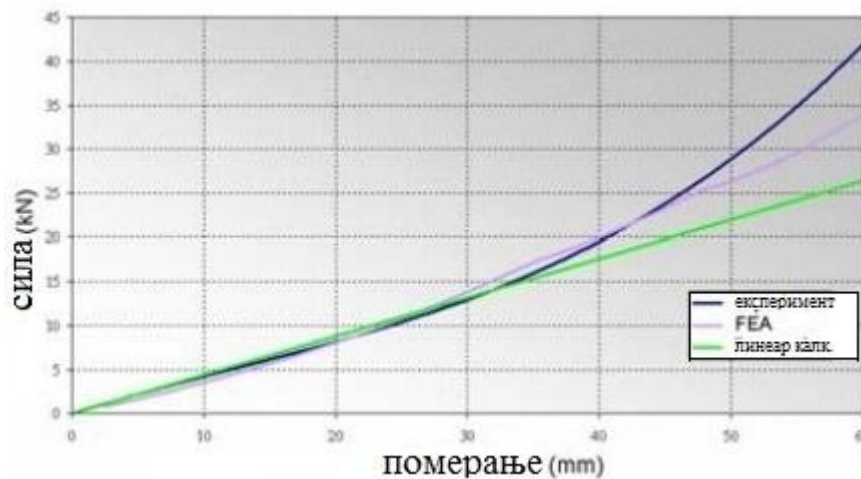
Први циклус оптерећења се разликује од циклуса који се стабилизује после два или три циклуса оптерећења, тако да се за прорачун применом методе коначних елемената (МКЕ) као улазни податак за материјални модел користи средња вредност стабилизоване криве напон-деформација.

Опруга је углавном оптерећена једноосним притиском. Израчунавање помоћу МКЕ треба да обезбеди производњу опруга са карактеристикама које испуњавају критеријум задовољавајуће динамике понашања и безбедног кретања возила.

Гумено-метална опруга се састоји од пет једнаких сегмената (слојева) између којих је лимена плоча већег пречника прстенастог облика. Анализа је извршена за један гумени слој.

Резултати прорачуна показују да се може очекивати да коришћењем предложене геометрије и тврдоће гуме од 56 ShA може да се постигне крутост у унапред дефинисаном опсегу.

Провера прорачуна је обављена експериментално тестирањем на притисак. Резултати прорачуна коришћењем МКЕ и експериментално добијени резултати се довољно добро подударају, као што се може видети из дијаграма на Слици 27.



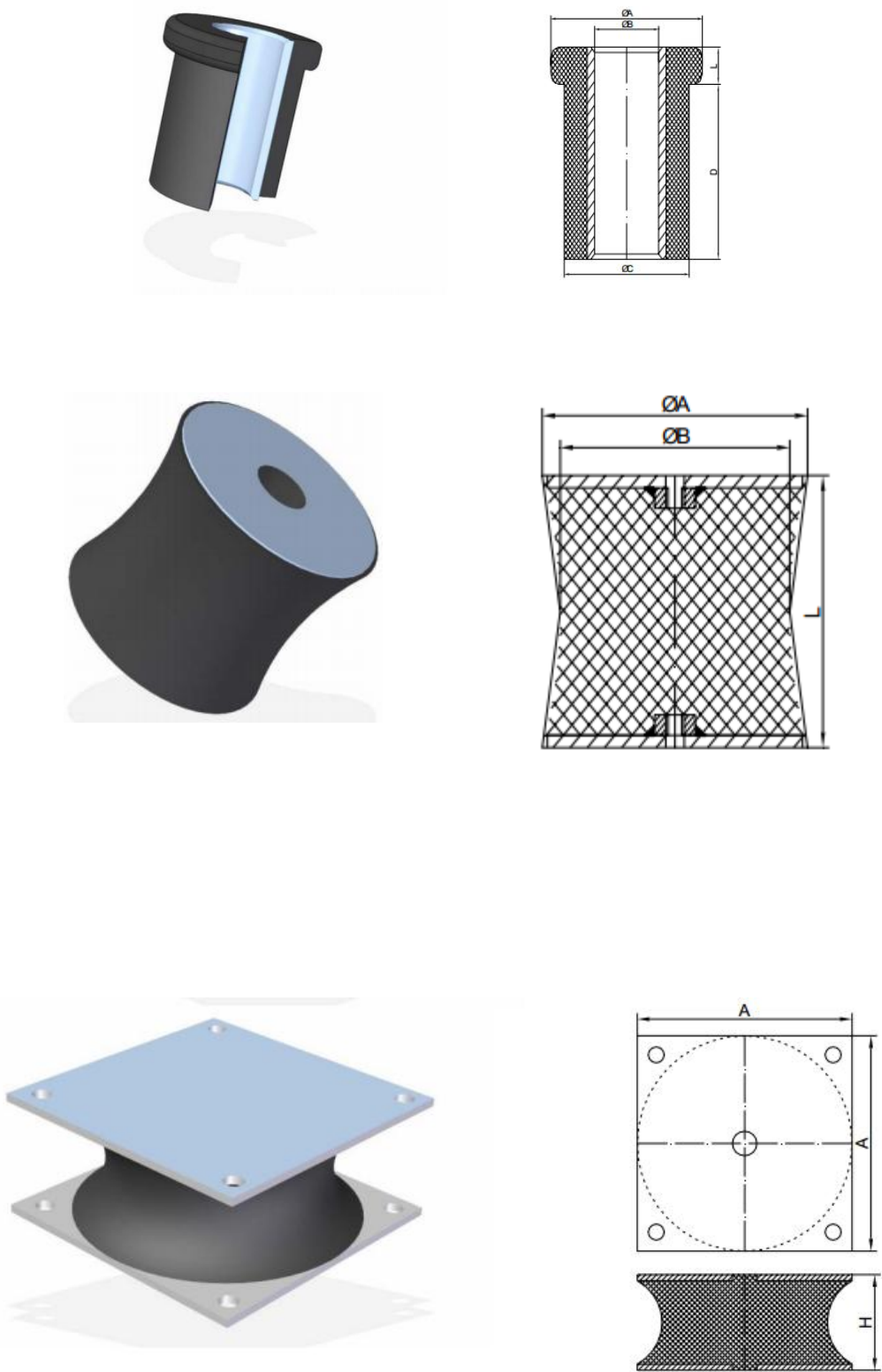
Слика 27. Поређење аналитичких, нумеричких и експерименталних резултата [7]

3.2 Опруге са гумено-металним елементом

Гума поседује велику еластичност, као и карактеристику да приликом оптерећења апсорбује одређену количину енергије због великог унутрашњег трења. Гумено-металне опруге представљају склопове који су направљени од гумених слојева и металних плоча, који се спајају у серији. Веза између металних плоча и гумених слојева остварују се процесима вулканизације или лепљењем гумених слојева на металне плоче. Међутим, могуће је веома ефикасно реализовати и слободне контакте. У том случају, веза између гумених блокова и металних плоча се остварује применом притиска и статичког трења. Гумене опруге највише су оптерећене силом притиска, значајно мање су оптерећене силом смицања или у исто време силом притиска и силом смицања. Гумено-металне опруге су истовремено и апсорбери удара, јер истовремено имају еластичне и пригушујуће карактеристике и због тога што могу да раде у комбинацији са челичним опругама или самостално (без амортизера).

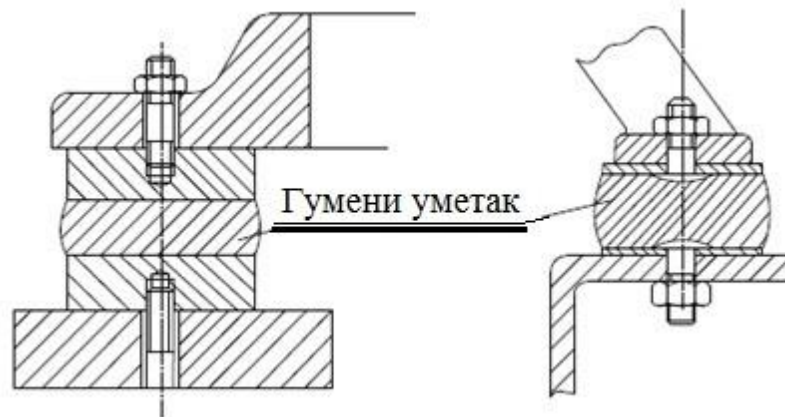
Примењују се првенствено као еластични спојеви за пригушење ударних и вибрационих оптерећења. Гумени еластични елементи се конструкционо изводе тако што се метална плоча или прстен, односно метална цев спаја са гумом. Такви делови у раду су напрегнути на притисак и смицање, односно увијање. Гума је веома прилагодљив материјал са многим повољним карактеристикама. На гумено-металним опругама гума је спојена са металним плочама, које служе за лакше причвршћивање и позиционирање. Монтажа и одржавање гумених опруга су прилично једноставни.

Основна својства гуме која се користи за еластичне елементе су тврдоћа, чврстоћа, еластичност, пригушење, постојаност на температури, постојаност у односу на старење, отпорност у односу на уље, бензин и сл. Од великог значаја за практичну примену је спој гуме са челичним деловима преко којих се еластични елементи оптерећују. Спој се остварује процесом вулканизације преко одговарајућих металних површина, које често својим рељефним обликом залазе у гуму [8].



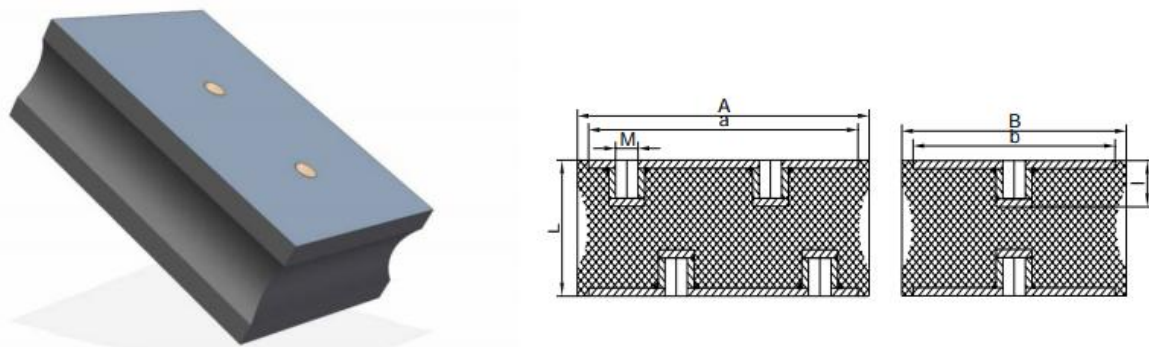
Слика 28. Различити типови гумено-металних амортизера [8]

Гумени еластични елементи примењују се за пригушење ударних и вибрационих оптерећења и смањење буке, пре свега код вешања мотора код моторних возила, као еластични ослонци и спојеви код машина (слика 29), као еластични елементи код спојница итд [2].



Слика 29. Еластични ослонци и спојеви машина [2]

Гумено-метални елементи се израђују са металним деловима у облику плоча, прстенова или чаура, који се везују са гумом поступцима вулканизације или пресовањем, обезбеђујући пре свега код угљеничних челика спој високе чврстоће, углавном веће од саме чврстоће гуме [2].



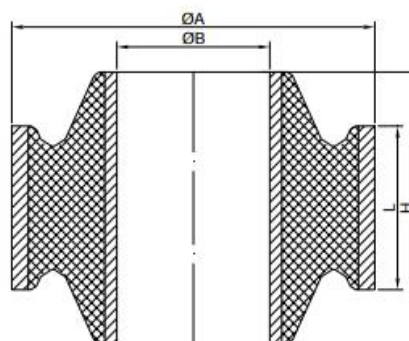
Слика 30. Гумено-метални амортизер [8]

Гумене опруге се употребљавају углавном за пригушење вибрација и удара, као на пример опруге за темеље или опруге уложака еластичних спојница. Вулканизирана гума између металних плоча, може се оптеретити на смицање, а и на притисак. Гума (каучук) се не може компримовати. Она може променити свој облик, али не и запремину. Када би гуму затворили са свих страна, она би изгубила своја еластична својства. Да би се олакшало

вулканизирање гумене мешавине, делови морају бити приближно једнаке дебљине, али не сувише дебели. Због осетљивости на зарезе, треба избегавати оштре ивице (заобљења и ребра су повољна).

