

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Petr Vinař

Využití ztrátové energie pérování vozidla

Diplomová práce

**2018**



**K616**.....**Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Petr Vinař**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Využití ztrátové energie pérování vozidla**

Název tématu (anglicky): Utilization of energy losses in vehicle suspension

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Prostudujte problematiku návrhu pérování vozidla a používané typy odpružení pro osobní automobily
- Popište kinematiku pérování Vámi zvoleného vozidla
- Zpracujte přehled generátorů elektrické energie, které by bylo možné propojit se systémem pérování osobního vozidla, zvolte vhodná kritéria pro jejich výběr
- Proveďte návrh zástavby vybraného generátoru el. energie do zvoleného vozidla
- Vhodným způsobem proveďte ověření přínosu navrženého systému



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Vlk, F.: Podvozky motorových vozidel, Brno, 2006, ISBN: 9788023964646  
First, J., Energetická analýza pozemní dopravy, ČVUT v Praze, Praha, 2014, ISBN: 978-80-01-05664-6

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Plomer, Ph.D.**  
**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **26. června 2017**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **29. května 2018**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Petr Vinař  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 26. června 2017

## **Poděkování**

Na prvním místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu ing. Josefovi Míkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl poděkovat panu ing. Janovi Plomerovi, Ph.D. za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím, materiálům a za pomoc v průběhu diplomové práce. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě Dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským o změně některých zákonů

V Praze dne 29. května 2018

.....

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## Využití ztrátové energie pérování vozidla

Diplomová práce

Květen 2018

Bc. Petr Vinař

### **Abstrakt**

Práce se zabývá konstrukcí dodatečného mechanismu umístěného v podvozku vozidla pro generování elektrického proudu při vertikálním pohybu vozidla při jízdě po vozovce. Práce je rozdělena na pět částí. První část se věnuje popisu pérování, jak a na jakých principech funguje. V druhé části je popis kinematiky pérování vozidla, zvoleného pro montáž mechanismu. Třetí část obsahuje přehled generátorů elektrické energie, které by byly vhodné pro navržení mechanismu. Ve čtvrté části je návrh zástavby generátoru do zvoleného vozidla. V páté závěrečné části se provádí ověření přínosu systému ve vozidle. Ověří se účinnost systému, zda pohyb tlumiče je dostatečný k výrobě elektrické energie či nikoliv.

### **Abstract**

This diploma thesis deals with the construction of an additional mechanism located in the chassis of the vehicle in order to generate electric current during the vertical movement of the vehicle while driving. The thesis is divided into five parts. The first part describes the suspension, how and on what principles it works. In the second part there is a description of the suspension kinematics of the vehicle selected for design of the mechanism. The third part contains a summary of power generators that would be suitable for this design. The fourth part is about the design of application of the generator in the selected vehicle. The fifth part verifies the benefit of the system in the vehicle. The effectiveness of the system is verified to see if the shock absorber movement is sufficient to generate electricity or not.

### **Klíčová slova**

Pérování vozidla, pružiny, tlumiče, nápravy, kinematika, elektromotor, výroba elektřiny, konstrukce.

### **Key Words**

Suspension of vehicle, springs, shock absorbers, axles, kinematics, electric motor, power generation, construction.

## Obsah

1 Úvod .....	7
2 Pérování vozidla a používané typy odpružení vozidel .....	8
2.1. Základní rozměry vozidla ovlivňující jízdní vlastnosti .....	8
2.2. Odpružení .....	9
2.2.1. Komfort jízdy .....	9
2.2.2. Příčné odpružení .....	9
2.2.3. Kmitání .....	10
2.2.4. Rezonance .....	10
2.3. Vozové pružiny dělíme podle typu konstrukce .....	11
2.3.1. Listové pružiny .....	11
2.3.2. Vínuté pružiny .....	13
2.3.3. Zkrutné torzní tyče .....	15
2.3.4. Pryžové pružiny .....	17
2.3.5. Pneumatické pružiny .....	18
2.3.6. Hydropneumatické pružiny .....	19
2.4. Stabilizátor .....	20
2.5. Pneumatiky .....	21
2.6. Tlumiče .....	22
2.6.1. Kapalinové tlumiče .....	23
2.6.2. Elektronicky ovládaný tlumič .....	25
2.6.3. Tlumič s regulovatelným obtokem .....	27
2.6.4. Odpružení vozidla BOSE Suspension .....	27
2.7. Náprava .....	30
2.7.1. Tuhá náprava .....	31
2.7.2. Lichoběžníková náprava .....	33
2.7.3. Kliková náprava .....	34
2.7.4. Kyvadlová úhlová náprava .....	34
2.7.5. Náprava De dion .....	35
2.7.6. McPherson .....	36
2.7.7. Víceprvková náprava .....	37
3 Pérování a kinematika vzorového vozidla .....	39
3.1 Přední náprava - McPherson .....	40
3.2 Zadní náprava – Kliková .....	41
3.3 Kinematika u přední nápravy McPherson vozu Škoda Octavia .....	41
4 Elektromotory a generátory elektrické energie vhodné pro zástavbu do vozidla .....	45
4.1. Samotný princip elektromotoru .....	45

4.2. Lineární elektromotor.....	46
4.2.1. Synchronní lineární elektromotory.....	47
4.2.2. Asynchronní lineární elektromotory.....	48
4.3. Elektromotor pro využití na Škodě Octavia III.....	49
4.3.1. Lineární elektromotory vhodné pro umístění na vozidlo.....	49
4.3.2. Parametry běžného elektromotoru vhodného pro umístění na vozidlo.....	51
5 Návrh zástavby elektromotoru do vzorového vozidla.....	52
6 Odhadovaná účinnost elektromotoru.....	59
7 Doporučení.....	61
8 Závěr.....	62
9 Zdroje.....	64
10 Seznam obrázků.....	67
11 Seznam tabulek a grafů.....	70



# 1 Úvod

Dnešní doba 21. století přinesla spousty omezujících ekologických zákonů, které ovlivňují sériovou výrobu vozidel. Sledují se zejména hodnoty emisí CO<sub>2</sub> ve výfukových plynech a množství pevných částic. Ovšem regulace se týká všech produkovaných škodlivin. Z důvodu těchto omezení jsou automobilky nuceny snižovat objemy motorů, instalovat efektivnější a modernější katalyzátory a v posledních letech krátkou životností proslulé filtry pevných částic. Filtry pevných částic se dříve používali pouze u naftových vozidel, ale dnes s nimi již přicházejí i benzínové motory. Aktuálně se zavádí standard emisní normy EURO 6b, která dále omezuje produkci škodlivin spalovacích motorů. Technická vyspělost ve světě umožňuje hledání alternativních pohonů. Vyrábějí se různé prototypy vozidel, které již byly uvedeny i do sériové výroby. Jsou poháněné elektrickou energií, která je zatím nejvíce rozšířená u hybridů nebo plně elektrických vozidel, které ukládají energii obvykle v Lithium – iontových bateriích. Nejrozšířenější značkou prodávaných sériově vyráběných elektro-automobilů je značka Tesla, která nabízí nejen sportovní verze, ale i rodinné. Dále jsou již funkční prototypy vozidel spalujících vodík a jiná nefosilní paliva. Vodíkové prototypy jsou několik let funkční, ale sériové výroby se stále žádný nedočkaly. Tyto nejnovější technologie se nejdříve předvádějí na mezinárodních autosalonech a dále je automobilky ukazují v plné síle v závodních speciálech např. ve 24 hodinovém závodě LeMans. Dnešním trendem mimo elektro – mobilů jsou také hybridní pohony. Tento pohon je kombinací spalovacího motoru a elektromotoru. Nejrozšířenější kombinace, s kterou v sériové výrobě prorazila Toyota s modelem Prius je zážehový motor s kombinací s elektromotorem, který je využíván hlavně pro rozjezdy, pomalejší a klidnější jízdu nebo popojíždění v koloně. Model Prius je na trhu již od roku 1997. Po jejím vzoru se dále objevovaly jiná hybridní vozidla od konkurenčních značek jako BMW, Audi, Mercedes, Ford a jiné. Nedávno přišla na trh s hybridním vozidlem i automobilka Volvo, která u něj kombinuje elektromotor se vznětovým turbomotorem. Tato kombinace je sice méně obvyklá, ale v poslední době ji lze najít i u více výrobců vozidel.

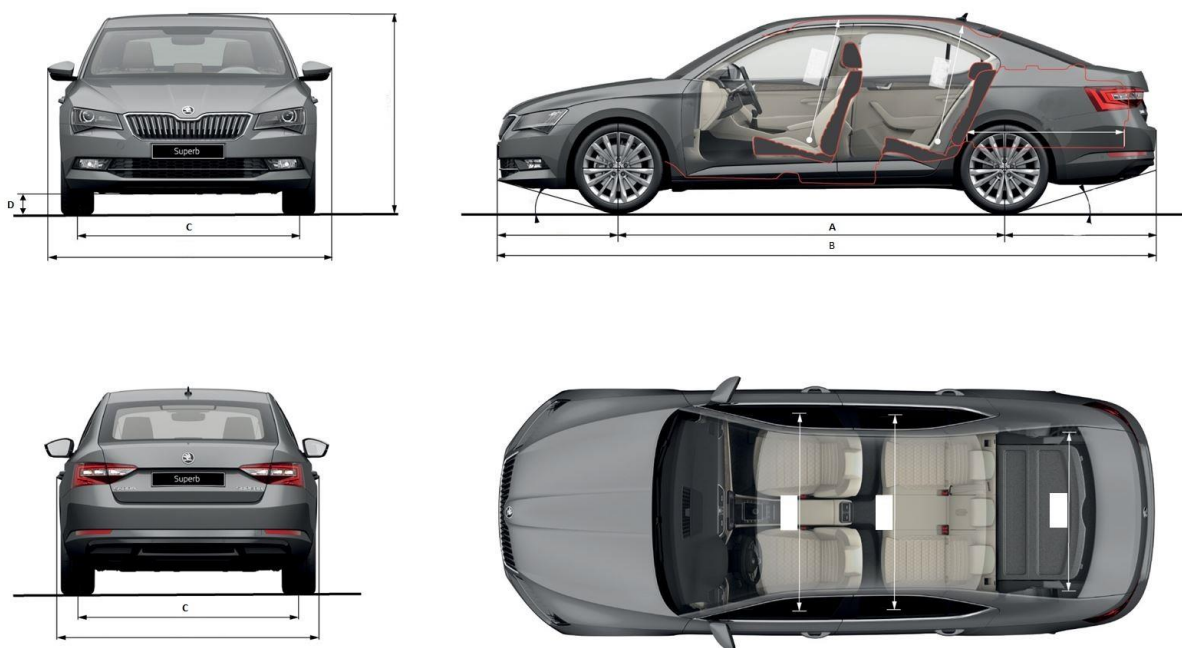
V mé diplomové práci řeším konstrukci dodatečně aplikovatelného mechanismu, který by pomocí pružení vozidla při jízdě byl schopný generovat elektrický proud, a tím nejen docílit delšího dojezdu elektro - mobilů nebo hybridů, ale i plně pohánět palubní systémy, klimatizaci, dobíjet akumulátor nebo jiné elektricky poháněné prvky vozidla. Navrhovaný systém by měl být buď dodáván na vozidla z výroby, nebo po lehčích modifikacích dodatečně namontován na jakékoliv vozidlo splňující určité parametry. Díky odnímatelné konstrukci by se snížila finanční náročnost. Při výměně tlumičů by byl zachován mechanismus a vyměněn pouze tlumič.

## 2 Pérování vozidla a používané typy odpružení vozidel

Jízdní dynamiku, vlastnosti vozidla ve směrovém oblouku, brždění či akceleraci nebo ovladatelnost na vozovce ovlivňuje spousta faktorů. Převážně jde o nastavení mechanických částí podvozku a řízení. Správnou funkci u některých součástí zabezpečuje elektronické hlídání. Jednou z prvních věcí, na kterých záleží, jsou rozměry vozidla. Dále záleží na typu odpružení, typu tlumení a samotné pneumatice, která nejen eliminuje lehké nerovnosti, ale je v přímém kontaktu s vozovkou.

Všechny zmíněné součástky jsou součástí, nebo v přímé blízkosti nápravy, která má taky mnoho typů, kvalit a možností.

### 2.1. Základní rozměry vozidla ovlivňující jízdní vlastnosti



Obrázek č 1. – základní rozměry vozidla

#### A – Rozvor

Vzdálenost kolmic spuštěných na podélnou střední rovinu vozidla ze stopníku dvou kol umístěných za sebou na totožné straně vozidla. Určuje se při přípustné hmotnosti vozidla. [1]

### **B - Délka vozidla**

Vzdálenost svislých čar dotýkajících se předního a zadního konce vozidla. Součástí délky vozidla je i převis. Převis je spojnice bodu přímo ze středu kol až ke kraji vozidla. [1]

### **C – Rozchod**

Rozměr se shoduje se vzdáleností středů otisků pneumatik kol téže nápravy na vodorovné vozovce. [1]

### **D - Světla výška vozidla**

Vzdálenost nejnižšího pevného bodu vozidla od vozovky. [1]

## **2.2. Odpružení**

Odpružení ve vozidle je instalováno z několika důvodů. Hlavním důvodem je zmírnění otřesů a rázů karoserie od nerovností vozovky. Dále je jejím úkolem zmenšit namáhání rámu, který je zatěžován nejvíce krutem. Co se týká jízdních vlastností, díky odpružení se udržuje pokud možno ve stálém styku kolo s vozovkou. To zajišťuje bezpečnost jízdy, protože při přejezdech nerovností by kola mohli ztrácet kontakt s vozovkou a tím by se nepřenášely žádné síly a vozidlo by se stalo hůře ovladatelné.