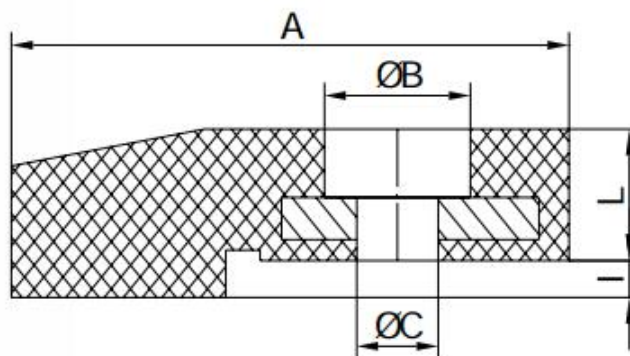
Као материјал се користи природна гума, буна-S, пербунан-гума и друге. Буна и пербунан су синтетичке гуме. Дуготрајним деловањем светла, топлоте и кисеоника гума стари и то тако да вештачка гума отврдне, а природна омекша, уз стварање напрелина. Затезна напрезања убрзавају старење (затезне опруге избегавати!). Синтетичка гума је мање од природне гуме осетљива на топлоту, уље и бензин. Између $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ гума се смрзава, постаје тврда и крта [1].

Поред већ приказаних метално-гумених опруга постоји велики број различитих облика опруга од којих су најинтересантније приказане на следећим сликама:



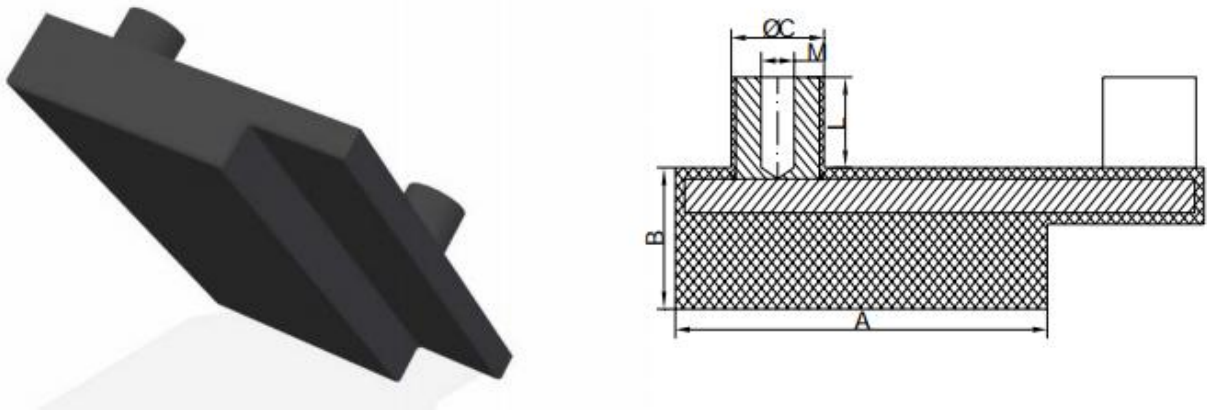
Слика 31. Прстенасти гумено-метални амортизер [8]

Прстенасти гумено-метални амортизер (слика 31) служи да смањи преношење вибрација са вратила на ослонац и обрнуто.



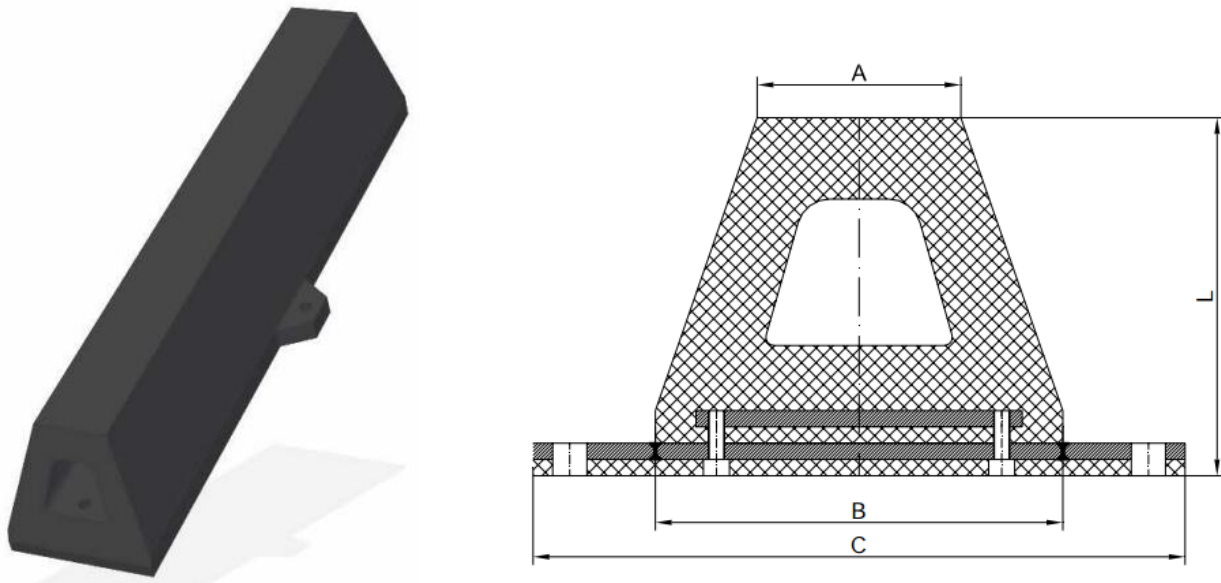
Слика 32. Гумено-метални сегмент [8]

Гумено-метални амортизери се често праве из више делова (слика 32), ради лакше уградње и замене дотрајалих и оштећених делова.



Слика 33. Гумено-метална стопа [8]

Гумено-метална стопа (слика 33) је један од најчешће коришћених амортизера, који се постављају као ослонци лакших машина, које стварају вибрације.



Слика 34. Гумено-метални одбојник [8]

Гумено метални одбојник (слика 34) се поставља на места где може доћи до неконтролисаног удара покретних делова и њиховог оштећења.

3.2.1 Скраћење експлоатационог века ГМО услед негативног утицаја топлоте

Температура гуме или гумено металних опруга повећава се због цикличног оптерећења, због губитака хистерезиса и ниске топлотне проводљивости гуме. Губици хистерезиса одговарају расипању енергије гуме, која је пре свега претворена у топлоту. Овај познати феномен, зван прегревање, је примарни разлог старења гуме. Повећање температуре унутар гуме доводи до деградације њених физичких и хемијских особина, повећање укочености и губитка способности пригушивања.

Када се гума користи дуже време она постаје крућа и губи способност пригушења. Овај процес старења је углавном резултат појаве топлоте која се ствара унутар гуме услед губитка хистерезиса, и то утиче на особине материјала, као и на век трајања гуме.

Топлотна енергије, која се јавља у материјалу, изазива повећање температуре унутар гуме, која може чак да доведе до топљења материјала или до експлозије. На стварање топлотне енергије у гуми утичу природни полимери, физичке и хемијске особине састојака споја, њихова интеракција са гумом, радни параметари и окружење. Смањење топлоте код гуменометалних опруга доводи до њиховог дужег радног века.

Због хистерезиса јавља се топлотна енергија која је главни проблем за трајност гумених делова. Бројни аутори су истраживали процесе производње топлотне енергије у гуменим једињењима, као и утицај топлотне енергије на трајност гумених делова и њихова термо-механичка својства. У новије време примењује се нумерички приступ предвиђања стварања хистерезисне топлоте [1].

3.3 Примена гумено-металних опруга

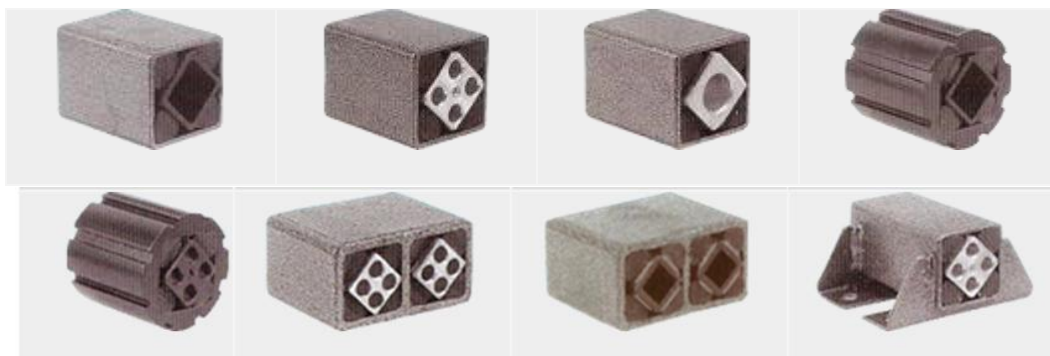
Значајна примена гумено-металних опруга је за пригушивање вибрација и осцилација (слике 35 и 36). Гумене опруге због једноставне примене имају значајну улогу. Имају високи степен еластичности, велику моћ елиминисања утицаја удара, судара, вибрација и осцилација. Уградњом ових делова конструктори могу елиминисати застареле вибрационо-осцилационе делове и системе за вешање, постижући овим уштеду времена и снижавање трошкова одржавања. Делови направљени од гуме, посебно гумене опруге, имају широку примену код транспортних возила у друмском и железничком саобраћаја. Употреба гуме за опруге друмских и шинских возила почела је неколико година након открића вулканизације. Гума је неопходна за побољшање карактеристика челичних опруга, за смањење тежине челика потребног да апсорбује повремене веће ударе, или да

уведе неке пригушујуће ефекте. Она се успешно примењује у многим областима технике више од сто година. Због својих одличних физичких карактеристика, производња гумених опруга је један од најзначајнијих начина употребе гуме. У односу на метал, гума има знатно већу еластичност, поседује одређен степен пригушења што је нарочито погодно када дође до појаве резонантне вибрације и може да акумулира енергију више од челика[9]..

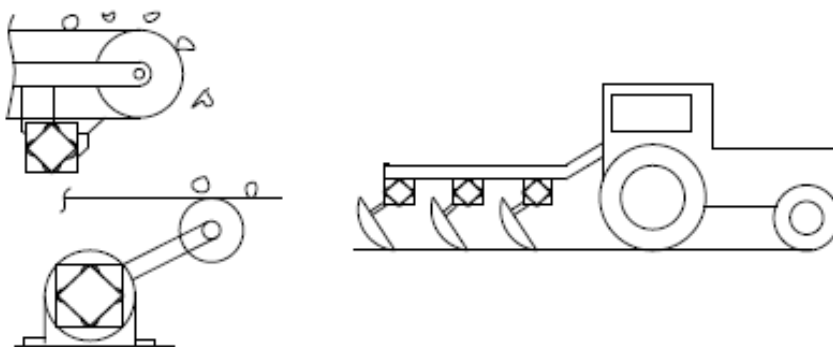


Слика 35. Вибрациона опруга [9].

Спољни и унутрашњи основни елементи гумених опруга израђене су углавном од алуминија и челика и склапају се са природним гуменим улошцима. Спољашњи делови се премазују нарочито отпорном фарбом и термички обрађују у пећима на 200 °C. Остали унутрашњи делови се заштићују танким слојем фарбе која се наноси прскањем. Производ се може користити на -40 °C и до +80 °C и под најнеповољнијим климатским условима. Захваљујући коришћеним квалитетним материјалима који су термички и хемијски обрађени, отпорни су на нечистоће, на влагу и на сунчеве зраке.



Слика 36. Различити типови вибрационих опруга [9].



Слика 37. Пример примене гумено-металних опруга [9]

3.3.1 Опруге за пригушивање осцилација

Осцилујуће јединице - опруге за пригушивње осцилација (слика 38) тако су конструисане да буду погодне за осцилирајући транспорт материја различитог типа и опсега.

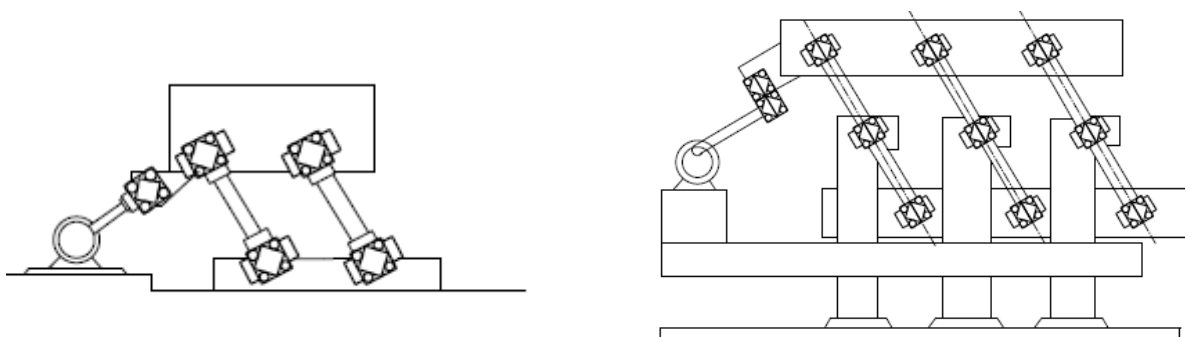
Особине осцилујућих јединица:

- лако монтирање,
- економичност ,
- дугачак век трајања и мања одржавања,
- отпорност на различите спољашње утицаје и
- вишенаменска примена.

Нарочито су погодане за вешање машина за класификовање у рударству, за вешање машина за трење, вешање машина за мешање сточне хране, код машина за класификацију воћа и поврћа, у индустрији дувана, код машина за класификовање трењем итд [9].



Слика 38. Опруге за пригушивње осцилација [9]



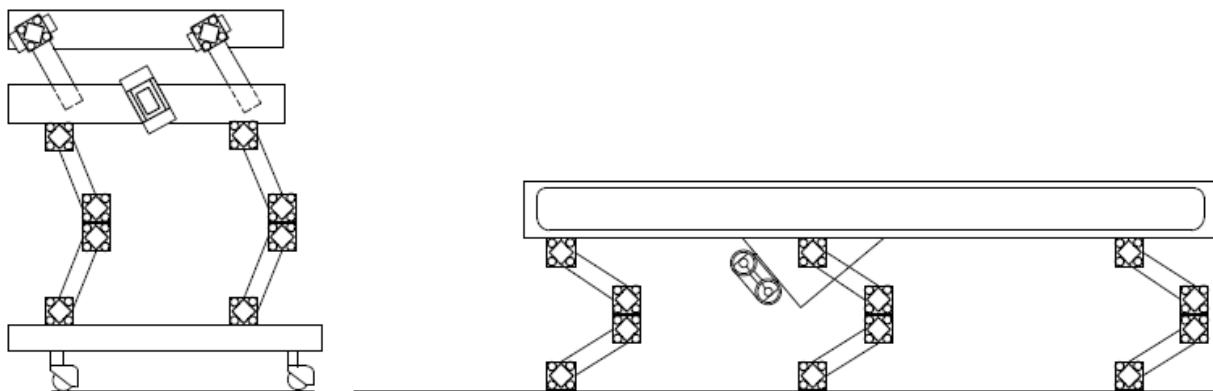
Слика 39. Систем опруга за пригушивање осцилација [9]

3.3.2 Опруге за пригушивање вибрација

Вибрациона технологија се користи у случају еластичних вешања, која се јављају код ексцентричне ротације (на пример: код вибрације мотора). Вибрационом технологијом постижу се еластична гibaња – са природним гуменим улошком, стварају се хармоничне вибрације до краја вибрационог пута. Вибрациони елементи (слика 40) немају металне делове које се међусобно додирују и тако не може доћи до електростатичног пуњења које би се стварало током трења док се транспортује материјал [9].

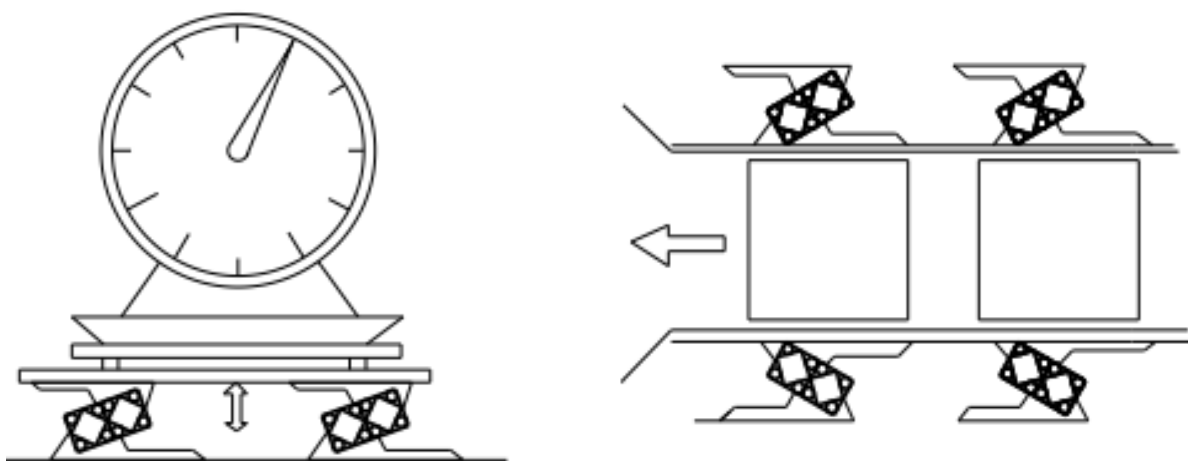


Слика 40. Опруге за пригушивање вибрација [9]



Слика 41. Систем опруга за пригушивање вибрација [9]

Уопштено, вибрације које долазе из унутрашњости покретних елемената (нпр. мотора) сматрају се штетним јер немогућност контролисања ширења осцилације може да проузрокује настанак већег броја непријатних функционалних грешака, као што су: прерано хабање делова, деформисање металних делова итд. Даље, вибрација физикално утиче и на руковаоца машине. Због тога примена одговарајућих техничких решења је значајна и у интересу заштите машине и човека. Вибрација се смањује у сваком случају када је природна фреквенција система нижа од фреквенције изазивача. Ово се може постићи и применом челичних опруга, али са незнатним резултатом. Међутим коришћењем гумено-металних пригушивача вибрација произведених од специјалне гуме постижу се идеални резултати.



Слика 42. Пример употребе гумено металних пригушивача осцилација код ваге и тракастог транспортера [9]

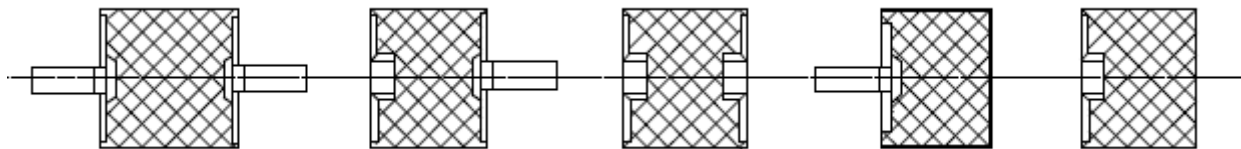
3.3.3 Ваљкасти гумени пригушивачи вибрација

Употребом ваљкастог гуменог пригушивача вибрација (слика 43) код пумпи, вентилатора, електричних уређаја, електричних мотора и код осталих индустријских и пољопривредних уређаја, где наступају вибрације, исте одлично ублажује [9].



Слика 43. Ваљкасти гумени пригушивачи вибрације [9]

Предности ваљкастих гумених пригушивача су: једноставно монтирање, велика еластичност, економичност и дугачак век трајања.



Слика 44. Различити типови ваљкасто гумених пригушивача вибрација [9]

3.3.4 Ваљкасти гумени пригушивачи осцилација са пробушеним ваљком

Захваљујући једноставној изради гумени пригушивачи вибрација са пробушеним ваљком (слика 45) имају широку примену. Због једноставности врло је популаран гумени ваљак за смањење вибрација.



Слика 45. Гумени пригушивачи осцилација са пробушеним ваљком [9]

3.3.5 Гумени пригушивач са холкером

Принцип функционисања је сличан ваљкастим пригушивачима вибрације, али ови пригушивачи приликом оптерећења дозвољавају и већа померања на страну и не иступају из хоризонталног поља [9].



Слика 46. Гумени пригушивач са холкером [9]

3.3.6 Параболични пригушивачи вибрација

Захваљујући облику параболичног гуменог пригушивача вибрација (слика 47) карактеристикагибања је прогресивна, с тим да је код већег померања све већа и кочиона снага. Предности ових пригушивача су: једноставна уградња, велика делотворност.



Слика 47. Параболични пригушивачи вибрације [9]

3.3.7 Специјално дизајнирани амортизери за контролу удара и вибрација

Ови амортизери су направљени од еластичног материјала са додатним супстанцама које побољшавају могућности угибања и антивибрација. [10]

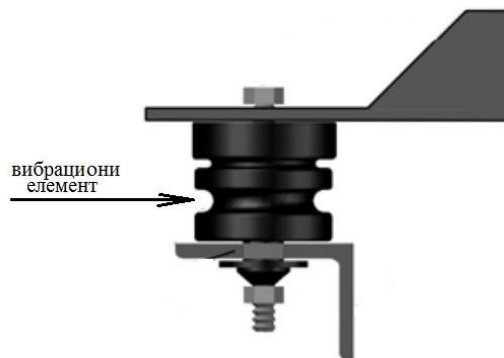


Слика 48. Специјално дизајнирани амортизер за контролу удара и вибрација [10]

Сви метални делови су покривени гумом да би се избегла корозија и имају тракасте облоге које штите од трења на врху и на дну. Цилиндрични вертикални стабилизатор у комбинацији са металним поцинкованим поклопцем дебљине 1,5 mm, штити од уља, нафте, воде и сунчевог утицаја.



Слика 49. Амортизер за контролу удара и вибрација постављен у радни положај [10]



Слика 50. Вибро мини (антивибрациони ослонац за машине мање тежине) [10]

Вибро мини амортисер (слика 50) се може причврстити анкером за под и за плафон а може бити постављен и на металну основу кроз коју пролази завртањ М8. Захваљујући свом дизајну, вибро-мини има максимално угибање у складу са опсегом оптерећења. Као што је познато веће угибање значи боље антивибрационе резултате. Анкер мора бити постављен вертикално. Завртањ елиминира могућност падања машине у случају уништења гуменог дела. Тежина машине се ослања на горњу површину вибро-мини амортисера. Вибро еп-метал амортисер (слика 51) се састоји од еластичног елемента са димензијама 12,5 x 12,5 cm и посебно направљеног поцинкованог металног поклопца. Челични поклопац између

основе машине и еластичног дела обезбеђује равномерну расподелу оптерећења на целој површини еластичног дела. Истовремено поклопац штити гуму од сунчевог зрачења.



Слика 51. Антивибрациони ослонац са металним поклопцем (Вибро ЕП-метал) [10]

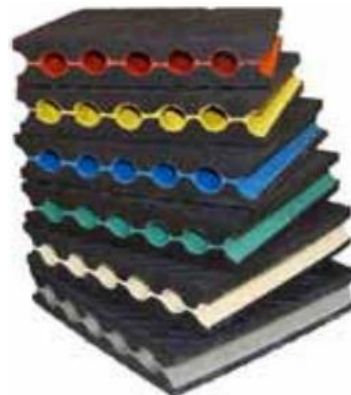
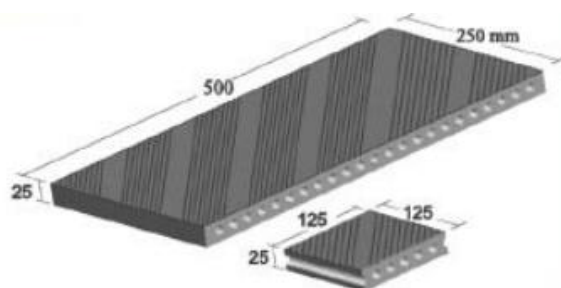
У центру горње стране поклопца је унутрашњи навој у који се поставља одговарајући завртањ. Беж, зелене и жуте еластичне подлоге су израђене од неопрене гуме.

Табела 3. Дозвољено оптерећење за различите врсте гуме [10]

ВИБРО ЕП-МЕТАЛ	Максимално оптерећење(dn) *
сива или беж	350
плава или зелена	250
црвена или жута	150

* 1dn=1kg

Амортизери за контролу удара и вибрација могу се користити за: клима коморе, климатизацију, пумпе, ваздушне компресоре, вентилаторе, трансформаторе, генераторе, машине за сечење, машине за штампање, лифтове. Посебно се користе када је потребно причврстити машину.