Pérování je umístěno mezi ramenem a rámem či samonosnou karoserií vozidla. Hlavní funkcí pružiny je absorbovat kinetickou energii.

### **2.2.1. Komfort jízdy**

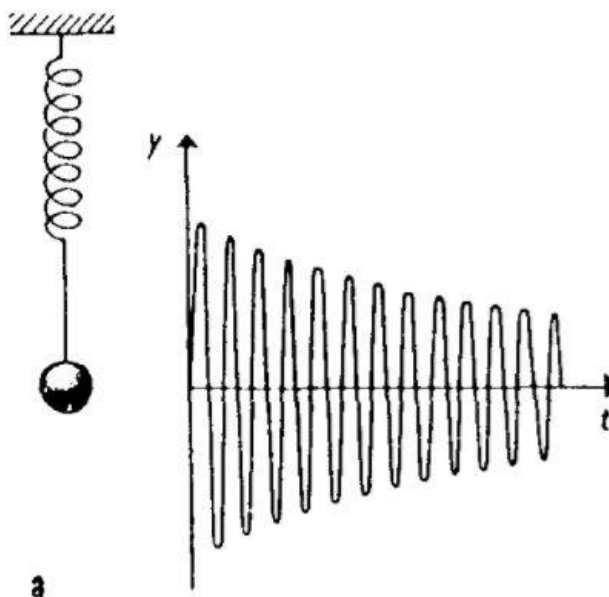
Souvisí s kmitání karoserie, které je nepříjemné a zdraví škodlivé. Nárazy karoserie cestujícím mohou při dlouhodobém působení způsobit zdravotní potíže. Způsobují také únavu řidiče a snižují jeho pozornost. To samé platí i při průjezdu směrovým obloukem, kdy se vozidlo v zatáčce na jedné straně odlehčí – ztráta adheze. [2]

### **2.2.2. Příčné odpružení**

Při jízdě vozidla vznikají nejen svislé nárazy, ale i malé boční. Odpružení tedy musí pracovat i v tomto směru. Část bočního odpružení pohlcují pneumatiky a pryžová uložení, která jsou určena pro upevnění a vedení prvků nápravy. Odpružení způsobuje, že se z vozidla stává kmitající soustava s vlastním kmitočtem, který závisí na hmotnosti vozidla a typu pružin. Dále na vozidlo působí brzděné, hnací a odstředivé síly. [2] [3]

### 2.2.3. Kmitání

Při přejezdu nerovnosti se vozidlo – karoserie a kolo rozkmitají. Pohyb kola nahoru a dolů stlačuje pružinu a síla pružiny vrací karoserii zpět nahoru. Sílu pružiny při rozkmitání brzdí hmotnost karoserie. Tento pohyb se opakuje, dokud se nepřemění pohybová energie na tepelnou, která vznikne třením pružiny. [3]



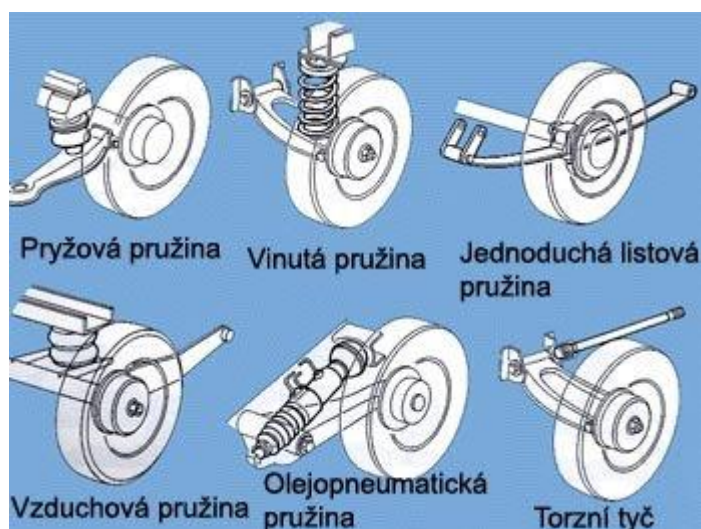
Obrázek č. 2 – znázornění kmitání

### 2.2.4. Rezonance

Kmitání se může zesílit v případě, že dojde ke kontaktu s karoserií v rytmu vlastního kmitání. Tento případ může nastat, pokud jsou nerovnosti na vozovce ve stejných vzdálenostech. Samotná rezonance znamená, že soustava kmitá o větší amplitudě v určitých frekvencích než v ostatních. Při těchto frekvencích mohou i malé pravidelné síly způsobovat velké amplitudy kmitů. [3]

## 2.3. Vozové pružiny dělíme podle typu konstrukce

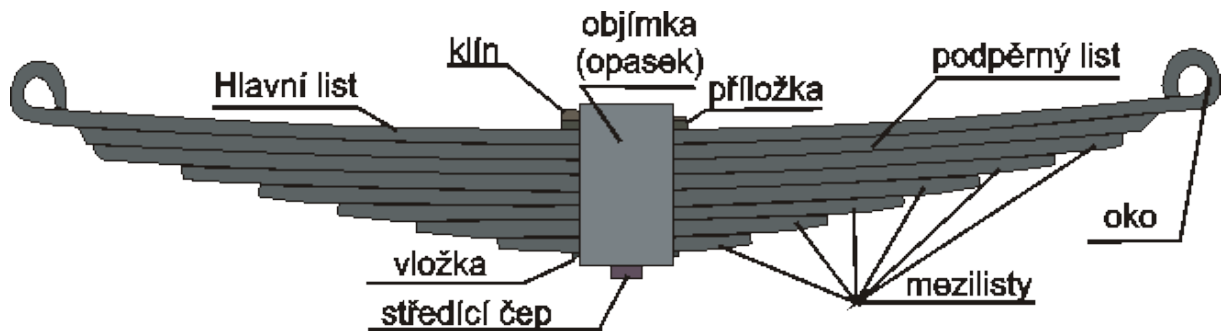
- Listové
- Vinuté
- Zkrutné torzní tyče
- pryžové
- pneumatické (vzduchové)
- hydropneumatické (olejopneumatické)



Obrázek č. 3 – přehled typů odpružení

### 2.3.1. Listové pružiny

Listová pera jsou na vozidle umístěna převážně podélně, v ojedinělých případech mohou být i příčně nebo šikmo. Pružiny při propružení mění svou délku, proto je jeden konec pera uchycen otočně a druhý tak, aby vymezil délkové rozdíly při pružení – například kluzně. Oba konce jsou opatřeny závěsnými oky vytvořenými svinutím nejdelsích listů. V těchto okách se nachází pryžová výplň, která slouží k lepšímu upevnění soustavy listů ke karoserii. Pera jsou složena z plátů z pružinové oceli. Pláty jsou na sebe naskládány a propojeny pomocí třmenů, spon a středovým šroubem, který zabraňuje podélnému posunu. Tuhost listového pera závisí na pružící délce hlavního listu a na rozměrech a počtu ostatních listů. [4] [5]



Obrázek č. 4 – popis listové pružiny zdroj obrázku

Při pružení a deformaci listové pružiny dochází k posunu jednotlivých listů. Vzniká zde tedy i suché tření mezi listy. Díky provozu v prašných a nečistých podmínkách se dostávají nečistoty na dotykové plochy listů. Ke snížení tření se používají plastové vložky umístěné mezi jednotlivými pružinami. [5]

**Trapézové pružnice** – listy mají konstantní tloušťku ale různé délky

**Parabolické pružnice** – listy konstantní délky s proměnnou tloušťkou. Profil listu je proměnná plocha paraboly

**Listová pera dělíme na:** [4]

- přímé
- čtvrteliptické – veteráni
- půleliptické
- dvojité eliptické

Největší výhodou těchto pružin je schopnost vést nápravu a zároveň má velmi účinné tlumící vlastnosti. Nevýhodou je však vysoká hmotnost listů, velikost této konstrukce a vyšší nároky na údržbu. Tento typ pružin používají převážně nákladní automobily, dodávky, terénní vozy atp. [4] [5]



Obrázek č. 5 – umístění listové pružiny na vozidle

### 2.3.2. Vinuté pružiny

Vinutá pružina je v dnešní době nejpoužívanější typ. Používají se převážně u osobních vozidel a lehkých nákladních vozidel jako tlačné pružiny. Je tvořena tlustým drátem kruhového průřezu, který je zkroucen do spirály. Podle rozměrů a počtu závitů se liší i vlastnosti pružiny. Tuhost pružiny závisí na průměru drátu, stoupání závitů a průměru pružiny. [4] [7]



Obrázek č. 6 – vinuté pružiny

Dále záleží na proměnném průměru pružiny (kuželové nebo soudečkové), změně stoupání závitu nebo přidání pryžového bloku. Pryžový blok je uložen v pružině, při zatížení dosedne na podložku a tím se zvýší celková tuhost pružiny. Oba konce pružiny jsou opatřeny závěrnými závity, které mají větší rozteč než závity uprostřed, slouží k zabezpečení styku pružiny s opěrnými plochami. [5]

vzorec pro tuhost pružiny:

$$c = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot n \cdot D^3}$$

d - průměr drátu

n - počet činných závitů

G - modul pružnosti ve smyku

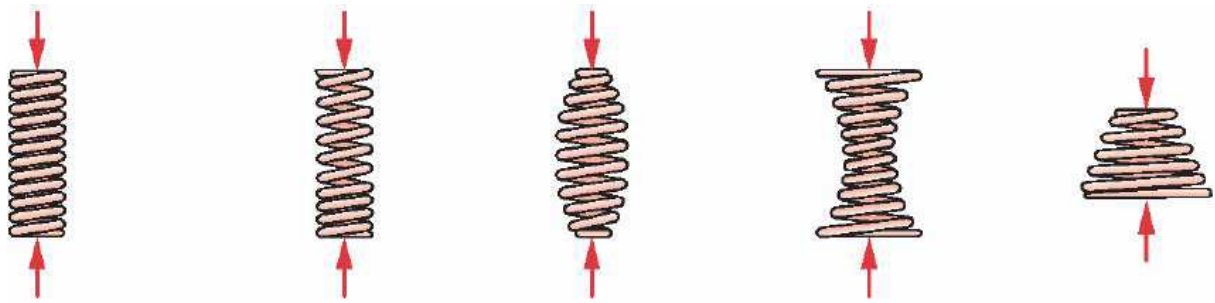
D - střední průměr pružiny

**Proměnné stoupání závitů** – pružina může skládat ze dvou částí s různým stoupáním. Častá varianta je také ze tří různých, kdy ve střední části je stoupání závitů větší než na koncích pružiny, kde je stoupání znatelně menší. [1] [2]

**Různý průměr drátu** – drát se od střední části zužuje ke koncům, drát tedy vyžaduje kuželové broušení, což je ekonomicky velice náročné. Při zatěžování se pružinové vinutí s menším průměrem drátu navzájem dotýkají závity a dochází k větší tvrdosti pružiny. [1] [2]

**Proměnný průměr drátu a proměnlivý průměr pružiny** - tyto pružiny se nazývají mini-blokové progresivní pružiny. Při zatížení pružiny se závity v jedné části spirálovitě stlačují. Tím je dosaženo výškové úspory. Při stlačování nedochází ke zplošťování drátu a tyto pružiny mají malou hmotnost. [1] [2]





Obrázek č. 7 – různé poloměry vynutí u vinutých pružin

Pružina je uložena tak, aby stlačující síla působila v její ose. Tím je docíleno nejefektivnější tlumení. Při stlačování pružiny musí být zachována bezpečná vůle mezi závity, aby nevznikal hluk a tření mezi závity. Pružina by také mohla přenášet rázy od vozovky na vozidlo.