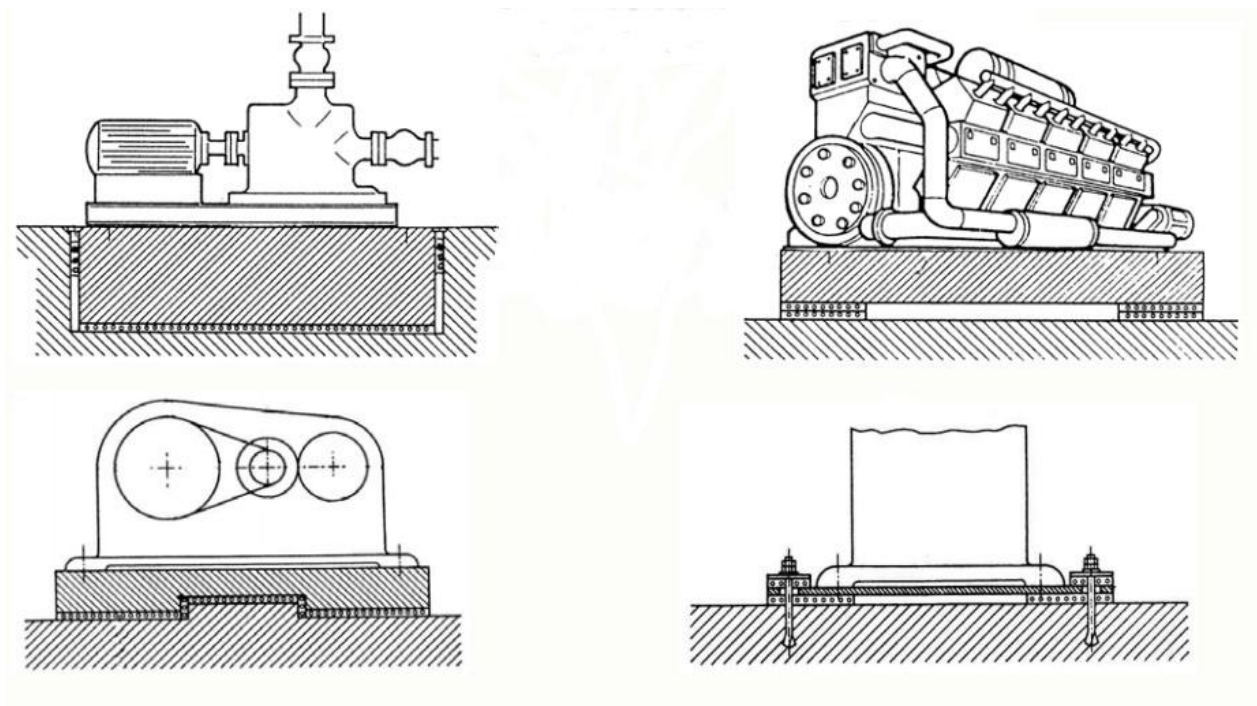


Слика 52. Еластични ослонац Вибро-ЕП [10]

ВИБРО-ЕП је производ који је настао путем посебних истраживања и производи се у овом облику од 1989. Године. Направљен је од еластичног материјала одличног квалитета помешан са специјалним супстанцама за његово даље унапређивање квалитета. Уздужне рупе увећавају компресију и побољшавају апсорпцију вибрација. Могу се користити у више слојева са употребом челичног лима између како би се редуковала природна фреквенција од 4Hz.

Примењује се за антивибрациону подршку ваздушних компресора, клима уређаја, пумпи, вентилатора, генераторских сетова, машина за сечење итд. Такозвани пливајући под, који омогућава овај производ, примењује се за индустријске подове, лифтове, машине за штампу итд.

Захваљујући високом коефицијенту абразије, за фиксирање ВИБРО- ЕП амортизера обично није потребно да се користе завртњеве, лепак или нешто слично, једино у посебним случајевима. Може бити постављен испод металног постоља машине или испод бетонског плутајућег статичног носача у једном или више слојева[10] .



Слика 53. Примери примене еластичног ослоња Вибро-ЕП [10]

3.4 Амортизери за контролу удара и вибрација код железничких возила

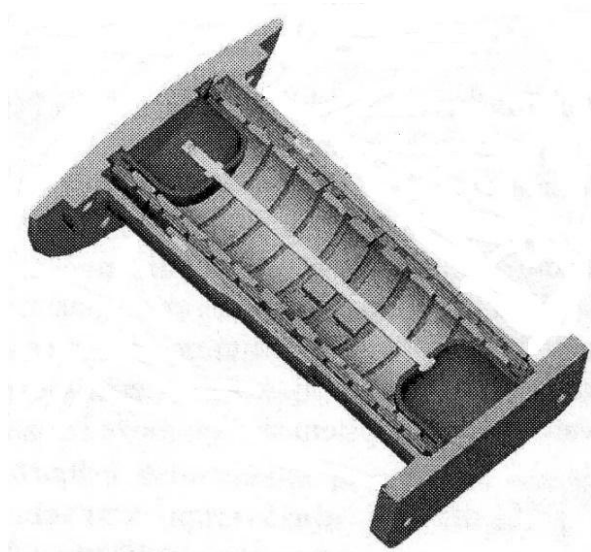
Велику примену гумено металне опруге имају код железничких возила где се користе за ублажавање удара и вибрација, а свакако најзначајније од свих опруга које се ту користе су одбојници.

Гумено-метални елементи су конструктивни делови који се израђују од природних и синтетичких каучука у споју са металним носачима. У њима су садржане предности оба саставна елемента: високе способности угиба и амортизације гуме и велика површинска оптерећења која подноси метални део. Управо такви захтеви се постављају код огибљења железничких возила (локомотиве, возови, маневарска возила и вагони).

Одбојна опрема спада у основне и изузетно одговорне уређаје железничких возила и служи за међусобно повезивање кола у возу, односно кола са локомотивом. Неисправност одбојника или неисправно спрезање одбојника различитих опружних карактеристика могу бити узрок нестабилног кретања возила, повећаног хабања елемената огибљења и трчећег склопа, као и исклизнућа воза из шина. Опруге у одбојницима железничких возила имају способност акумулирања енергије удара. Динамички акумулирани рад је максимална вредност акумулираног рада код испитивања судара два теретна вагона.

Одбојници код железничких возила служе за [2]:

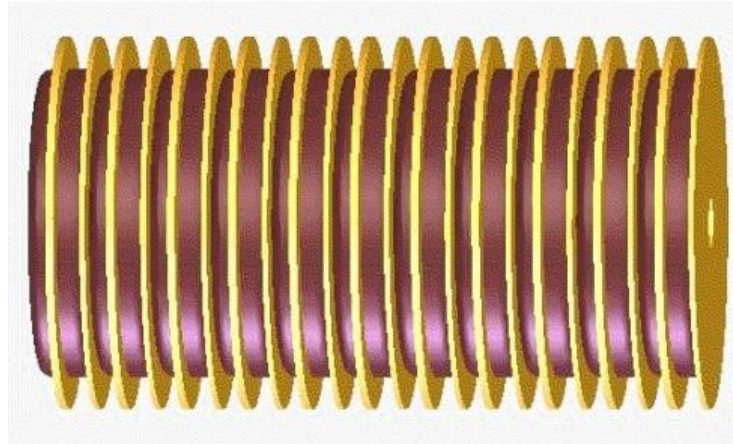
- међусобно повезивање вагона и вагона са локомотивом,
- одржавање одређеног растојања између возила у возу,
- предају и смањење интензитета вучних и одбојних сила које се јављају код вуче возова или код маневрисања колима.



Слика 54. Опруге као функционални елементи [2]

Основне предности одбојника са гумено металним опругама у односу на одбојнике са прстенастом опругом су:

- нижа цена,
- лака уградња,
- немогућност блокирања опруга [2].



Слика 55. Одбојник са метално-гуменом опругом [1]

Гумено-метални елементи се израђују са металним деловима у облику плоча, прстенова или чаура, који се везују са гумом поступцима вулканизације или пресовањем, обезбеђујући пре свега код угљеничних челика, високе чврстоће споја, углавном веће од саме чврстоће гуме.

Гумено-металне опруге су обично оптерећене притиском или смицањем или врло често комбинацијом оба оптерећења. У стабилним постројењима ове опруге се користе за еластично ослањање агрегата (слика 56) [6] .



Слика 56. Гумено метална опруга - еластични ослонац [6]

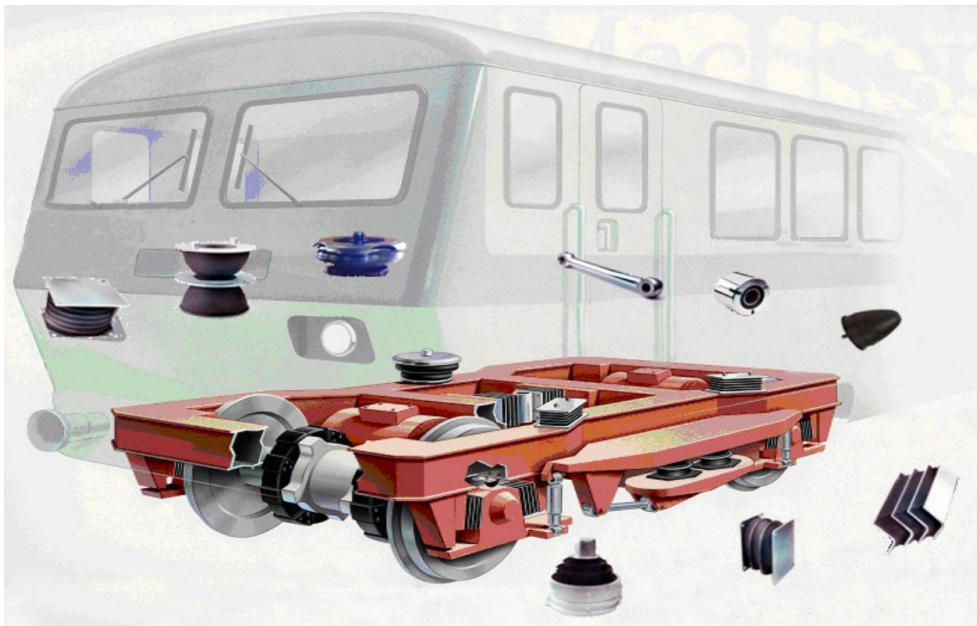
Гумено-металне опруге на железничким возилима се користе за основно и средње вешање и за еластично ослањање агрегата. Осим тога, посебна примена гумено-металних опруга је за одржавање везе вагона. Вешање код железничких возила представљено је еластичном везом између делова опреме и има улогу да обезбеди стабилност и удобност током возње, као и да се потисну вибрације и бука.

Вешање може да се уради са обичним челичним опругама, калем челичним опругама, гумено-металним елементима и ваздушним јастуцима. Додатни елементи вешања су амортизери који могу радити на принципу трења или могу бити хидрауличног типа. Они имају задатак да сузбијају вибрације делова које се јављају током возње. Основне предности гумених опруга у односу на металне прстенасте опруге су: мања цена, једноставнија израда, мања маса, не кородирају, не ломе се и нема потребе за подмазивањем.

Недостатак гумених опруга је, за разлику од метала, осетљивост на промену режима оптерећења на ниским температурама и осетљивост на утицај агресивне средине. Дакле, гума успешно задржава своје еластичне карактеристике и до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, али на ниским температурама брзо губи еластичност, другим речима постаје крута и крхка [5].

3.4.1 Примери примене осталих гумено металних опруга код железничких возила

Гумено металне опруге (ГМО) су веома широко заступљене код железничких возила, јер су поуздан елемент еластичног пригушивања. Оне су компактне, јер комбинују еластична и амортизациона својства, и не захтевају оперативно одржавање. Њихов значајан недостатак је процес промене карактеристика познат као старење гуме[1].



Слика 57. Примери примене гумено металних опруга на железничком возил [1]

4. АНАЛИЗА НАПОНСКО ДЕФОРМАЦИОНОГ СТАЊА ГУМЕНО - МЕТАЛНИХ ОПРУГА

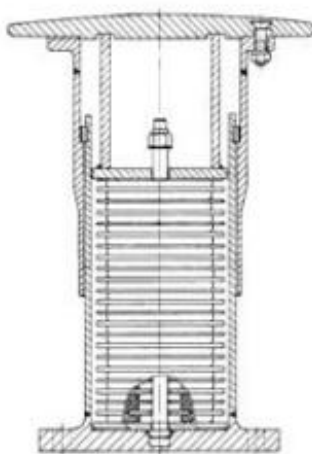
Одбојник има веома важну функцију у одржавању међусобне удаљености између железничких вагона у возу. Њихова основна својства су од пресудног утицаја на пренос и смањење ударних оптерећења којима је доста угрожена стабилност, сигурност и способност маневра железничких возила. Гумено-металне опруге се умећу између челичних прстенова, као замена опружних система направљених само од металних прстенова. Појавили су се у пракси седамдесетих година прошлог века. Гумено-металне опруге се састоје од металних носача у облику кружних плоча или прстенова, који су повезани са природним или синтетичим каучуком поступком вулканизације. На овај начини искоришћене су предности оба саставна елемента: висока способност угиба гуме и велика површинска оптерећења, која омогућавају метални делови (слика 58).

Табела 4. Основне карактеристике контакта гума-метал [6]

Бр.	Стање контактних површина	Максимална сила	Угиб за силу од 1200 N	Акумулирани рад	Апсорбовани рад	Статички хистерезис
		(N)	(mm)	(Nmm)	(Nmm)	(%)
1.	Гума-метал (шмиргла)	1200	3.25	1766	241	13.6
2.	Гума-метал (чист)	1200	3.41	1814	291	16.1
3.	Гума-метал (вода)	1200	3.80	2141	677	31.6
4.	Гума-метал (уље)	1200	4.17	2291	459	20.0



а)



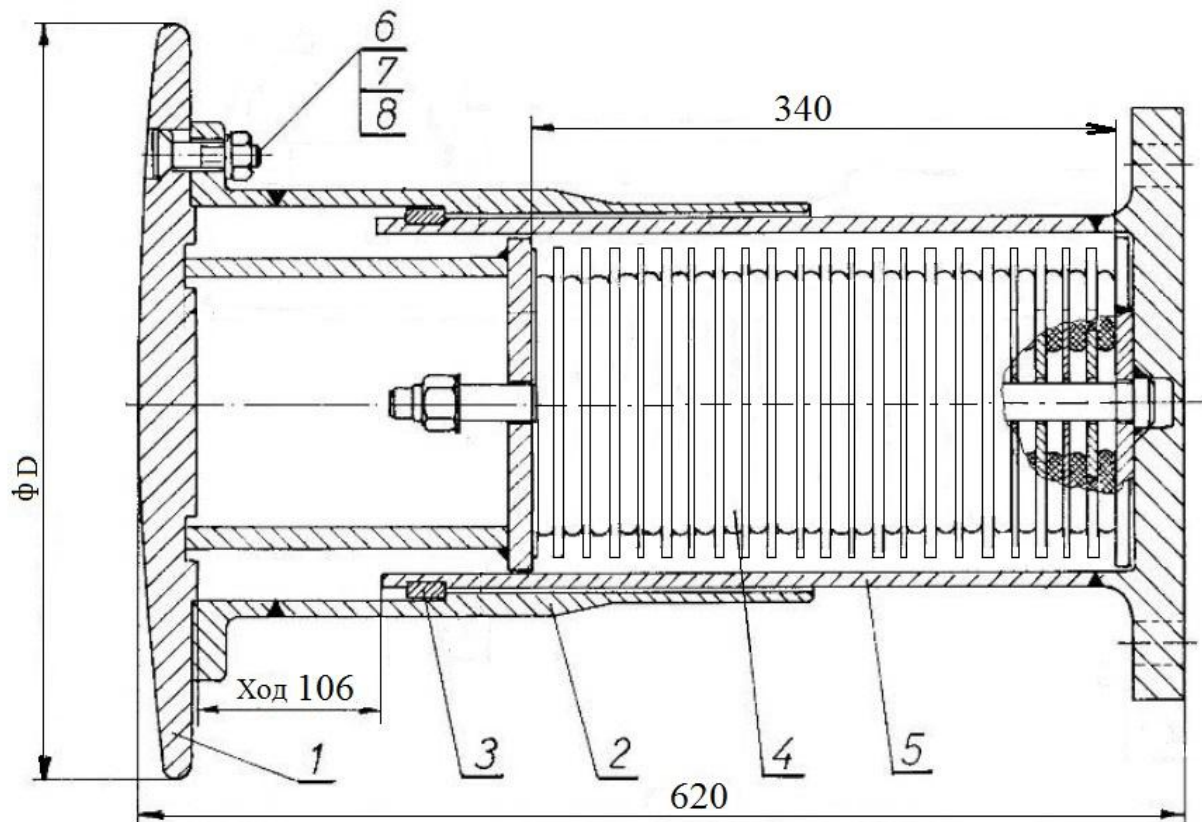
б)



ц)

Слика 58. а) гумено метална опруга, б) попречни пресек одбојника, ц) одбојник [5]

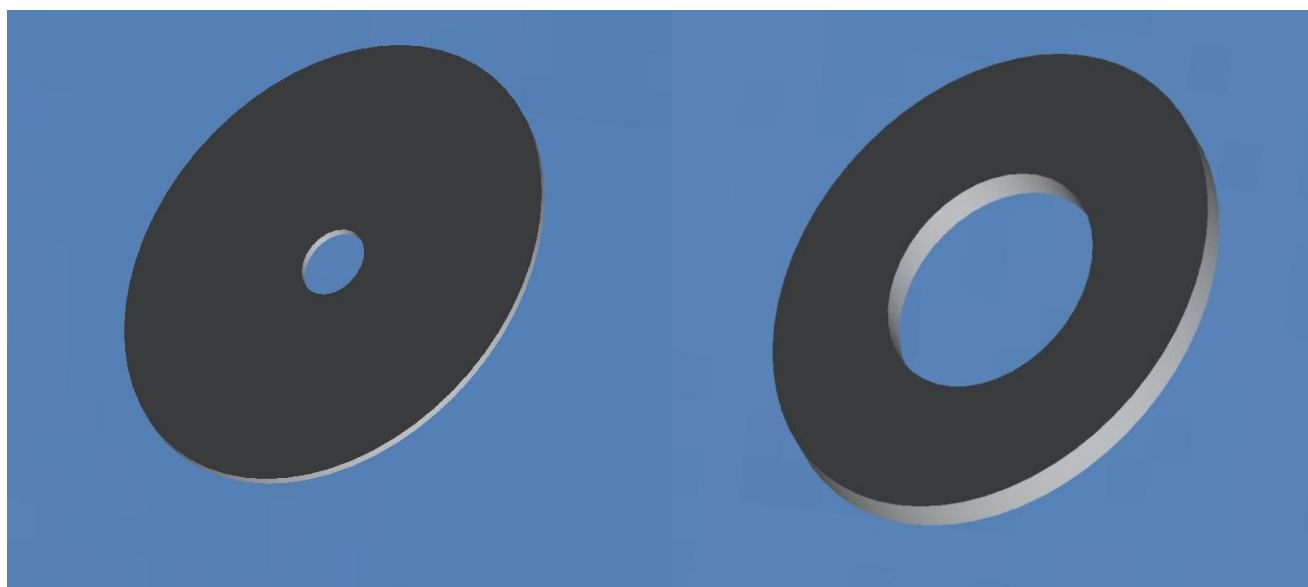
Вучна кука код шинских возила има задатак да пренесе вучну силу од локомотиве до вагона у возу. Пошто ова врста опреме има веома променљиве и велике аксијалне силе, еластичност одбојника, као и његова способност да апсорбује ударно оптерећење су веома битне карактеристике. Због ових карактеристика, поред завојне и прстенасте опруге, одбојник се најчешће прави од гумено-металних опруга (слика 59) [5].



Слика 59. Одбојник са гумено-металним опружним елементима:
одбојна плоча (1); сударна чаура (2); дводелни прстен (3); пакет гумене опруге (4); вођична
чаура (5); завртањ-навртка-подлошка (6,7,8) [5]

4.1 Моделирање и анализа напонско-деформационог стања одбојника

Габаритне димензије склопа одбојника су одређене на основу стандарда у области железничких возила (објава UIC 526-1), после чега је извршено моделирање и анализа напонско-деформационог стања модела. Моделирање и напонско-деформациона анализа урађена је у програму Inventor Professional 2013. На слици 60 а) дат је изглед модела и димензија металног прстена, а на слици 60 б) изглед модела и димензија гуменог уметка.

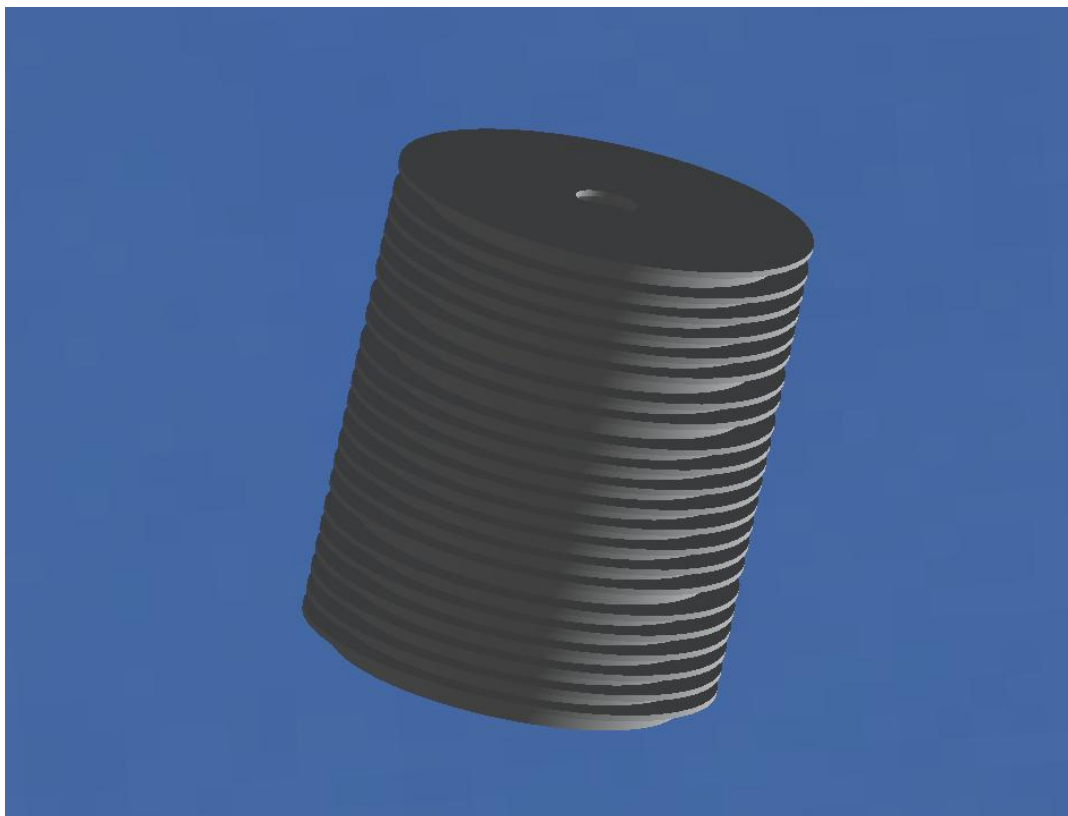


а)

б)

Слика 60. а) Метални диск (пречника 180 mm, дебљине 3mm са отвором 25 mm) б) гумени елемент (пречника 160 mm, дебљине 12 mm са отвором 70 mm)

Модел склопа је приказан на слици 61.