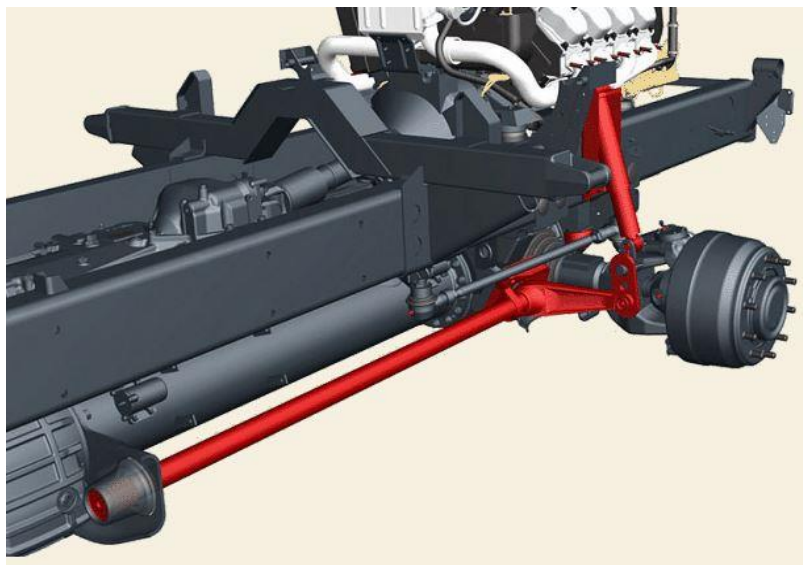
Pružina je umístěna mezi pevnou a pohyblivou částí. Pevnou část tvoří karoserie, pohyblivá je tvořena prvkem nápravy. Je usazena v opěrných talířích. Přesné umístění pružiny záleží na typu a konstrukci nápravy. Tento typ nepotřebuje takřka žádnou údržbu, protože je technicky velmi jednoduchá. [4] [7]

Velmi často se používá ve spojení tlumiče MacPherson. Největší výhodou je malá hmotnost a kompaktnost pružiny. Další velkou výhodou je to, že skrz pružinu lze vést tlumič pérování. Nevýhodou je ale to, že téměř nepřenáší síly z kola a nevedou nápravu. Vedení nápravy je tedy obstaráno příslušným mechanismem nebo konstrukcí nápravy. Pružina má také minimální samotlumicí účinky. [4] [7]

### 2.3.3. Zkrutné torzní tyče

Zkrutná tyč neboli torzní tyč je umístěna napříč, nebo podél dopravního prostředku a je namáhána na krut. Tyč je obvyklé kruhového průřezu a její konce jsou zesíleny a vybaveny šestihranem nebo drážkováním, kterým lze měnit předpětí tyče – brání namáhání na ohyb. Tyto konce jsou uloženy v ložiskách rámu. Jeden konec je pevný a je nastavitelný k seřízení polohy karoserie při pohotovostní hmotnosti. Tyč může být uložena do ochranného plastového obalu, který jí chrání proti poškození, nebo v ocelové trubce, která jí navíc brání v namáhání na ohyb. Lze ji také nahradit svazkem tvořeným plochými tyčemi nebo trubkami. Uchycovacími šrouby lze také nastavit světlou výšku vozidla. V některých případech jsou tyto šrouby ovládány elektromotory, které umožňují změnu světlé výšky při zatížení vozidla. Druhý konec je opatřen

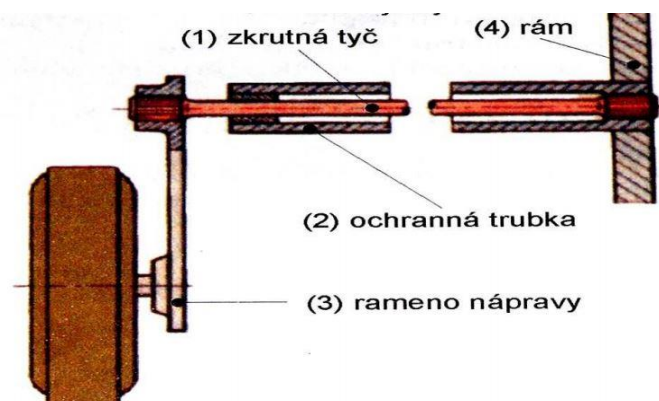
pákou, která se opírá o nápravu. Výjimečně může být průřez i čtvercový. Tyč je po celé délce průřezu broušená na stejný průměr. [1] [2] [7]



Obrázek č. 8 – umístění zkrutné tyče na vozidle Tatra

Tuhost tyče je závislá na jejím průměru ale i délce. Pro dosažení progresivity může být dodatečně opatřena zkrutnou trubkou, která se po zkroucení zkrutné tyče začne kroutit také, a tím se zvýší tuhost odpružení. Zdvih kola je přenášen na rameno. Rameno natáčí zkrutnou tyč v mezích, ve kterých dochází k pružné deformaci. [2] [3]

Celková konstrukční složitost zkrutných tyčí je malá, tím pádem podobně jako vinuté pružiny nepotřebuje téměř žádnou údržbu. Schopnost vedení nápravy bohužel nemá, poněvadž by byla nevhodně namáhána na ohyb. Samotlumičící účinky zkrutná tyč téměř nemá. Výhody nevýhody - podobné jako u vinutých pružin. (viz strana 17). [1] [3]

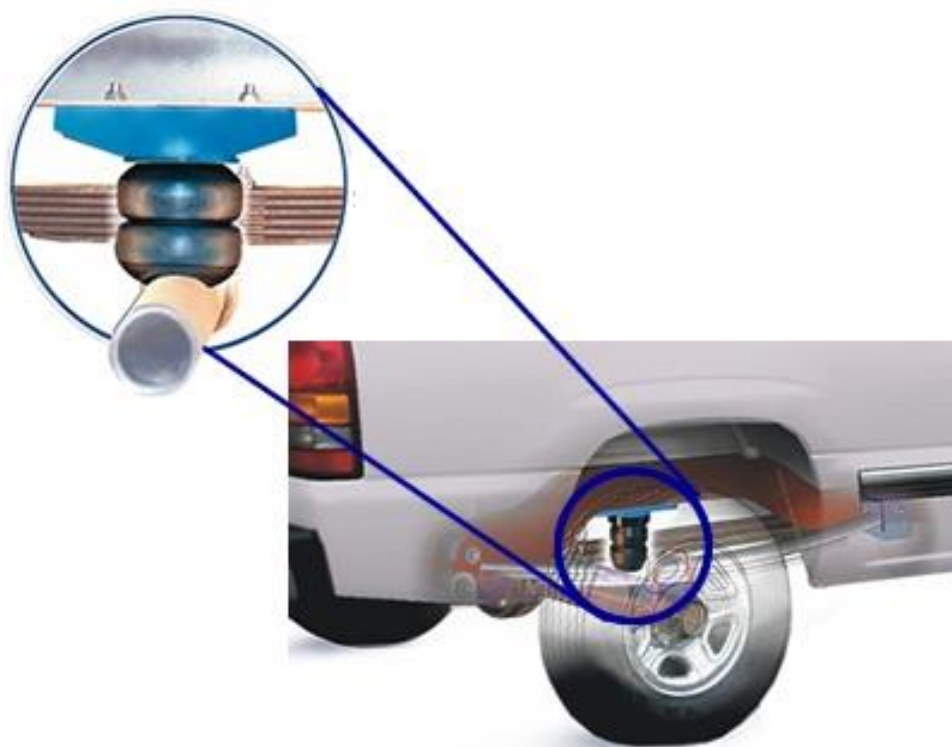


Obrázek č. 9 – schéma zkrutné tyče na vozidle

### 2.3.4. Pryžové pružiny

Pružina využívá elastické vlastnosti pryže. Pro její výrobu lze použít pryž přírodní i syntetickou. Konstrukční řešení může být rozdílné, protože pružina může být namáhána na krut, smyk – stříh nebo tlak. Tento typ pružiny nepotřebuje tlumič. Vysoký vlastní útlum pryže se využívá k zachycení kmitavých pohybů s vysokým kmitočtem a k utlumení hluku. Pružina je konstrukčně velice jednoduchá a nevyžaduje údržbu. Má nejlepší využití materiálu ze všech pružin. Díky tomu, že je vyrobená z odolné pryže, se těžko opotřebí a je velmi tichá. Pryž ale může vlivem stárnutí zpuchřet a popraskat nebo se trvale deformovat. [3] [6] [12]

Tuhost pružiny závisí na jejím tvaru a způsobu namáhání. Pružiny nemohou přenášet surnou sílu. Aby tento typ pružiny mohl vést nápravu, záleží na její konstrukci. Nevýhodou je citlivost na vyšší teploty. [3] [6]



Obrázek č. 10 – umístění pryžové pružiny

### 2.3.5. Pneumatické pružiny

Pneumatická pružina funguje jako celkový pružicí systém, ve kterém pruží vzduch uzavřený v nádobě z pružného měchu nebo ocelového válce. V nádobě je píst těsněn membránou. Při zatížení pružiny se stlačí a pomocí regulačního ventilu se do pružiny doplní vzduch, který byl vytlačen. Funguje tedy na principu elasticity stlačeného plynu, kterým je tedy buď vzduch, nebo dusík. Tyto pružiny se nejčastěji používají u autobusů, přívěsů, návěsů nebo nákladních vozidel. Samočinně udržuje vzdálenost podlahy od náprav nebo jí můžeme upravovat podle potřeby – nástup cestujících, různé rychlosti atd. Vozidlo musí být vybaveno vzduchovým kompresorem a tlakovým zásobníkem. [1] [3] [8]

Pružina nemá schopnost vést nápravu a tuto funkci přebírají podélná a příčný kyvná ramena nebo stabilizační tyč. Vzduch má pouze malý vlastní útlum, proto jsou použity i tlumiče pérování nebo je použita pružící jednotka kombinující pryžový měch a tlumič. Velkou výhodou je, že pružiny mohou mít rozmanitý tvar, což usnadňuje jejich umístění. Nevýhodou je složitá konstrukce a údržba – praskající pryže. [2] [3] [8]



Obrázek č. 11 – Pneumatická pružina



### 2.3.6. Hydropneumatické pružiny

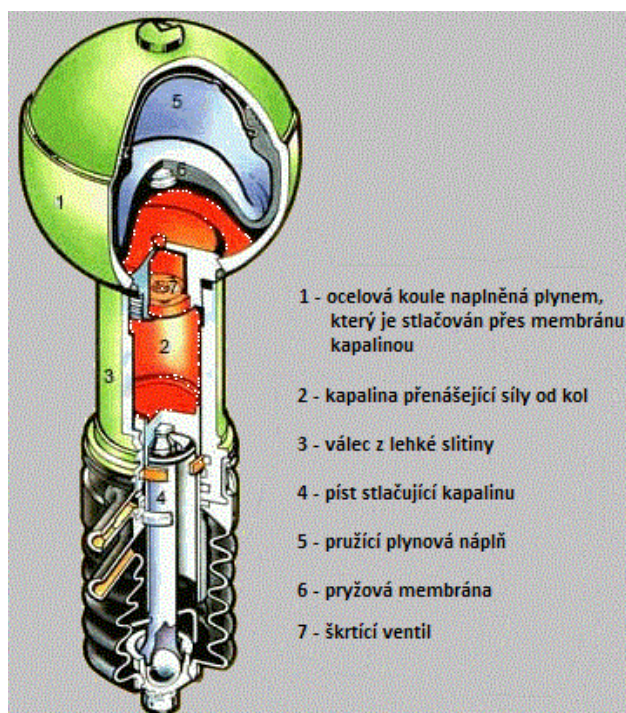
Hydropneumatická pružina je celý pružící systém. Skládá se z válce pružiny, ve které pruží stlačený plyn ze zásobníku stlačeného plynu – vzduch nebo dusík. Množství plynu je konstantní. V kulové pružící jednotce se nachází hydraulický olej. Díky plynu a oleji se liší tlak v systému. Tyto dvě části jsou spolu spojeny tlakovým potrubím nebo jsou řešeny jako celek, ve kterém se plyn od oleje odděluje membránou. V tomto případě je při stlačení pružiny stlačen plyn a do válce se doplní tolik oleje, aby byla podlaha vozu v požadované výšce od nápravy. Ventily mezi pracovním válcem a kulovou pružící jednotkou škrťí tok oleje v obou směrech a tím tlumí kmitání. Ventil jde i ručně regulovat a tím nastavit světlou výšku dle potřeby. Automaticky se vyrovnává výška při zatížení vozidla. [2] [3] [5]

#### 2 typy provedení

**Plunžrové** – nemá v sobě písty, je díky tomu užší a lehčí. Válec i spojovací potrubí jsou plné oleje.

**S kotoučovým pístem** – válec zároveň slouží jako tlumič. Toto provedení obsahuje i ventily.

Konstrukce je velmi složitá a je tedy i náročnější systém umístit do vozidla. Schopnost vést nápravu tento typ pružení nemá. V systému může dojít k úniku plynu přes membránu, která není 100% plynotěsná. [2] [3] [5] [12]



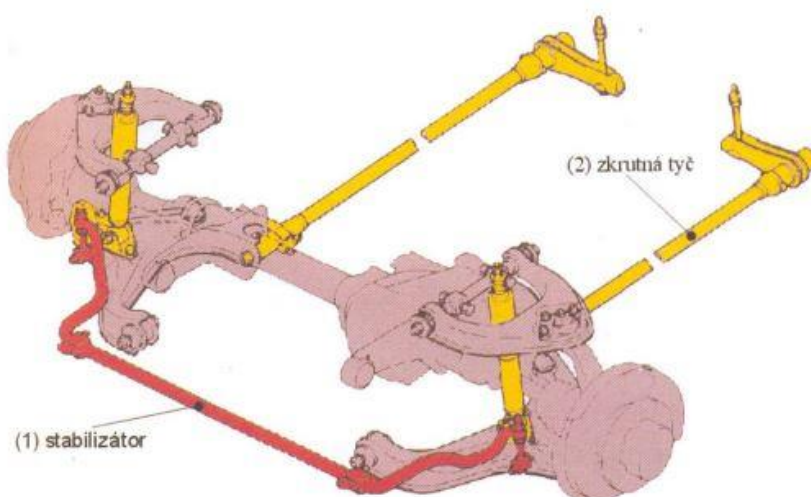
Obrázek č. 12 – řez hydropneumatickou pružinou

## 2.4. Stabilizátor

Hlavním úkolem stabilizátoru je zmenšit naklápění karoserie při průjezdu zatáčkou. Díky menšímu náklonu se zvyšuje komfort a umožňuje vyšší rychlost jízdy ve směrovém oblouku. Funguje jako pružné spojení zavěšení kol na nápravě. Stabilizátor je většinou trubka nebo zkrutná tyč, která je uložena v pryžových lůžkách a ty jsou otočně připevněny k nápravnici. Konce jsou přichyceny stabilizačními tyčkami ke každému kolu tak, aby se výchylky přenášeli na zkrutnou tyč. Stabilizátor je umístěn napříč vozidlem a je společný pro obě kola téže nápravy. Při rozdílném zdvihu konce stabilizátoru se začne kroutit a tím přenášet energii. Tím se stabilizátor snaží co nejvíce snížit rozdíl stlačení pružin na obou stranách. Při průjezdu obloukem přenáší ze zatíženého kola energii na nezatížené, tím dojde ke zvýšené tuhosti zavěšení a zmenšení náklonu karoserie. Při průjezdu vozidla přes nerovnost, na kterou obě kola vjedou zároveň, tak se stabilizátor pouze potočí v uložení a tyč se nezkroučí. [1] [2]

Velikost stabilizace závisí na tuhosti stabilizátoru. Čím tužší bude stabilizátor, tím bude menší náklon karoserie. Nesmí být však příliš tuhý, protože by docházelo k nadměrnému odlehčení vnitřního kola a tím by docházelo ke snížení stability vozu.