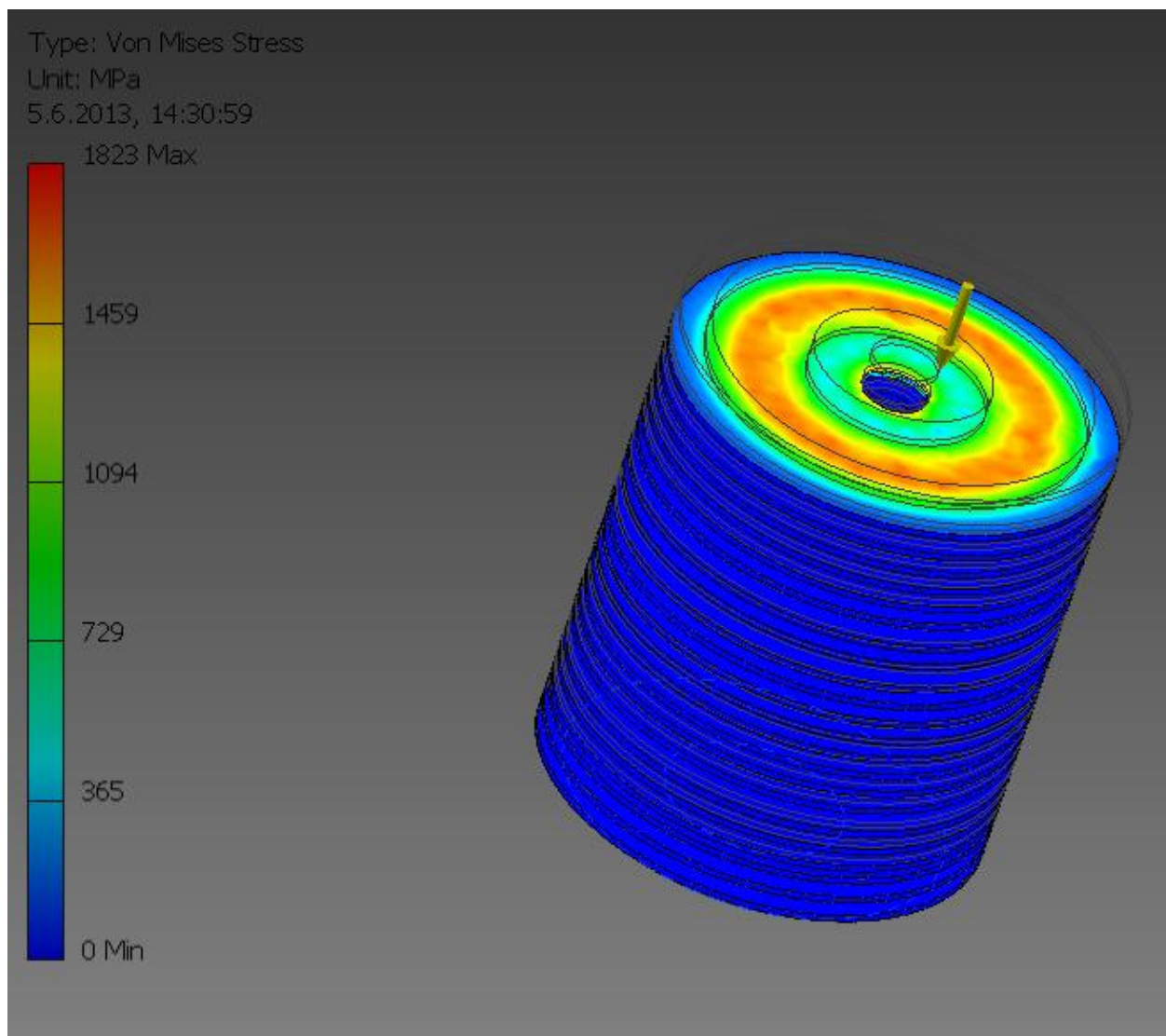
Слика 61. Гумено метална опруга - склоп

Основне карактеристике материјала од којих су урађени метални диск (челик) и гумени диск (силиконска гума) наведене су у табели 5.

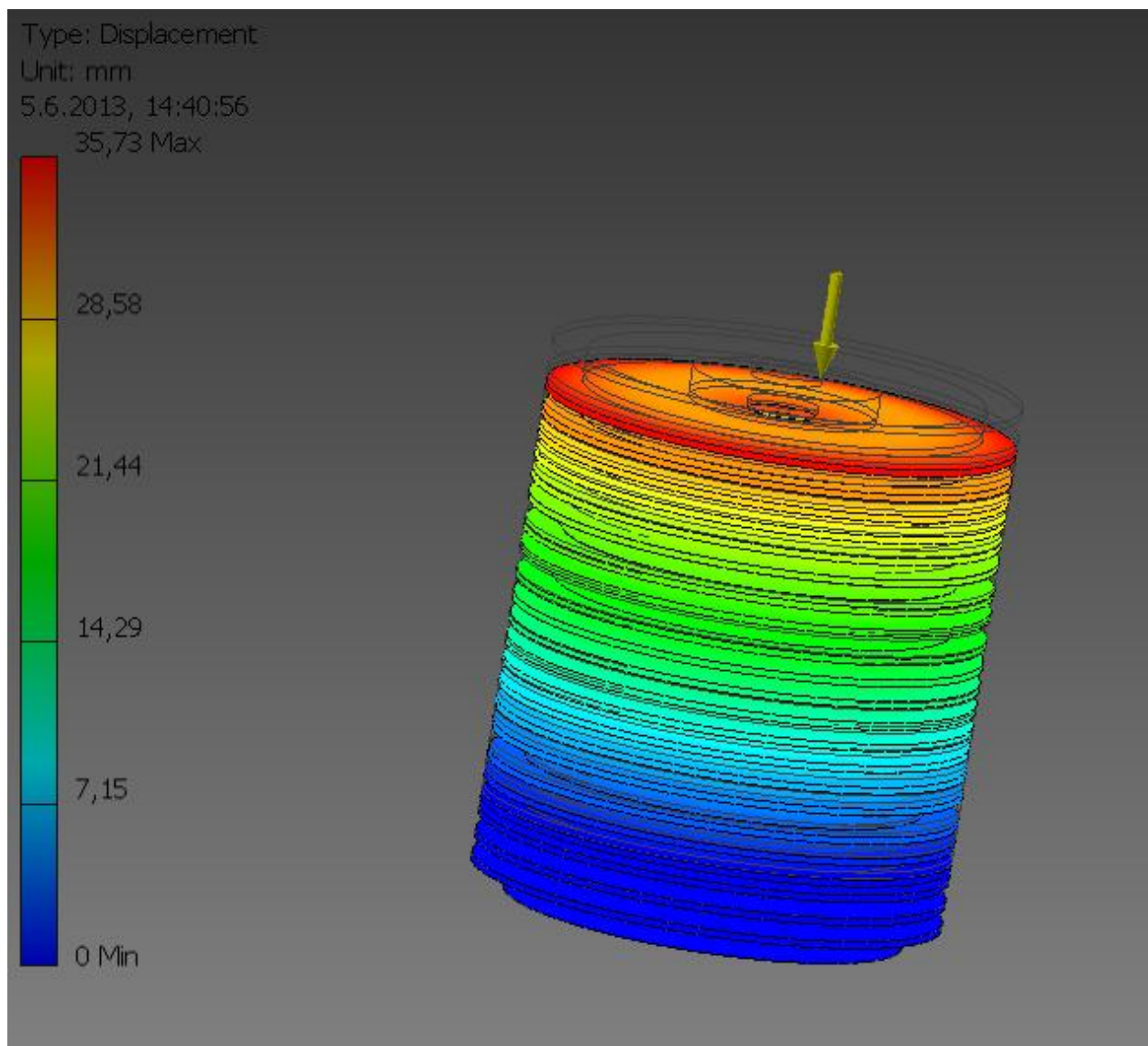
Табела 5. Основне карактеристике материјала дискова

материјал карактеристике	челик	Силиконска гума
густина	7.85g/cm ³	1.25 g/cm ³
Граница течења	207 МПа	10.34 МПа
Затезна чврстоћа	345 МПа	3.92 МПа
Јангов модул еластичности	210 GPa	0.1 GPa
Модул смицања	80.7692 Gpa	0.036363 GPa

Пошто је урађено моделирање склопа и извршен избор материјала за метални и гумени диск приступило се нумеричкој анализи. Модел је са једне стране фиксиран, а са друге стране оптерећен аксијалном силом од 400 kN. Резултати анализе напона су приказани на слици 62. Са слике се види да је напон равномерно распоређен по целој површини елемената.

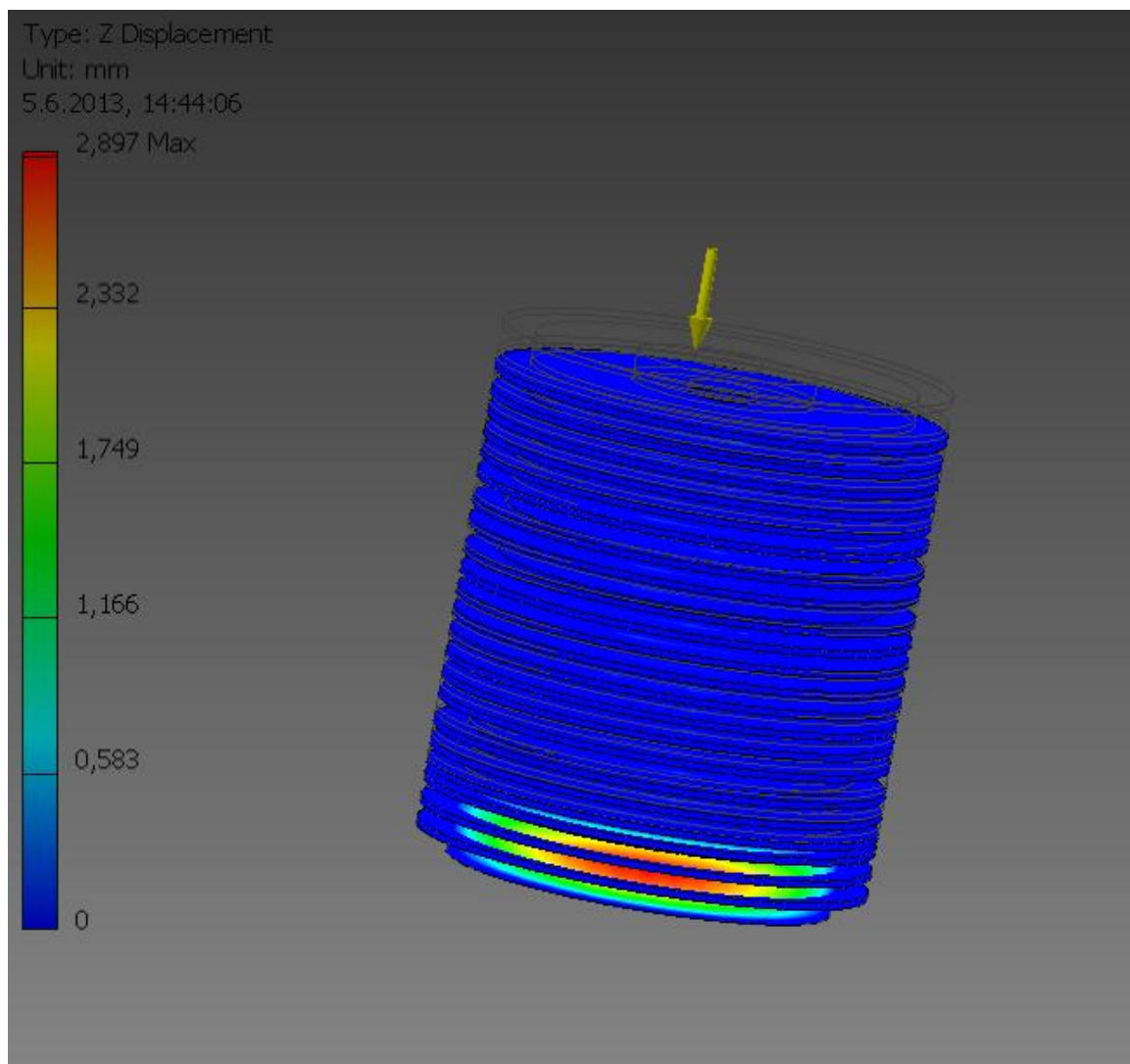


Слика 62. Напонско стање опружног елемента одбојника



Слика 63. Деформација опружног елемента одбојника у правцу x осе

На слици 63 приказана је деформација опружног елемента одбојника. Са слике се види да је дошло до сабијања опруге приближно за ширину два опружног елемента (35.73 mm). Први гумени елемент је сабијен највише, а остали су сабијени пропорционално све мање. Услед сабијања гумених елемената дошло је и до повећања њихових пречника (померања у правцу y и z осе).