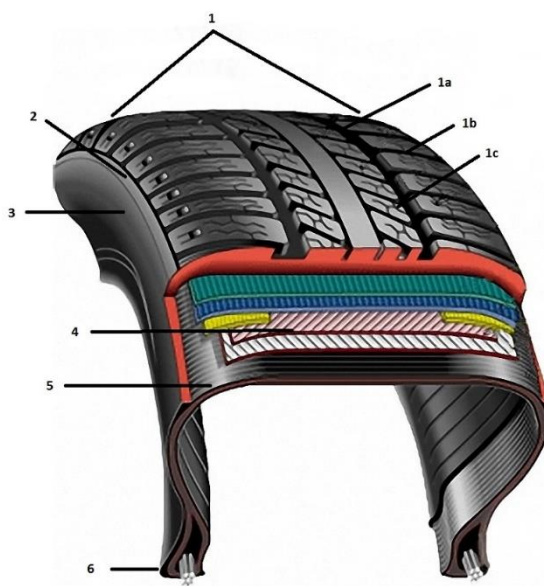
Nejčastěji se používají stabilizátory s kruhovým průřezem nebo do tvaru U. Stabilizátor plní pouze stabilizační funkci a má zanedbatelný vliv na vedení kol. Pokud je vozidlo s tuhými zadními nápravami, může toto provedení nápravy nahrazovat stabilizátor. [1] [2]



Obrázek č. 13 – umístění stabilizátoru na zadní nápravě

## 2.5. Pneumatiky

Pneumatika je umístěna na ráfku umístěném na konci náprav, který je vyroben z plechu či lehkých slitin. Pneumatika má obvykle tvar toroidu a je nasazena k vnějšímu obvodu ráfku. Hlavním materiálem pro výrobu pneumatiky je vulkanizovaná pryž, která obsahuje i saze, které dodávají pneumatice typickou černou barvu. Pryž tvoří 80-85%, dále 12-16% jsou vlákna z různých materiálů a 2-9% tvoří drát u vyztužení patky. Pneumatiky se vyrábí v mnoha velikostech, třídách zatížení, s různými rychlostními indexy a kvalitou zpracování. Pneumatika má 2 základní druhy, diagonální a radiální. Liší se konstrukcí a směrem vláken. [2] [9]



Obrázek č. 14 – řez pneumatikou

**Pneumatika se skládá z několika hlavních částí:**

**1 - běhoun s dezénem** – styková plocha mezi pneumatikou a vozovkou – zaopatřuje správnou činnost pneumatiky a její vlastností při jízdě

**2 - rameno** – malý zešikmený okraj sloužící k napojení běhounu na bočnici. Má veliký vliv na jízdu zatáčkou.

**3 - bočnice** – spojuje běhoun s patkami a chrání kostru pneumatiky před mechanickým poškozením

**4 - nárazník** – zesílená část mezi kostrou a běhounem. Přebírá většinu nárazů od vozovky.

**5 - kostra** - složena z vložek tvořených vlákny z bavlny, plastu a polyesteru. Mohou zde být i ocelová vlákna. Pásky vláken jsou vedeny od patky po patku.

**6 - patky** – spodní zesílená část pláště, která dosedá na ráfek a udržuje tím tlak v pneumatice, patka je vyztužena ocelovým lankem

Pneumatika ve vozidle slouží nejen k přenosu trakce na vozovku nebo k dobré ovladatelnosti za různých klimatických podmínek. Slouží také k odpružení vozu, přenosu síly mezi vozovkou a vozidlem a komfortu cestujících. Pneumatiky jsou velice důležité z bezpečnostních důvodů. Je na nich závislá ovladatelnost vozu a brždění. [2] [9]

### **U pneumatiky jsou 2 složky pružení**

První je stlačování vzduchu, nebo v ojedinělých případech jiného plynu v nahuštěné pneumatice. Hustící tlak je předepsán výrobcem v určitém intervalu. Záleží také na zatížení vozidla. Tlak v pneumatikách se měří v jednotkách bar. Druhá je deformace samotného pláště pneumatiky. [2]

## **2.6. Tlumiče**

Tlumič kmitů se používá společně s pružinami. Je to zařízení, které klade odpor proti prudkým pohybům. U vozidel slouží k tlumení nárazu a také tlumí nežádoucí kmity vypružení kol. Díky němu nedojde k vertikálnímu rozkmitání – rezonanci karoserie. Tlumič tedy absorbuje a rozkládá zbytkovou energii. Mechanická energie se mění na teplo, a proto také musí být zajištěn jeho odvod. Kinetická energie tlumiče je pohlcována hydraulickým odporem při průtoků oleje. Bez tlumičů by vozidlo bylo nestabilní, hůře by se ovládalo, kolo by nemělo stabilní styk s vozovkou a mělo by horší jízdní vlastnosti. Tlumiče také slouží pro komfort posádky, aby na posádku nebyly přenášeny zdraví škodlivé kmity. Tlumiče jsou umístěny mezi nápravou a karoserií a každé kolo vozidla má svůj tlumič. [2] [10]

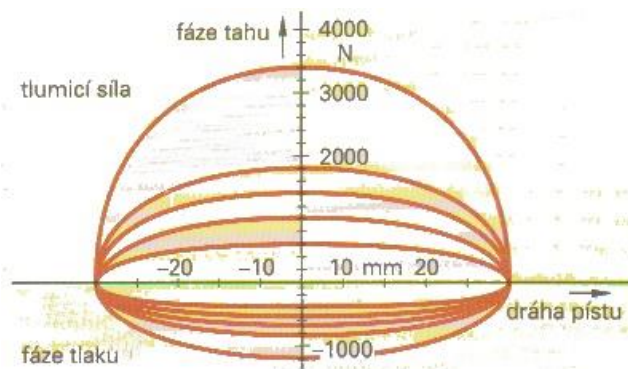
### **Základní rozdělení tlumičů podle tlumícího média:**

**Kapalinové** – pracovní látka je olej a prostor nad ním je vyplněn vzduchem, který je spojen s atmosférou [2] [10]

**Plynokapalinové** – pracovní látka je olej, ale prostor nad ním je vyplněn dusíkem a není

Namontovaný tlumič odpružení se zkouší na tzv. šokovém přístroji (Shocktester). Kola se uvedou do vibračního pohybu a po vypnutí motoru se zaznamená graf utlumení a stanoví se kvalita tlumičů. Výsledkem zkoušky je graf, kde jsou vyznačeny hodnoty, podle kterých je možné určit parametry tlumiče - zda vyhovují či nikoliv daným mezním hodnotám. [2]





Obrázek č. 15 – graf ze zkoušky tlumičů

### 2.6.1 Kapalinové tlumiče

Tento typ tlumiče je dnes nejpoužívanější. Je tvořen válcem, který je naplněn olejem s perforovaným pístem. Při pohybu tlumiče se ve válci protlačuje olej otvory z jedné komory do druhé. Tlumicí síla je úměrná rychlosti pístu.

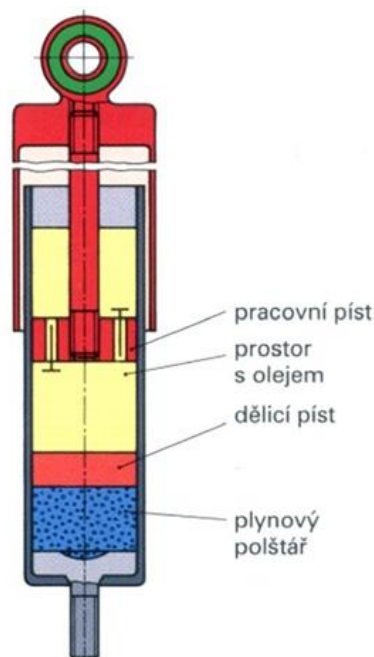
Tlumič je umístěn u kola, kde horní část tlumiče – pístnice je uchycena pomocí uložení do karoserie. Spodní část tlumiče je umístěna na přední nápravě v těhlici kola, nebo na zadní nápravě pomocí vyztuženého oka do zadní těhlice. [11]

#### Jednoplášťový tlumič

Tento typ tlumiče nemá svůj samostatný vyrovnávací prostor. Změny vnitřního objemu pracovního prostoru tlumiče se vyrovnávají změnou objemu pod plovoucím pístem. Tlumičová kapalina je od plynu oddělena dělícím pístem, který se může volně pohybovat ve válci. Když se stlačí pístnice, proteče kapalina z místa pod pístem do místa nad pístem a tím vznikne tlakový rozdíl. V prostoru nad pístem i pod pístem je tlak 0,3-0,6 MPa, tím nedojde k tvoření bublin. Při průtoku sice vznikne tlakový rozdíl v komorách, ale ten neklesne pod kritickou hodnotu. energii pohlcuje kapalinové tření, které vznikne při průchodu kapalinou skrze ventily. Tlumič s pístem může být nakloněn maximálně 45°. [1] [10] [11]

#### Porovnání s dvouplášťovými tlumiči: [11]

- lepší bezpečnost a komfort posádky
- větší průměr pracovního pístu při stejném průměru tlumiče
- lepší funkce při kmitání
- lepší chlazení
- necitlivost na změnu objemu kapaliny při chlazení tlumiče

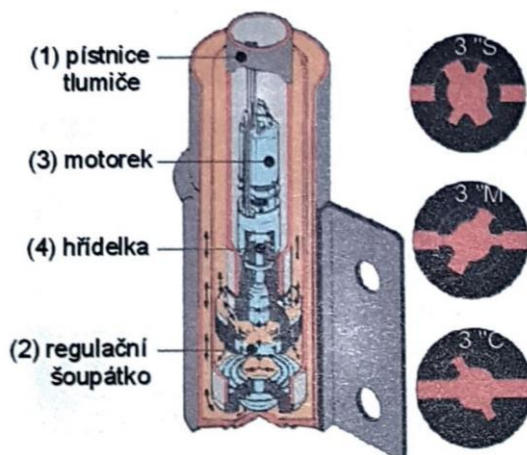


Obrázek č. 16 – řez jednoplášťovým tlumičem

### Dvouplášťové tlumiče

Kapalinové tlumiče se vyrábějí výhradně jako dvouplášťové. Při pohybu nápravy ke karosérii je ventilem protlačován olej z prostoru pod pístem do prostoru nad pístem. Díky tomu se objem pracovního prostoru zmenšuje o objem pístnice. Přebytečný olej vtlačován ventilem do vyrovnávacího prostoru mezi vnitřním a vnějším pláštěm. Tímto vzniká hydraulický odpor, který vytváří tlumící sílu. Síla závisí na rychlosti pístu. Při vysoké rychlosti kmitání může dojít ke kavitaci, tedy ke zpevňování oleje a tím může být snížena účinnost tlumiče. Při pohybu nápravy od karoserie se přetlačuje olej z prostoru nad pístem do prostoru pod pístem a jeho množství se doplňuje z vyrovnávacího prostoru. Pro zajištění správného chodu tlumiče je zapotřebí, aby pracovní prostor byl vyplněn bezezbytku tlumičovou kapalinou, protože vzduch by měl za následek zhoršenou účinnost tlumiče. Tento tlumič musí být umístěn a pracovat v poloze do 45° od svislé osy, aby nedošlo ke vniknutí vzduchu do pracovního prostoru. Vzduch se může dostat do prostoru také při vychladnutí tlumící kapaliny při odstavení vozu. Tento případ se řeší zásobním prostorem s olejem, z kterého se při chladnutí tlumiče doplňuje pracovní prostor tlumiče. [1] [10] [11]





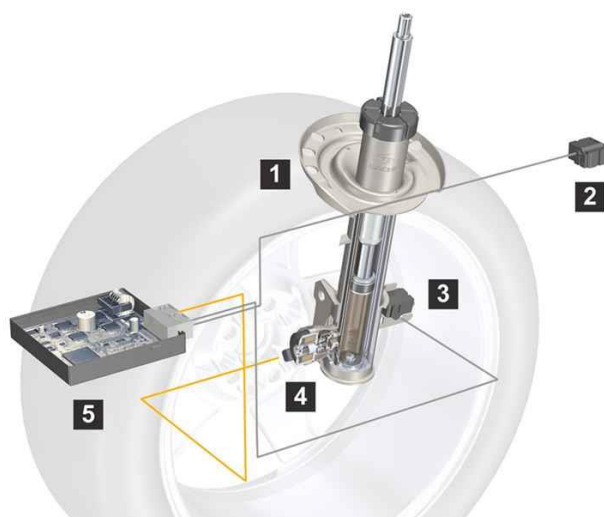
Obrázek č. 18 – průřez elektricky ovládaného tlumiče

Tento typ tlumiče má 3 možnosti nastavení.