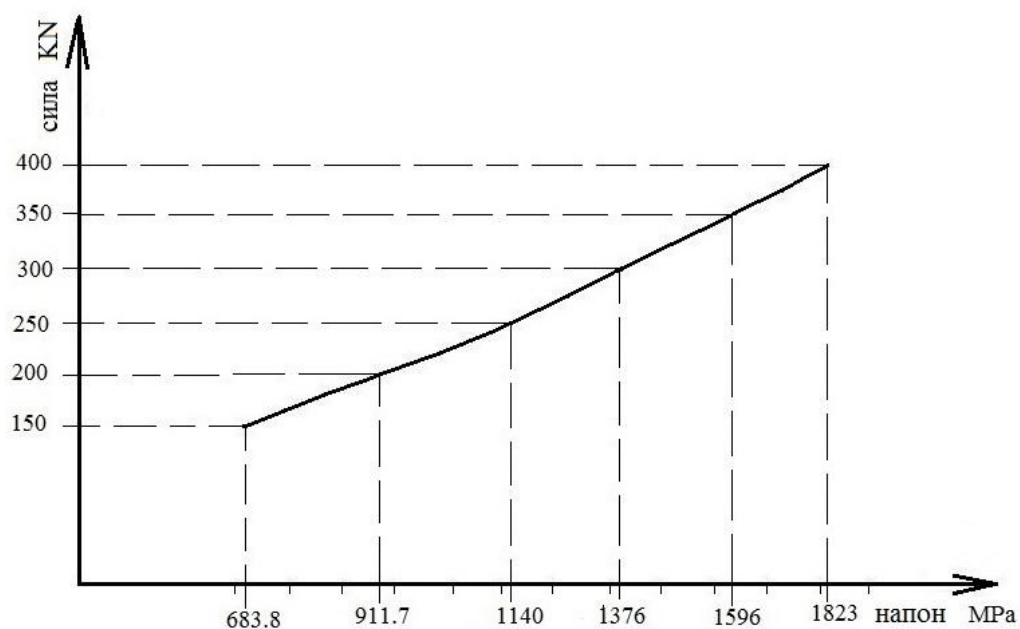


Слика 64. Деформација опружног елемента одбојника у правцу z осе

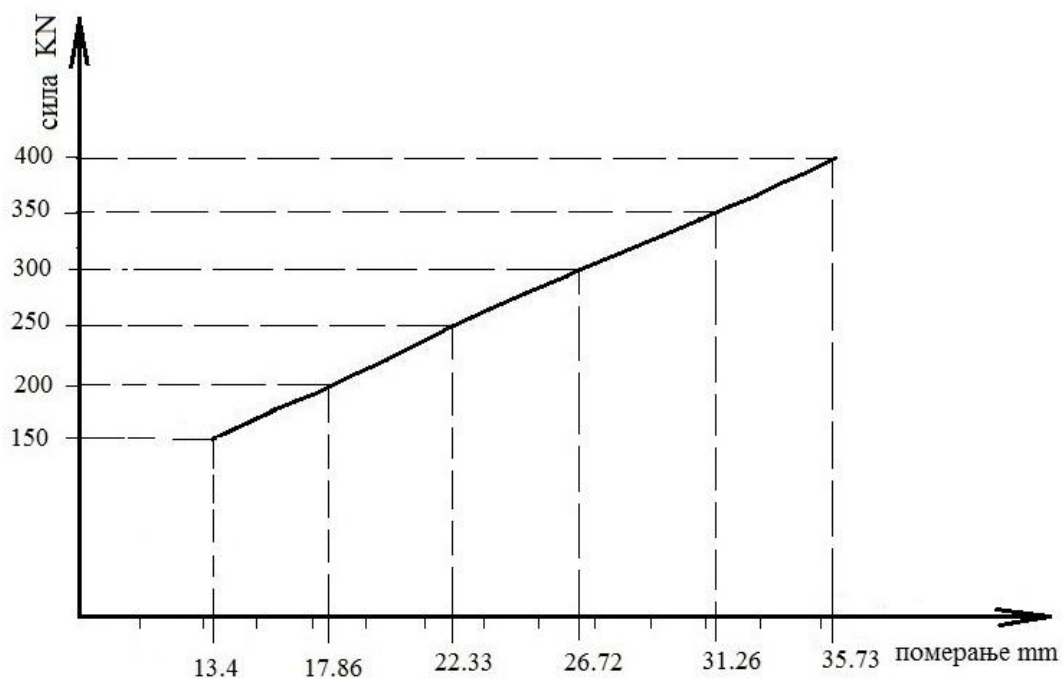
На слици 64 се види да је приликом деловања силе дошло до ширења гумених уметака (деформација у правцу z осе). Највише је деформисан последњи гумени уметак (2,897mm), а остали, што су ближи деловању силе, мање су деформисани. Сличне вредности померања се добијају и у правцу y осе.

Анализиран је и утицај интензитета силе на вредност напона и деформација у опрузи. На слици 65 представљен је дијаграм који показује зависност повећања напона од интензитета силе, а на слици 66 приказан је дијаграм зависности сабијања опруге од интензитета оптерећења. Као што се могло и очекивати са порастом оптерећења расту и вредности

напона и деформације опруге. Та зависност је, и у једном и у другом случају, готово линеарна.



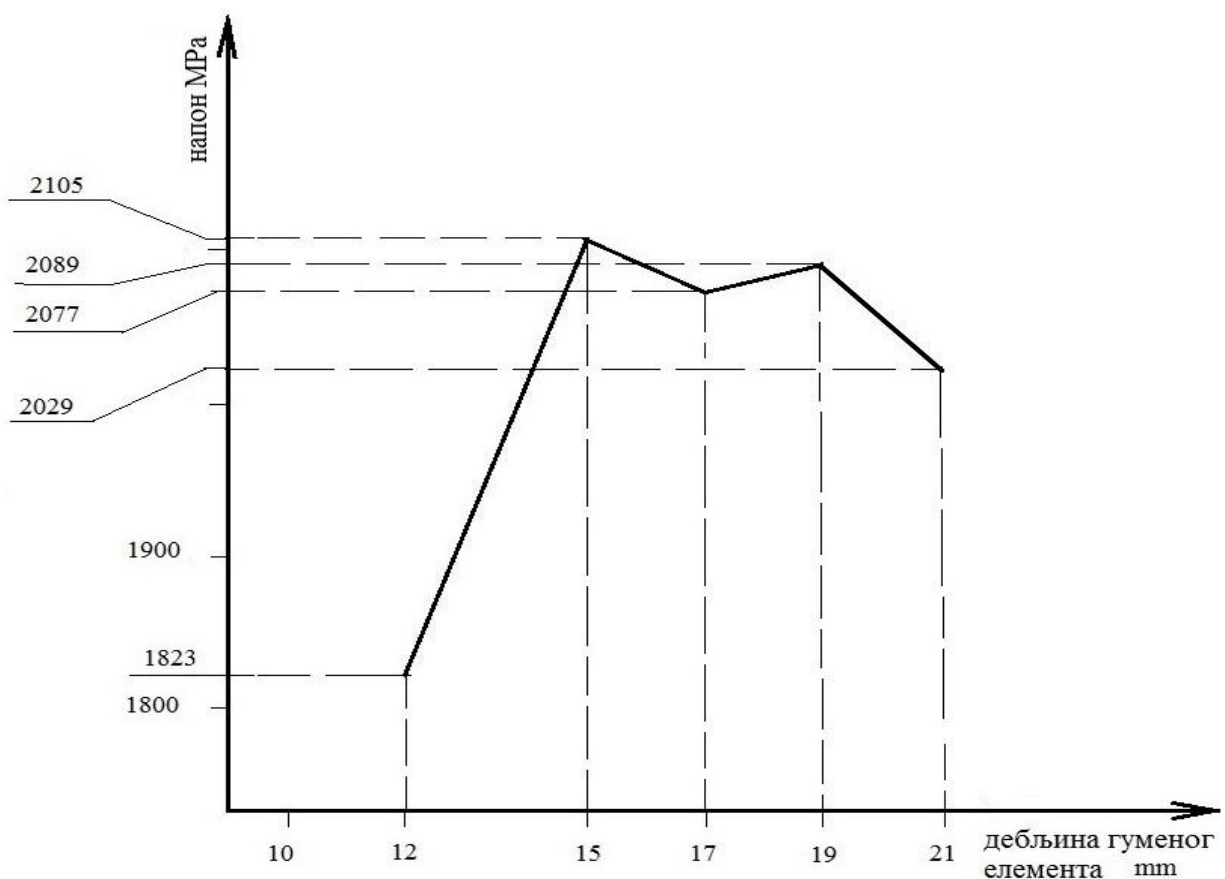
Слика 65. Дијаграм зависности силе и напона



Слика 66. Дијаграм зависности сабијања опруге од интензитета силе

У циљу смањења укупног нивоа напона и добијања што равномерније расподеле извршена је оптимизација геометрије гумених елемената. Наиме, анализирано је пет различитих опруга, с` тим што је прва опруга стандардна, а код других је мењана дебљина гуменог елемента и број слојева како не би дошло до промене дужине опружног елемента. Дебљина гуменог елемента је промењена код друге опруге на 15mm, код треће на 17mm, код четврте на 19mm и код пете на 21mm. Упоредо са променом дебљине опружног елемента промењени су и бројеви слојева, прва опруга има 22, друга 19, трећа 17, четврта 15 и пета 14 слојева.

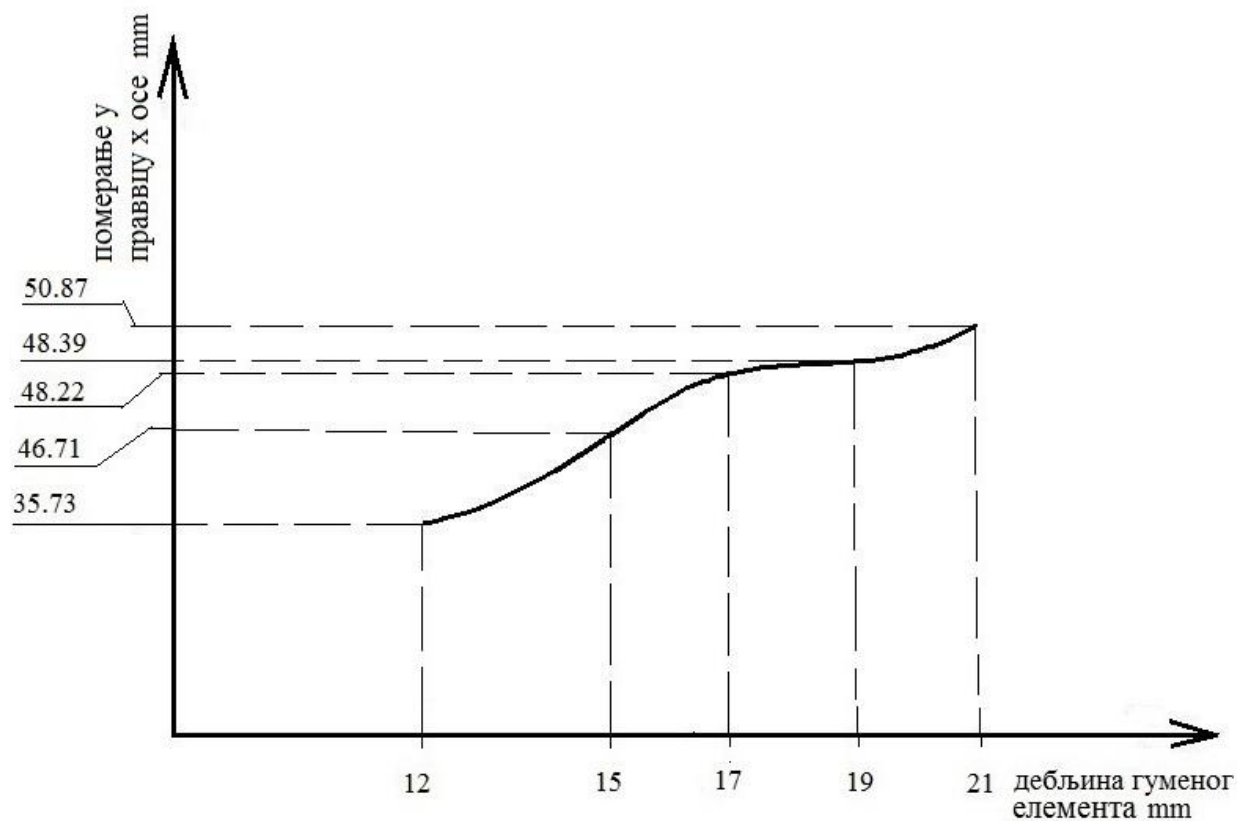
На свих пет опруга је деловала иста сила од 400 kN и на дијаграмима су приказане промене напона (слика 67) и сабијања опруга (слика 68) у зависности од дебљине гуменог елемента.



Слика 67. Дијаграм зависност промене напона од дебљине гуменог елемента

Са дијаграма на слици 67 видимо да је у случају примене опруге са дебљином гуме од 15mm дошло до наглог скока вредности напона, док су у осталим случајевима те промене нешто мање. Запажено је да није дошло до консанте промене напона са повећањем

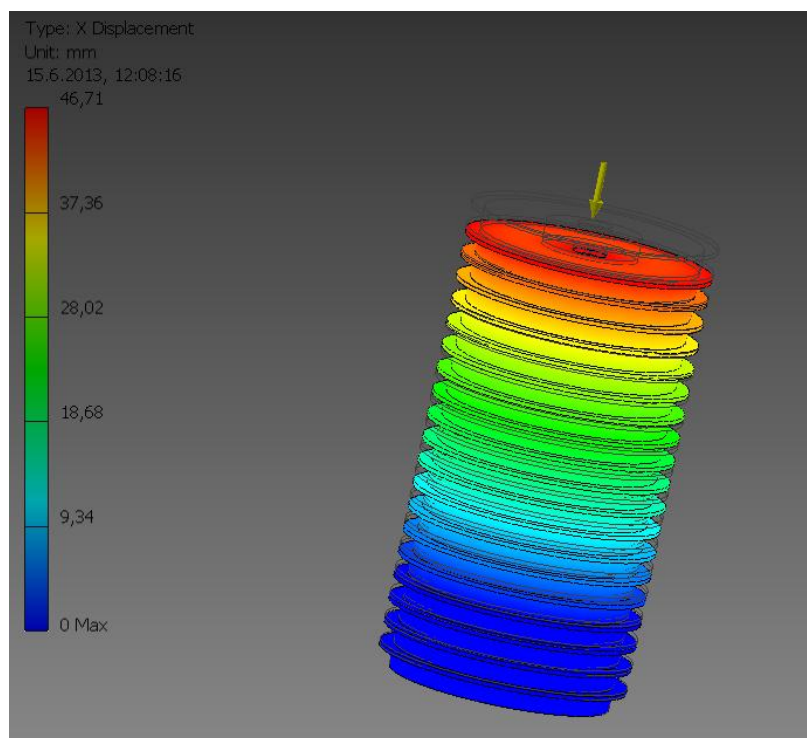
дебљине гуме, већ напон у одређеним интервалима опада па расте. На то вероватно утиче и промена броја слојева гумених и металних елемената опруге.