**Základní** – mimo středového otvoru je otevřený příčný kanál. Průtok tlumičové kapaliny je částečně škrcen – díky šoupátku má menší průměr, ale stále protéká olej.

**Komfortní** – tato možnost nastavení je označována jako měkká. Šoupátko je v takové poloze, že dojde ke spojení příčného kanálku a maximálního průřezu. Tím je docíleno, že oleji je kladen minimální možný odpor.

**Sportovní** – tato regulace je jednoznačně tvrdá. Šoupátko zcela uzavře příčný kanálek v pístu a olej proudí pouze středovým. [1] [2]



Obrázek č. 19 – schéma ovládání elektronicky ovládaného tlumiče

- 1 - tlumič
- 2 - snímač zrychlení karosérie
- 3 - snímač zrychlení kola
- 4 - elektromagnetický ventil
- 5 - řídicí jednotka

### 2.6.3. Tlumič s regulovatelným obtokem

Tento typ je postaven na základu jednoplášťového plyno-kapalinového tlumiče. Kapalina neproudí přes otvory pístu, ale prochází skrze elektromagnetický ventil s kruhovou štěrbinou. Tento ventil spojuje pístem oddělené vnitřní prostory tlumiče. Pomocí napětí je řízena viskozita kapaliny a tím vlastnosti a účinnost tlumiče. Může být ovládán v průběhu brždění, naklápění karoserie v zatáčkách, zatížení vozidla nebo při pohybu kol. Elektroeologická kapalina je na bázi bezvodé disperze částic. Obsahuje molekuly polymeru, které jsou v silikonovém oleji. Při vytvoření elektrického pole se částice polarizují a vytvoří nad elektrodami řetězce. Původně málo viskózní kapalina se změní pomocí elektrického pole na více viskózní ve zlomcích sekundy. Tlumičová kapalina není náchylná na výkyvy teplot a na dlouhodobé použití. [1] [2]

### 2.6.4. Odpružení vozidla BOSE Suspension

Tento typ odpružení je starý 13 let. Firma Bose vynalezla odpružení vozidla, které se chová komfortně, ale jistě zároveň. U některých zmíněných typů odpružení lze sice docílit při adaptivním nastavování tuhosti a světlé výšky komfortního, nebo po přepnutí sportovního svezení, ale firma BOSE přišla s revoluční technologií. Od 80. let 20 století firma pracovala se systémem lineárních elektromagnetických motorů. Cílem bylo ponechat karoserii vozu téměř bez hnutí při přejezdu nerovností nebo při průjezdu obloukem. Systém obsahuje nejen lineární elektromagnetické motory, ale dále také zesilovač proudu. Vše bylo možné díky pokroku v oblasti ovládacích algoritmů a výpočetní kapacity. Elektromagnetické motory se mohou rychle pohybovat díky zesilovači. Motory se pohybují velmi rychle nahoru a dolů, a tím tedy zajišťují pohyb mezi kolem a karoserií. Chovají se principem podobně jako normální tlumiče, ale reagují na nerovnost v silnici mnohem dříve, než standartní tlumiče. [13] [14] [15]



Obrázek č. 20 – tlumič systému BOSE

Přesný princip tohoto odpružení spočívá v izolaci kola a karoserie, není zde žádný tlumič, který by přímo spojoval kolo a opíral se o karoserii. Díky tomu může karoserie vozu zůstat téměř bez hnutí při průjezdu obloukem, prudkém brždění i při přejezdu nerovností. Vozidlo je dokonce schopné před malou nerovností i povyskočit při manuálním řízení systémem. Standardně systém ovládá počítač, který vyhodnocuje data a ovládá elektromagnetické motory. [13] [15]

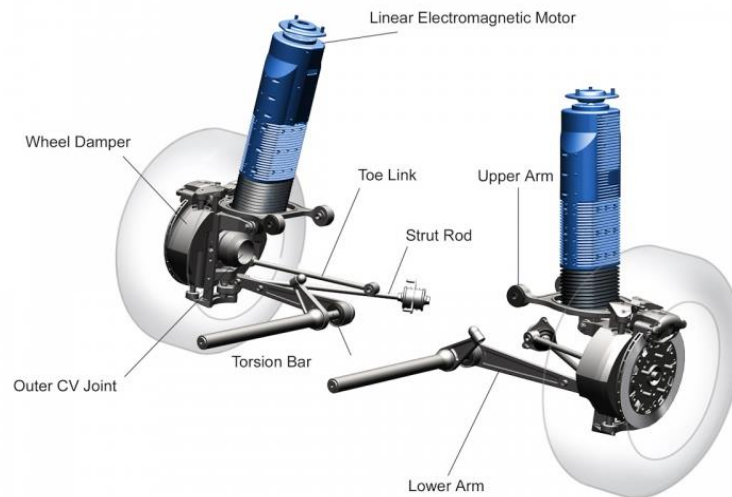


Obrázek č. 21 – tlumič systému BOSE v podběhu kola

### **Technické specifikace systému BOSE**

Lineární elektromagnetické motory jsou schopny vyrovnat síly v rozích vozidla pouze za 1 ms, v některých případech i méně. To je více než uspokojivá hodnota, oproti cca 10 ms u hydraulických tlumičů. Napájení celého systému pracuje při napětí 300V. Uvnitř každého tlumiče je magnet, okolo kterého je cívka. Díky proudu, který vtéká do cívky, vzniká magnetické pole, ve kterém se může magnet pohybovat. Tlumič se vysouvá a za pomoci síly magnetického pole je dán odpor při zasunutí tlumiče. I přes vysoký výkon čtyř motorů a počítače není systém energeticky náročnější než klimatizace. Je to možné díky tomu, že elektromotory jsou obrácené generátory elektrické energie – vlivem pohybu magnetu uvnitř cívky se vytváří elektromagnetické pole – kdy je při každém propružení vygenerován elektrický proud, který se ukládá pro další použití ve vysoko výkonných kondenzátorech.. Upevnění systému je téměř shodné jako zavěšení McPherson. [13] [14] [15]

Představen byl veřejnosti v roce 2004. Byl vynalezen tak, aby se dal namontovat na stávající automobily pouze s menšími úpravami. Systém má 2 velké nevýhody. První z nich je přílišná hmotnost systému, a druhá je vysoká cena, která by se neschovala ani do ceny velmi luxusních limuzín. Tento systém byl vyzkoušen na vozidle Lexus LS 400 sedan. [13]



Obrázek č. 22 – systém BOSE na vozidle

## 2.7. Náprava

Hlavní funkce nápravy je nesení veškerého zatížení vozidla a přenášet jej na kola a dále na vozovku. Náprava řeší kinematický pohyb a svislý pohyb kola vůči karoserii. Svislý pohyb je potřeba při pružení a eliminaci nežádoucího pohybu kola. Dále zajišťuje správné směrové vedení kol, což je velmi důležité pro jízdní vlastnosti vozidla a jeho dobré ovládní. To platí nejen při jízdě rovně, ale také do zatáčky nebo přejezdu nerovnosti, kdy se vlivem propérování kola rychle mění vzdálenost ve svislém směru od karoserie vozidla. [16]

Dále přenáší podélné síly (hnací a brzdné) příčné síly (odstředivé) a momenty podélných sil od vozovky do karoserie a naopak. Díky konstrukci umožňuje odpružení vozidla. To zaopatřuje pružina, která je uložena mezi nápravou a vozidlem. Prvky nápravy jsou spojovány ložisky, silentbloky a čepy.[16]

### Rozdělení náprav

**Hnaná** – přenáší pouze tíhu vozidla a nemá funkci přenášení sil

**Hnací** – kromě přenosu tíhy na vozovku umožňuje pohyb vozidla. Pohyb je vykonáván pomocí přenosu točivého momentu motoru na kola. Zda se jedná o přední, zadní či obě nápravy záleží na konstrukci pohonného ústrojí vozidla. [1]

### Závislé zavěšení:

– tuhá náprava

### Nezávislé zavěšení:

- lichoběžníková

- kyvadlová a kliková

- víceprvková

- McPherson

### Přední náprava:

**MacPherson** - teleskopická vzpěra a spodní trojúhelníkové rameno

**Lichoběžníková náprava** - dvojice příčných trojúhelníkových ramen

### Zadní náprava:

**Kyvadlová úhlová náprava** - trojúhelníková ramena se šikmou osou kývání

**Kliková náprava** - podélná ramena s příčnou osou kývání

**De dion** - kombinace kyvadlové a tuhé nápravy

**Tuhá náprava** – pevně spojené kola na nápravě



### 2.7.1. Tuhá náprava

Tuhá náprava je nejstarší technické provedení, ale stále hojně využívané. Používá se hlavně pro zadní nápravy osobních a menších užitkových vozů. Obě kola jsou pevně spojena a náprava jako celek je odpružená ke karoserii vozidla, U této nápravy nelze měnit rozchod kol a nedochází ke změně stopy a sklonu kola. Při přejíždění jakékoliv nerovnosti se nakloní celá náprava a tím dojde i ke sklonu pneumatik. Tento typ nápravy však může zhoršovat jízdní vlastnosti na nekvalitních cestách, protože při jízdě je zde větší podíl neodpružené hmoty. Její největší výhodou je jednoduchost a nízké výrobní náklady. Může být vyrobena pevně a robustně, což je velká výhoda u zatěžovaných vozidel. [1] [16] [17] [18]

#### Zadní tuhá náprava může být s různými typy odpružení

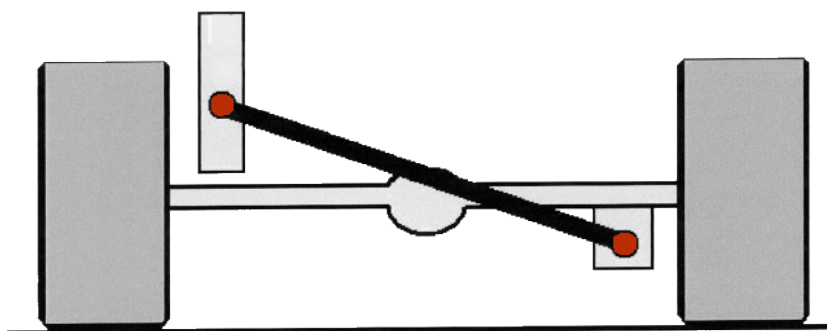
- na dvojici podélných listových pružin – disponuje vedením nápravy, odpružením a tlumením mezi karoserií a nápravou.
- použití vinutých pružin s teleskopickými tlumiči

#### Příčné vedení nápravy

Pokud je náprava osazena vinutými pružinami, které nedokáží vést nápravu, je potřeba jiné vedení. Odpružení vinutými pružinami doprovází teleskopické tlumiče. Je nutné zajistit přenos suvných a bočních sil mezi nápravou a karoserií. [16] [17]

#### Tuhá náprava s Panhardskou tyčí

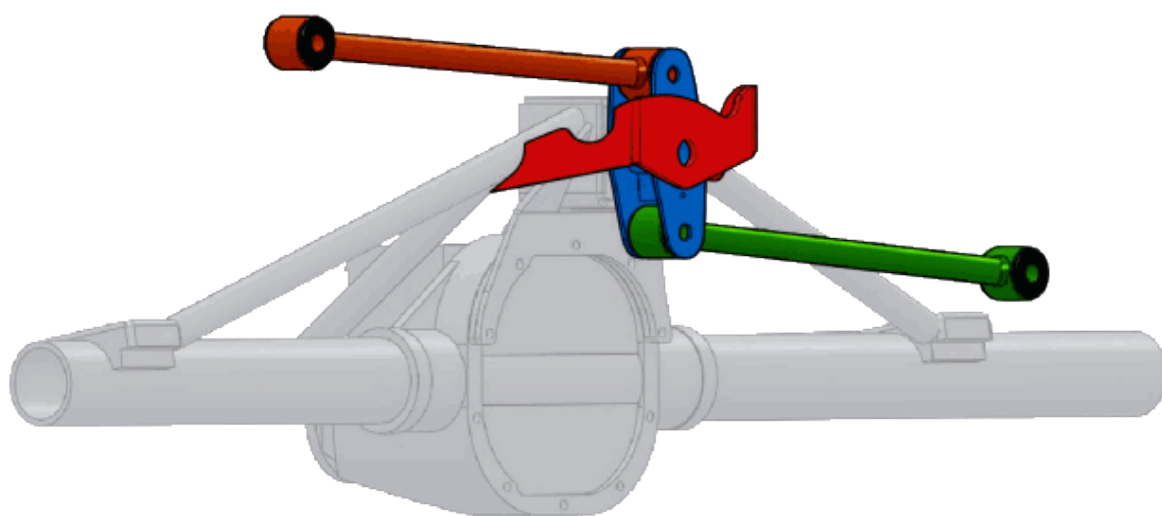
Jedná se o příčně uložené rameno, které spojuje most nápravy s rámem nebo karoserií vozidla. Jedním koncem je upevněna otočně na nápravě a druhým pevně v karoserii. Nevýhodou je boční posun konstrukce vůči vozu při propružení, což má za následek zhoršení komfortu. Aby tyč co nejlépe eliminovala boční kmitání karoserie, měla by být co nejdelší a uložena vodorovně. [1] [17]



Obrázek číslo – Panhardská tyč

## Tuhá náprava a Wattův přímovod

Toto provedení eliminuje nevýhody náprav s Panhardskou tyčí. Handicapem bylo příčné vybočování nápravy. Wattův přímovod je tříčlenný pětikloubový mechanismus, který se skládá z dvou podélně uložených tyčí. Tyče jsou připevněny otočně ke karoserii a to v různých výškách. Na opačných koncích jsou tyče otočně připevněny k vahadlu. Při propružení dochází pouze ke svislému pohybu středu nápravy. Aby mechanismus správně fungoval, musí být přímovod středově souměrný. [1] [17]



Obrázek č. 24 – Wattův přímovod

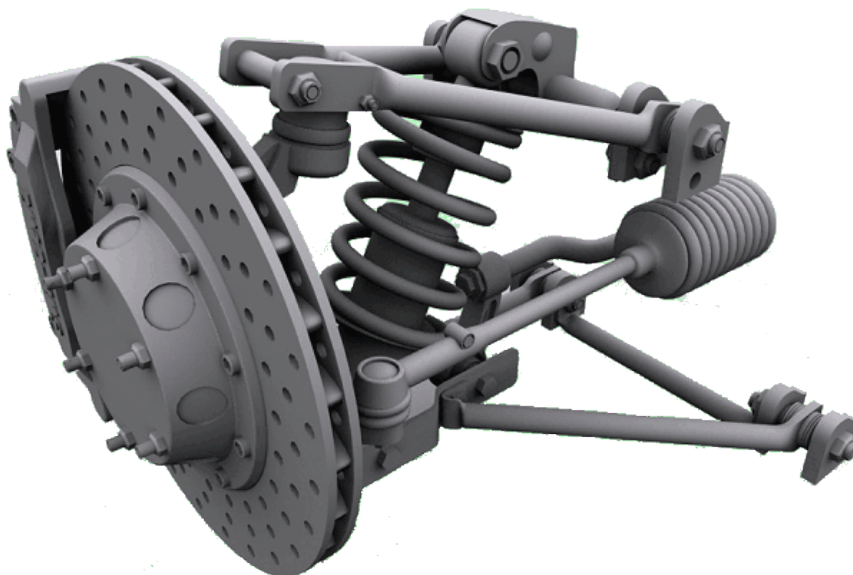
Tuhá náprava s Panhardskou tyčí nebo Wattovým přímovodem dokáží vést nápravu pouze v příčném směru. Pro přenos podélných sil je nutné další vedení, které zabezpečují podélná ramena. Je více možných variant, jak mohou být ramena uložena - dvě podélné, čtyři podélné nebo dvě podélné a dvě šikmá ramena. [1] [17]

## 2.7.2. Lichoběžníková náprava

Lichoběžníková náprava se skládá ze dvou nestejně dlouhých nad sebou umístěných ramen ve tvaru trojúhelníku, které jsou připevněny na nápravnici a v průmětu svislé roviny tvoří lichoběžník. Celá náprava tedy obsahuje 4 ramena. Díky vhodnému poměru obou ramen lze dosáhnout velmi příznivé kinematiky. Horní rameno je kratší než spodní a tvar trojúhelníkové konstrukce by měl být co nejvíce otevřen, aby působící síly byly co nejmenší. Ramena jsou nad sebou a uložena ve dvou bodech do nápravnice nebo přímo do karoserie vozidla. Pokud je lichoběžníková náprava vpředu na vozidle, musí být těhlice uložena nejen kyvadlově, ale i otočně – otočný čep u kola. Kyvadlově musí být uložena kvůli odpružení vozidla a otočně aby vozidlo mohlo zatáčet předními koly. Spodní rameno bývá konstrukčně silnější, protože přenáší větší síly vzniklé u přejezdu nerovností.

Ramena a nápravnice jsou většinou svařené výlisky z plechu. Spojení mezi rameny a nápravnicí zabezpečují ložiska opatřené kovopryžovými pouzdry. [2] [16] [17] [18]

Tato náprava trpí při propérování na změnu odklonu kola, rozchodu a sbíhavosti kol. Tím dochází ke zhoršení jízdních vlastností, ale je možné tyto vlivy eliminovat vhodnou délkou ramen. Používá se jako řídící ale i hnací. Využívá se u osobních vozidel, kde při správném nastavení a geometrii disponuje skvělými jízdními vlastnostmi. [2]

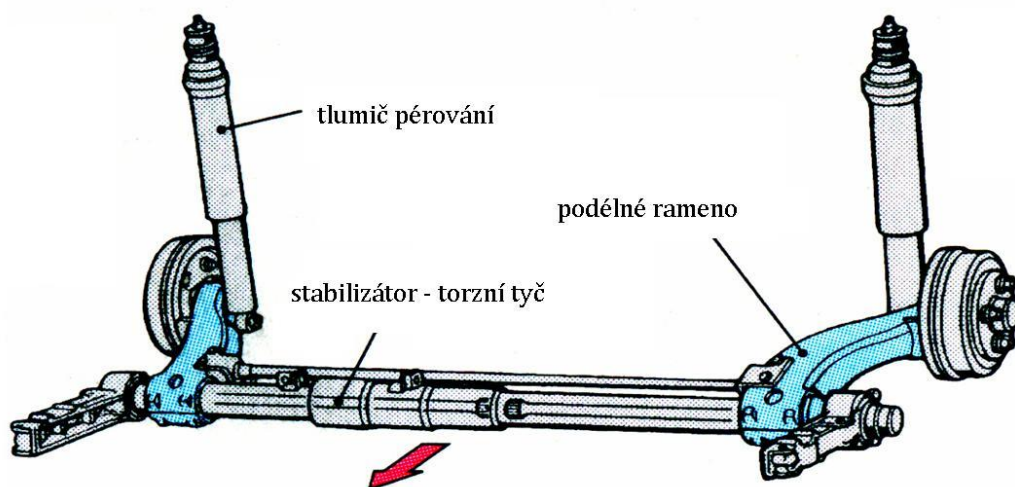


Obrázek č. 26 – Lichoběžníková náprava

### 2.7.3. Kliková náprava

Kliková náprava patří k jedné z nejjednodušších, co se konstrukce týče. Je využívána výhradně pro zadní nápravy automobilů. [18]

Skládá se z podélných ramen, která mají příčnou osu kývání. Na kolo je jedno nebo dvě ramena. Ramena jsou uložena v pryžových nebo valivých ložiscích přímo do karoserie nebo do nápravnice. U některých náprav jsou obě strany propojeny příčným torzním stabilizátorem. Ten zabezpečuje menší náklon kola a přispívá k vyšší tuhosti nápravy. Dnes se často nahrazuje torzní příčkou spojující obě ramena. Příčka je většinou ve tvaru průřezu U. Tento průřez je velmi odolný na ohyb ale poddajný na krut. Náprava je tedy tvořena jedním svařeným celkem – spřažená kliková náprava. Při propérování vozidla dochází ke změně odklonu kola vůči karoserii. Tato náprava také zachycuje příčné síly při průjezdu vozidla směrovým obloukem. Výhodou je malá prostorová náročnost a její jednoduchost. Používá se pro vozidla s předním pohonem. [1] [16] [17] [18]

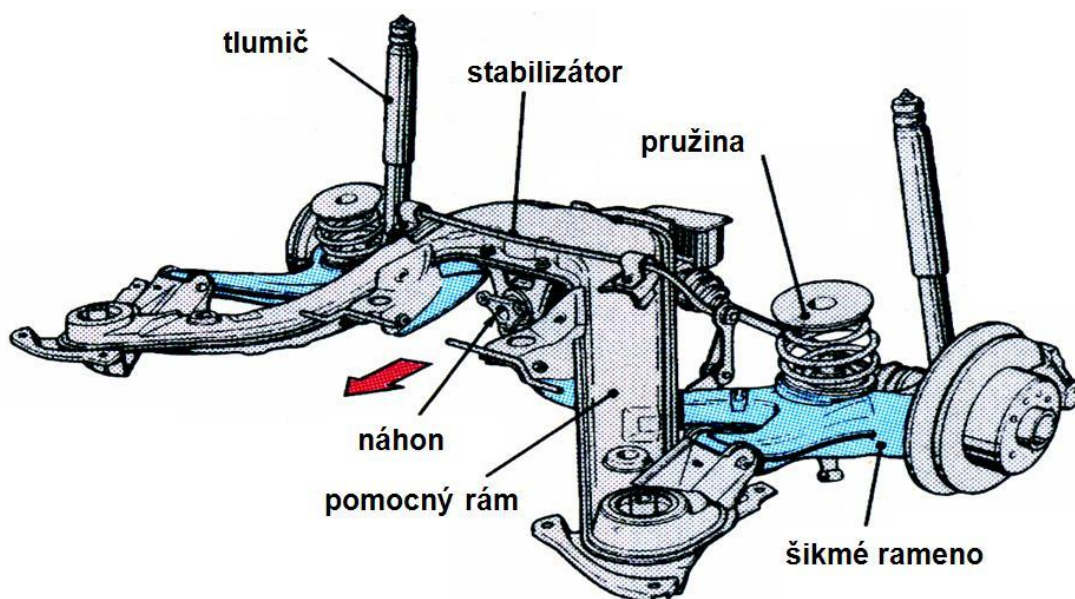


Obrázek č. 27 – kliková náprava

### 2.7.4. Kyvadlová úhlová náprava

Kyvadlová úhlová náprava, známá někdy jako šikmo vlečená náprava využívá vlečného ramene. Od klikové nápravy se liší tím, že má šikmou osu kývání ramen při pohledu z půdorysu. Obvykle má tuto šikmou osu i v nárýsu. Poté dochází při propérování k samořízení a to se projevuje jako nedotáčivost vozidla. Kola jsou uchycena pomocí ramen

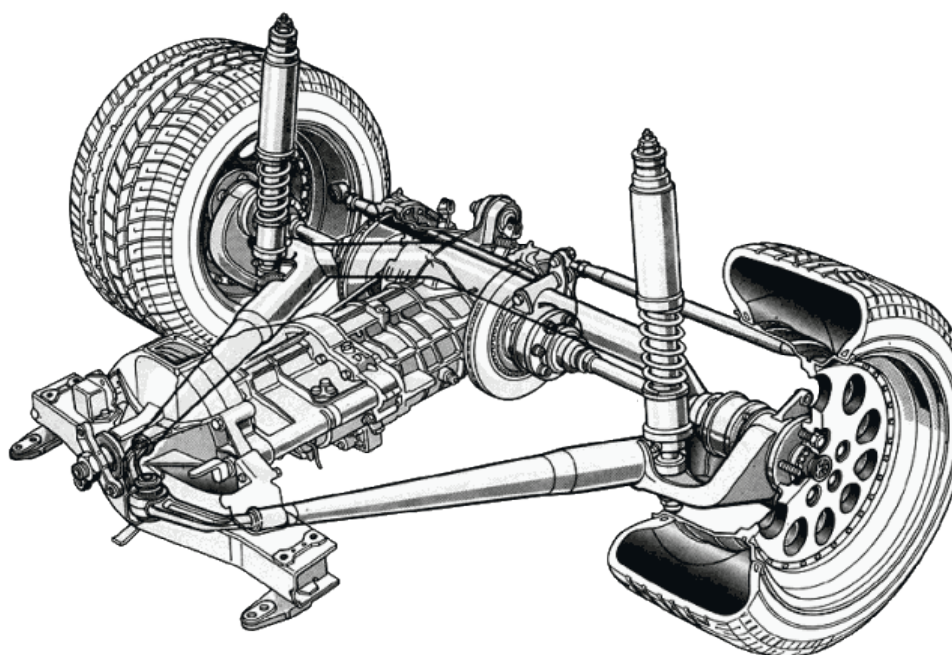
trojúhelníkového tvaru. Ramena jsou uchyceny k nápravnici nebo přímo do karoserie vozidla za pomoci pryžových ložisek, na druhém konci je rameno připevněno k náboji kola. Při propérování je pól klopení dán průsečíkem osy otáčení kola a osy kývání ramene. Vzdálenost klopení je velká a to má za následek změnu rozchodu a odklonu kol, byť jen nepatrně. Používá se výhradně pro zadní nápravu a je možné ji použít i u zadní hnané nápravy. V současnosti se však většinou nahrazuje víceprvkovou nápravou. [1] [2] [17] [18]



Obrázek č. 28 – kyvadlová náprava

### 2.7.5. Náprava De dion

Představuje přechod mezi tuhou a výkyvnou nápravou. Tento typ nápravy vznikl proto, aby se zmenšily velké neodpružené hmoty při poháněné nápravě. Oddělí se tedy pohon kol od nápravy a upevní se ke karoserii. Přenos točivého momentu zabezpečují kloubové hřídele s homokinetickými klouby. Obě kola jsou spojena nápravnicí a tím je tedy zachována vlastnost tuhé nápravy. K zachycení příčných sil se zde používá Wattův přímovod nebo Panhardská tyč. Podélné vedení zaopatřují páry šikmých ramen. Dnes se s tímto typem nápravy setkáme zřídka. [2] [17]