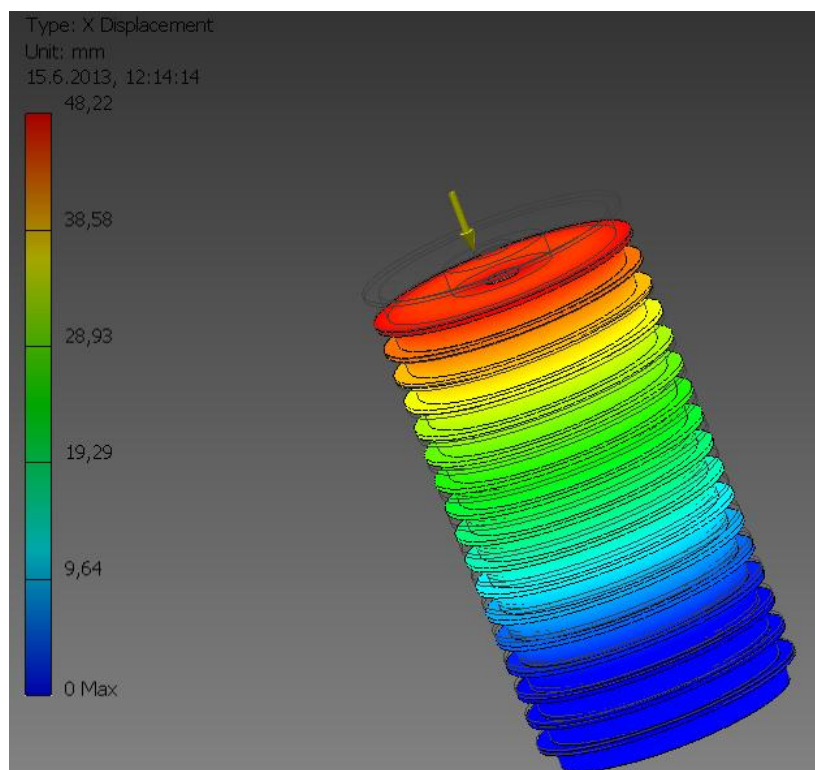
Слика 68. Дијаграм зависности промене сабијања од дебљине опружног елемента

Са дијаграма на слици 68 се види да се са повећањем дебљине гуменог елемента и смањењем броја слојева опруге, сабијање опружног елемента одбојника константно повећава.

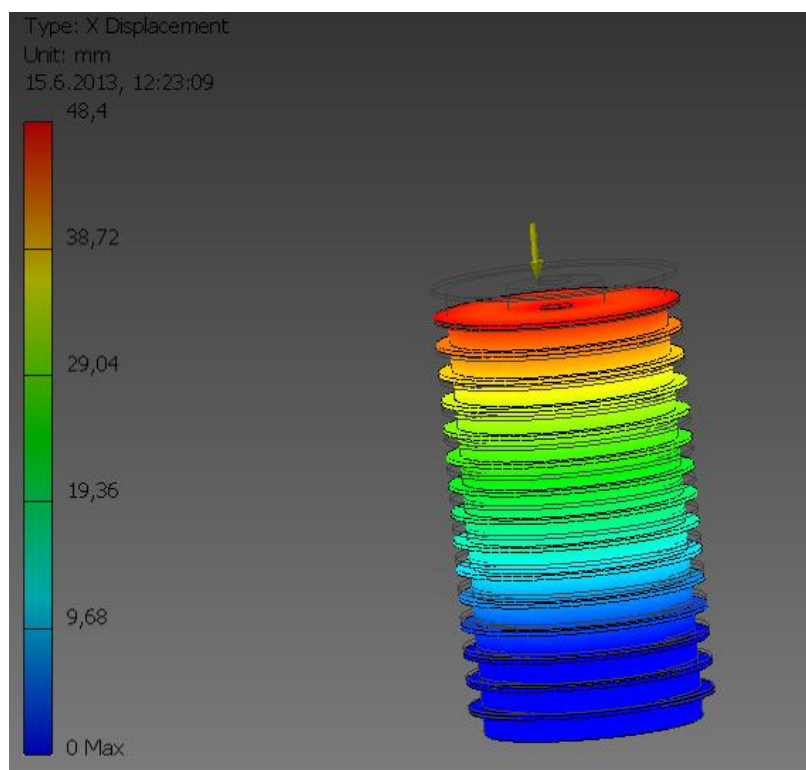
На сликама 69-72 приказано је сабијање модела измењених опружних елемената код одбојника.



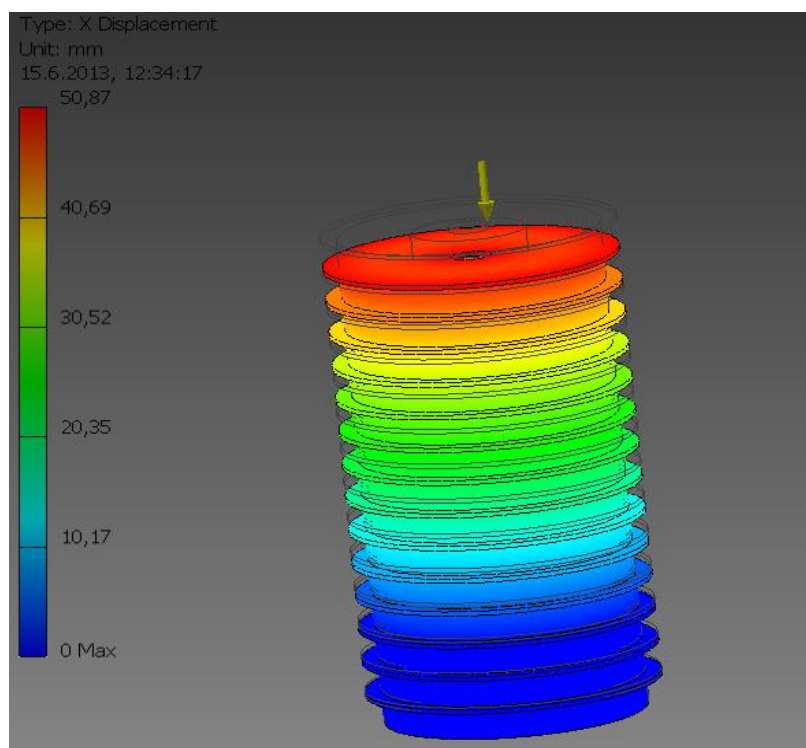
Слика 69. Сабијање опружног елемента од 19 слојева и дебљине гуменог елемента 15mm



Слика 70. Сабијање опружног елемента од 17 слојева и дебљине гуменог елемента 17mm



Слика 71. Сабијање опружног елемента од 15 слојева и дебљине гуменог елемента 19mm



Слика 72. Сабијање опружног елемента од 14 слојева и дебљине гуменог елемента 21mm

5. ЗАКЉУЧАК

Гума је веома прилагодљив материјал са многим повољним карактеристикама. Она се успешно примењује у многим областима технике више од сто година. Због својих одличних физичких карактеристика, производња гумених опруга је један од најзначајнијих начина употребе гуме. У односу на метал, гума има знатно већу еластичност, поседује одређени степен пригушења што је нарочито погодно када дође до појаве резонантне вибрације и може да акумулира енергију више од челика. На гумено-металним опругама гума је комбинована са металним плочама, које служе за лакше причвршћивање и позиционирање. Монтажа и одржавање гумених опруга су прилично једноставни.

Делови направљени од гуме, посебно гумене опруге, имају широку примену у транспортним возилима, возилима друског и железничког саобраћаја. Употреба гуме за опруге друских и шинских возила почела је неколико година након открића поступка вулканизације. Гума је неопходна за побољшање карактеристика челичних опруга, за смањење тежине челика потребног да апсорбује повремене веће ударе, или да уведе неке пригушујуће ефекте. Гумено вешање се сада користи код многих типова возила.

Гума поседује велику еластичност, као и карактеристику да приликом оптерећења апсорбује одређену количину енергије због великог унутрашњег трења. Дакле, гума се често користи за ношење погонског система возила. Гумено-металне опруге представљају склопове, који су направљени од гумених слојева и металних плоча, који се спајају у серији. Гумене опруге су највише оптерећене силом притиска, значајно су мање оптерећене силом смицања или у исто време силом притиска и силом смицања. Гумено-металне опруге су истовремено и апсорбери удара, јер истовремено имају еластичне и пригушујуће карактеристике и због тога могу да раде у комбинацији са челичним опругама или самостално (без амортизера). Ове опруге су погодне за коришћење зато што се могу лако направити и прилагодити готово свакој ситуацији, чак и импровизовати од приручних елемената без посебних алата. Велика предност у односу на металне опруге је то што њима није потребно готово никакво одржавање, не могу да блокирају и подносе најразличитије експлоатационе услове. Недостатак им је то што не подносе ниске температуре и подложне су процесу старења чак и када нису у употреби.

У раду је извршено моделирање и напонско-деформациона анализа гумено-металне опруге одбојника урађена у програму Inventor Professional 2013. Такође се и експериментисало са анализом утицаја дебљине гуменог елемента опруге на напонско-деформационо стање, а при истој дужини опруге. На основу спроведене анализе може се закључити да је величина деформације опруге директно сразмерна повећању дебљине гуменог елемента (а смањењу броја слојева), што значи да је при већој дебљини гуменог елемента деформација опруге већа (повећава се ход одбојника при оптерећењу). Најбоље резултате показује опруга чија је дебљина гуменог елемента 12 mm, па се она највише и користи у пракси.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://Опруге, Википедија, sr.wikipedia.org/sr/Опруга>.
- [2] Дедић, А., "Основи машинства", Универзитет у Београду, Београд, 2008.
- [3] Николић, В., "Машински елементи", Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [4] Atmadzhova D., Nenov N., "STUDY OF THE RUBBER METAL SPRINGS FATIGUE OF PRIMARY SPRING SUSPENSION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE", FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering, Vol. 10, No 1, 2012, pp. 63 – 70.
- [5] Стаменковић, Д, Душан С., Милошевић, М., Јовановић, С., Мијајловић, М., Младеновић, С., "Одбојници са гумено-металним опружним елементима", - Техничко решење: Гумено-метални елементи за железничка возила, 2008.
- [6] Стаменковић, Д., Милошевић, М., "FRICTION AT RUBBER-METAL SPRINGS ", 11 th International Conference on Tribology, Универзитет у Нишу, Машински факултет, 13-15 мај 2009.
- [7] Милковић Д., Симић Г., Лучанин В., "EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL DETERMINATION OF RUBBER-METAL SPRING ELEMENTS CHARACTERISTICS", 28. Danubia-Adria-Symposium in Experimental Mechanics, Siofok, Hungary, 2011.
- [8] <http://Технички производи од гуме и пластике/, www.hemigumplast.com>.
- [9] Гумене опруге, www.powerbelt.rs.
- [10] [http://Catalog vibro Serbian, "CLIVERE d.o.o"/, www.clivere.com](http://Catalog vibro Serbian,).
- [11] Luo RK, Wu WX. Fatigue failure analysis of chevron rubber spring. Eng Fail Anal 13(1), 2006, pp. 110–6.
- [12] Wu X. P., Spinks A. D., Mortel W. J., and Luo R. K. Fatigue design and test on Chevron rubber springs used in rail vehicles, Constitutive Models for Rubber VI CRC Press 2009, pp. 249–254
- [13] Luo R.K., Mortel W.J., X.P. Wu Fatigue failure investigation on anti-vibration springs Engineering Failure Analysis, Volume 16, Issue 5, July 2009, pp. 1366-1378