Obrázek č. 29 – náprava De dion

### 2.7.6. McPherson

Tento typ nápravy je obdobou lichoběžníkového zavěšení. Kolo je uchyceno kulovým kloubem na výkyvném rameni. To je uloženo šikmo k podélné ose vozidla a bývá trojúhelníkového tvaru, protože je blízko vozovky a nese větší podíl příčných a podélných sil je rameno zesílené. Horní závěs je zabezpečen axiálním valivým ložiskem, které přenáší hmotnost karoserie na vinutou pružinu. V zavěšení McPherson se pružina opírá jedním koncem o misku spojenou s tlumičovou vzpěrou a druhým o uložení tlumiče, které se skládá z valivého axiálního ložiska v pryžovém pouzdru. Tlumičová vzpěra McPherson je vhodně upravený teleskopický tlumič opatřený uložením pro vinutou pružinu, tlumič je upevněn šroubem k náboji kola a nahoře k již zmíněnému uložení. Touto konstrukcí je svislé zatížení kola rozloženo přes kolo, rejdový čep, vodící trubku a pružinu karoserie, aniž by se zatěžovalo ložisko. Kvůli příčným silám při brzdění, akceleraci a zatáčení vzniká na kluzných místech píst-válec a pístnice-vedení zesílené tření. Toto tření může i při menších nerovnostech zablokovat pohyb teleskopické vzpěry a vozidlo tak kmitá pouze na pneumatikách. Kola se otáčejí kolem spojnice středu ložiska a kulového kloubu. Tato spojnice tvoří osu zatěžování pružiny. Tlumič zde plní dvě funkce, tlumí pérování a slouží jako nosná část pro vedení kola. Proto zde musí být dostatečně dimenzován a dobře konstrukčně řešen – musí být tužší a pevnější než u jiných typů náprav. [1] [2] [17]

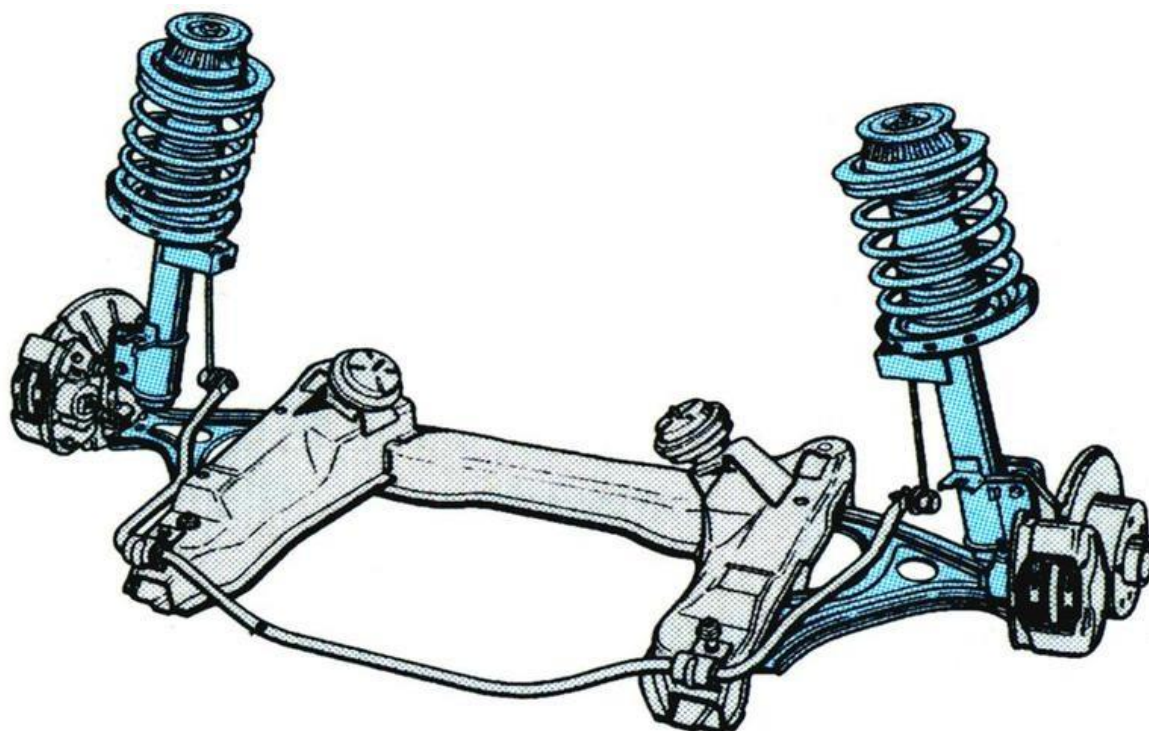


Při propérování a náklonu karoserie se mění odklon kola, což vede ke kmitání řízení způsobené gyroskopickým momentem. Pro vhodnou polohu středu klonění nápravy musí být provedení osy spodního ramene šikmé.

Velkou výhodou této nápravy je zvýšená stabilita vozidla v zatáčce. V jednom celku je sloučeno odpružení, tlumení a natáčení kol. McPherson je relativně jednoduchá konstrukce, která využívá minimálního počtu dílů. [1][18]

Většinou se používá jako řídicí, ale může posloužit i jako zadní hnaná nebo hnací.

Tento typ nápravy se často kombinuje s víceprvkovými nápravami. [1]



obrázek č. 30 - náprava McPherson

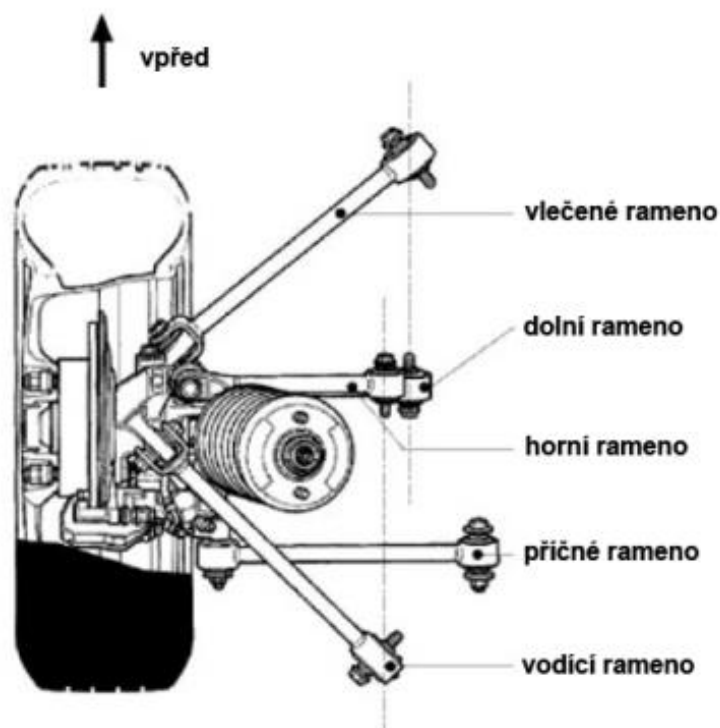
### 2.7.7. Víceprvková náprava

Jednotlivé typy náprav mohou obsahovat různý počet nezávislých příčných, šikmých i podélných ramen. Tyto nápravy jsou konstrukčně náročnější, ale dovolují lepší odladění podvozku. Jsou tvořeny minimálně třemi a maximálně pěti prvky. Závěsy jednotlivých kol nejsou vzájemně ovlivňovány. Cílem složitější konstrukce je oddělení podélných a příčných sil od svislých. Každé rameno má svojí funkci. Příčné síly jsou zachyceny vlečným ramenem,

příčné síly příčnými rameny o různých délkách. Konstrukce nápravy je taková, že ramena jsou namáhána pouze na tah nebo tlak. Ze všech náprav je zde nejlepší vedení kola a zároveň komfort jízdy. Není příliš těžká, nevytváří zbytečně velké tření a výborně tlumí hluk a vibrace. [1] [17] [18]

Ramena mají trojúhelníkový nebo jednoduchý přímý tvar. Ramena jsou uchyceny do náboje kola a poté buď do nápravnice, což zjednodušuje instalaci a zvyšuje tuhost, nebo přímo do karoserie vozidla. Uchycení je opatřeno pryžovým uložením nebo kulovým čepem. Rozmanitost nastavení ramen dovoluje optimálně rozložit síly a docílit požadovaných kinematických vlastností. Odpružení bývá přes nosné – většinou příčné rameno (u zadních náprav). Vlastnosti nápravy jsou závislé na počtu ramen a provedení.

Nevýhodou je náročnější údržba, prostorová náročnost a výrobní náklady. Kvůli použití pryžových lůžek má náprava kratší životnost. Nápravu lze využít jako přední hnanou nebo i hnací. To samé platí i pro zadní nápravu. [1] [17] [18]



Obrázek č. 31 – víceprvková náprava



### 3 Pérování a kinematika vzorového vozidla

Pro tuto diplomovou práci bylo zvoleno vozidlo Škoda Octavia třetí generace. Byla představena v roce 2013 na autosalonu v Ženevě a vyráběna je dodnes. Vozidlo se řadí do kategorie nižší střední třídy. V roce 2017 prodělala facelift, který se týkal spíše designu a elektroniky. Konstrukce vozidla zůstala stejná. Octavia se vyráběla s pohonem předních kol nebo 4x4, kde pohon zadních kol byl tvořen pomocí přípojného systému Haldex páté generace. V mladoboleslavském katalogu se Octavia dala nakonfigurovat v mnoha variantách. Karoserie se mohla objednat ve dvou možnostech, a to jako liftback nebo combi. Dále v nabídce byla široká škála zážehových i vznětových motorů. Vozy se tedy lišily nejen karoserií, motory nebo hnanou nápravou, ale i zvolenou výbavou. Materiály použité při výrobě byly identické u všech vyrobených kusů. [19]

Toto vozidlo bylo zvoleno pro jeho hojný počet na českých silnicích a pro velkou oblibu mezi řidiči. Na přední nápravě se nachází systém odpružení McPherson. Vozidla se mohla lišit v zavěšení zadní nápravy. Verze RS, Scout a 4x4 měla víceprvkovou nápravu a běžná Octavia měla pouze torzní tyč s vinutými pružinami – neboli klikovou nápravu.

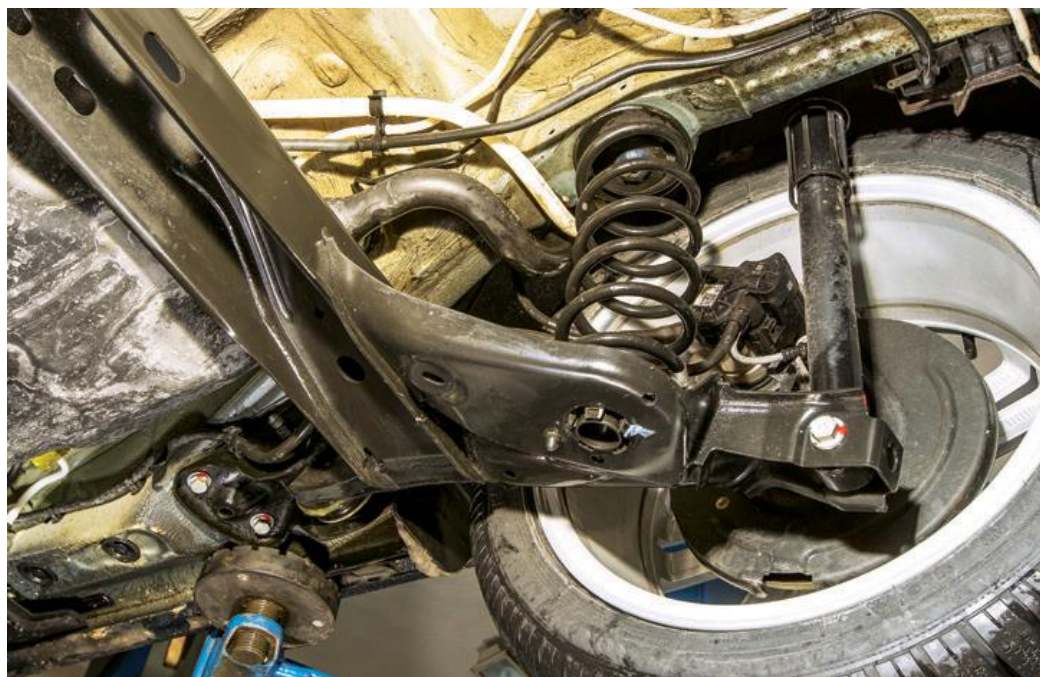


Obrázek č. 32 – Škoda Octavia III generace zředu



### 3.2 Zadní náprava – Kliková

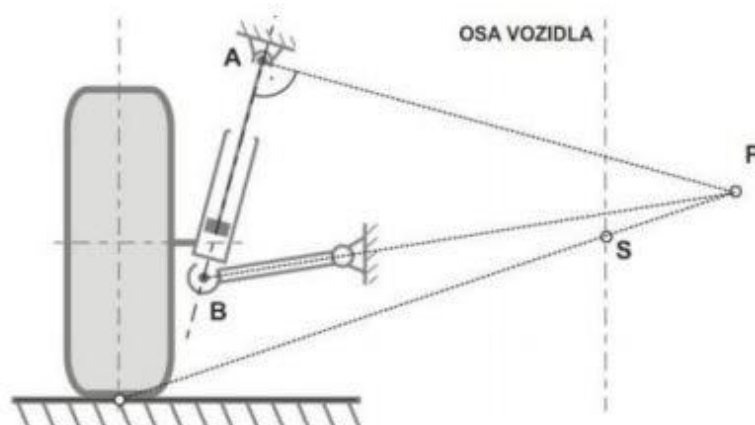
Pokud se tedy nejedná o sportovní verzi RS – Rally Sport, Scout nebo 4x4, měla Škoda Octavia III. generace vlečenou nápravu. Přesněji se jedná o nezávislou klikovou nápravu. Tato náprava je složena z torzní tyče a podélných ramen. Tlumí díky samotné tuhosti torzní tyče a dále pomocí dvojice vinutých pružin a kapalinových tlumičů. Náprava je detailněji popsána na straně 36. Na fotografii je možné vidět autentickou nápravu používanou na těchto vozidlech.



Obrázek č. 35 – kliková náprava vozidla Škoda Octavia III

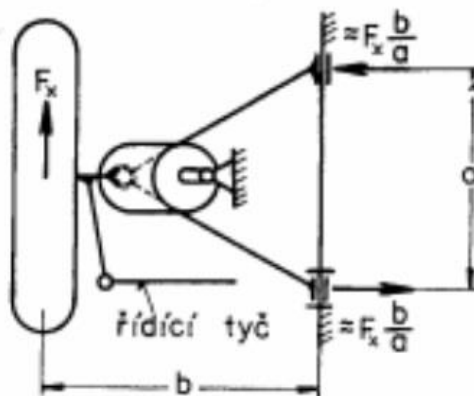
### 3.3 Kinematika u přední nápravy McPherson vozu Škoda Octavia

Zavěšení u přední nápravy McPherson umožňuje natáčení soustavy včetně tlumiče kolem svislé osy a umožňuje zatáčení vozidla. Podélné a boční síly, z kterých vznikají momenty sil, jsou zachycovány silovými dvojicemi na karoserii. Na celou nápravu tedy působí příčné síly a jejich momenty. [1] [2]



Obrázek č. 36 - zachycení boční síly a poloha středu klopení karoserie

Ložisko B (kulový čep) je více zatíženo než ložisko A (uložení tlumiče) a to z toho důvodu, že B leží blíže působišti sil. Pól klopení kola P a klopení karoserie S leží vždy nad rovinou vozovky (obrázek č. 36). Pól S leží v polovině výšky pneumatiky. Odklon kola při propružení se mění. Odklon je také odlišný při náklonu karoserie v zatáčce a toto chování doprovází kmitání řízení způsobené gyroskopickým momentem. Pro docílení vhodné polohy středu klonění nápravy musí být osa kývání ramene šikmá. [1] [2] [20]



Obrázek č. 37 - zachycení podélné síly

Pro přenos podélné síly  $F_x$  je nutné trojúhelníkové rameno pevně upevněné do nápravnice a karoserie vozidla. Tažná vzpěra může být shodná s ramenem příčného stabilizátoru. [2]

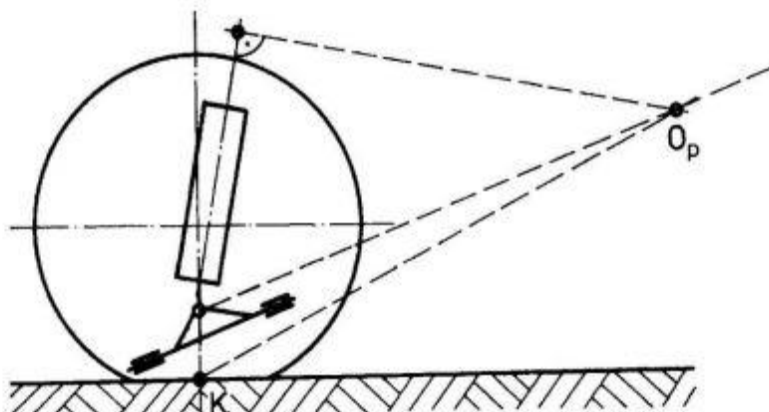
$$M_g = J_k \cdot \Phi_k \cdot \delta_k$$

$J_k$  - hmotnostní moment setrvačnosti kola

$\Phi_k$  - úhlová rychlost otáčení kola

$\delta_k$  - rychlost klopení kola

Neklid v řízení vzniká, když je řídicí ústrojí buzeno frekvencí blízko jeho vlastní. To může mít za následek nevyvážené kolo, silovou nerovnoměrnost pneumatiky nebo nerovnost vozovky. [1] [2] [20]



Obrázek č. 38 - střed klonění nápravy McPherson (šikmá poloha)

### Vertikální pohyb kola při propérování

Při jízdě po vozovce a tlumení nerovností se tlumič zasouvá a vysouvá. Tento pohyb lze vyčíslit průměrně v rozmezí 0 – 28 mm. Nejčastější kmit při jízdě po komunikaci je 0 mm – 15 mm. Tento pohyb je stěžejní pro tuto diplomovou práci, protože díky němu a přidanému elektromotoru bude možno generovat elektrický proud. Jde tedy o to, jakou průměrnou výchylku má tlumič za jednotku času. Rozmezí 0 mm až 28 mm je uvažováno pouze jako nejčastější. V extrémních případech může být ovšem znatelně vyšší a proto musíme počítat při návrhu umístění elektrického generátoru s tím, že tlumič může propružit až na své maximum. Díky pevnému upevnění tlumiče v uložení horním i dolním můžeme předpokládat, že tlumič se pohybuje pouze vertikálně a umístit na něj generátor elektrické energie, který se může pohybovat pouze v jednom směru – ze shora dolů.



Obrázek č. 39 – znázornění pohybu pístnice tlumiče

## 4 Elektromotory a generátory elektrické energie vhodné pro zástavbu do vozidla

Elektromotor je stroj, který dokáže měnit elektrickou energii na mechanickou práci, nebo i naopak dokáže z mechanické práce vygenerovat elektrický proud. Ten dokáže generovat generátory, alternátory nebo dynama. Většina motorů dokáže fungovat jako motor, ale i jako generátor. Rozhoduje zde konstrukce daného motoru. Některé dokáží samočinně přecházet z motorického do generátorického režimu. Díky těmto vlastnostem dokáží brzdit pomocí rekuperace, tzn., že se elektrická energie vrací zpět do elektrické sítě nebo do akumulátoru. Motory fungují na principu využívání silového účinku magnetického pole. Dochází k vzájemnému přitahování a odpuzování elektromagnetů a železa. Polarita a síla elektromagnetu je ovlivněna velikostí elektrického proudu. Dnešní elektromotory jsou nejčastější točivé, ale vyskytují se i s jiným typem pohybu. Jedním z nich je lineární elektromotor. [21] [22] [23]

### 4.1. Samotný princip elektromotoru

Většina dnešních elektromotorů používá již zmíněné silové účinky magnetického pole. Na vodič, kterým protéká elektrický proud a nachází se v magnetickém poli, působí síla úměrná kolmé ortogonální složce magnetické indukce a velikosti elektrického proudu tekoucího vodičem. Tím tedy na sebe vzájemně působí dvě magnetická pole ve společném obvodu. Využívá se zde tedy vzájemné přitahování a odpuzování dvou elektromagnetů. Sílu a polaritu magnetů ovlivňuje protékající elektrický proud. Působením elektromagnetické síly na vodič se uvádí do pohybu, protíná magnetické siločáry a tím je indukováno elektrické napětí. Velmi podobně to vypadá i u vodiče, který leží v proměnném magnetickém poli. Tento jev je viditelný při brždění nebo při motorickém i generátorickém chodu stroje. [21] [22] [23]

Elektromotor má 3 režimy, při jakých funguje. Prvním je motorický, kdy tedy přeměňuje odebranou elektrickou energii na mechanickou. Zdrojem elektrické energie je baterie, generátor nebo elektrická síť. Druhý režim je opačný než první, tedy přeměnění mechanické energie na elektrickou. Třetí režim funguje jako brzda, kdy motor může mechanicky brzdit pohyb. Stroj odebrá elektrický výkon ze zdroje a odebraný výkon působí proti mechanickému výkonu, tzn. proti mechanickému pohybu. Tato energie se ukazuje ve formě tepla, proto brzdný režim nesmí být využíván dlouhodobě. [23]



### Základná časti motoru:

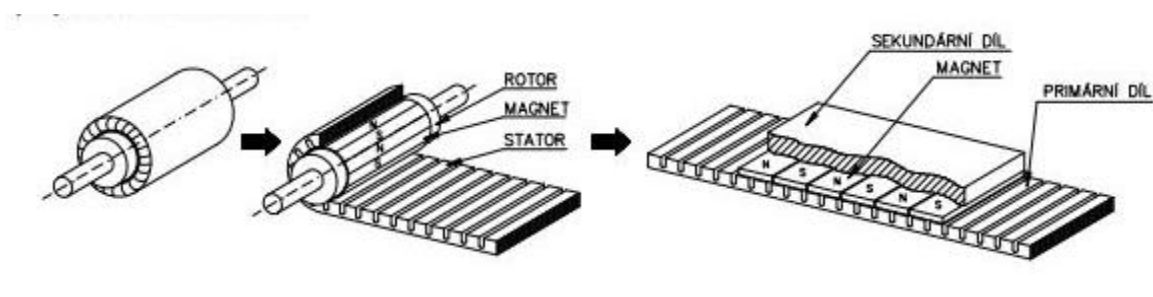
Stator (primárny) – pevná vonjšia časť motoru. Skladá sa z cievok a magnetického obvodu.

Rotor (sekundárny) – pohyblivá časť motoru s magnetickým obvodom. [23]

Pro tuto diplomovou práci je však vhodný pouze jeden typ elektromotoru. Tím je lineární elektromotor a to z těchto důvodů. Rotační elektromotor by potřeboval řádné přepákování. To není možné z několika aspektů. První je relativně malá pracovní plocha pro upevnění mechanismu na tlumič vozidla. Druhý je ztráta energie v mechanismu přepákování a tím snížení účinnosti systému. Pro nedostatek místa u přední nápravy z důvodu otáčení tlumičů pro zatáčení kol, tento systém budeme aplikovat na zadní tlumiče. Z těchto důvodů zde použijeme speciální, ne tak často používaný lineární motor.

## 4.2. Lineární elektromotor

Je to elektrický motor, který nevyužívá rotačního pohybu, ale posuvného. Jde tedy o netočivý elektrický stroj bez rotačních součástí. Je to mnohápólový motor, kde jsou stator i rotor v rovině podél pojezdové dráhy mechanismu. Magnetický obvod je přerušen miniaturní vzduchovou mezerou, která je zde pro oddělení pohyblivých a nepohyblivých částí stroje. Motory se vyznačují vysokou dynamikou, rychlostí posuvu a kompaktním uspořádáním. Díky své konstrukci je zde absence mechanických převodů, a tím se eliminují vůle, mechanické opotřebení a nepřesnost polohování. [22] [24] [25] [27]

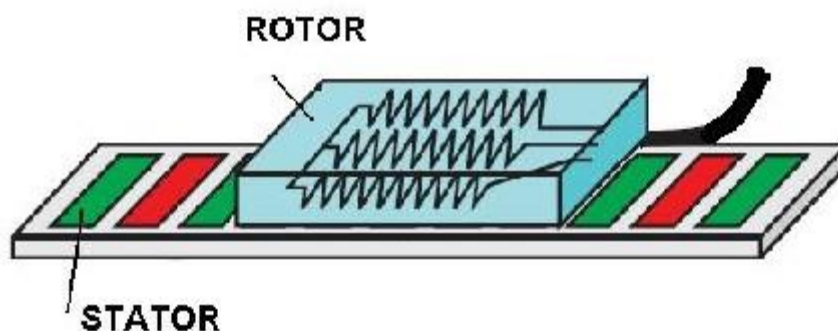


Obrázek č. 40 – lineární elektromotor si můžeme představit jako motor rozvinutý do roviny tak, jak zobrazuje obrázek

Tento typ motoru také funguje na principu magnetické indukce. Stator i rotor je rozvinut do délky stroje. Můžeme mít dvě možnosti, a to pohyblivý stator a statický rotor nebo naopak. Nezáleží ani na tom, která z těchto částí je napájena. Záleží na konkrétní situaci. Po celé délce pojezdové dráhy mechanismu je rozvinut stator. Rotor překrývá jen určitou část statoru a je na



posuvné části mechanismu (v našem případě naopak). Rotor a stator jsou uloženy bezkontaktně. [22] [24] [25]

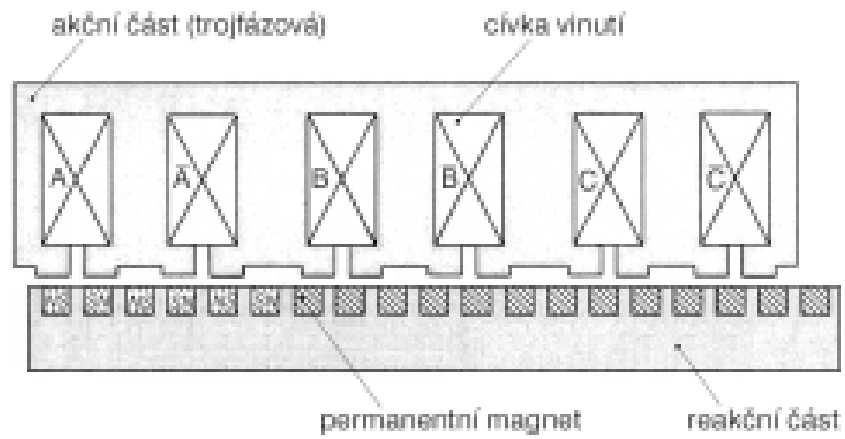


Obrázek č. 41 – popis částí lineárního motoru

Stator je tvořen stejně jako u rotačních strojů feromagnetickým svazkem složeným z transformátorových plechů z magneticky měkkého materiálu a trojfázového vnutí. Proti napájené straně je umístěna část s permanentními magnety, tvořených ze vzácných kovů – např. sloučenina Nd-Fe-B. Přivedením proudu do aktivně pohyblivé části vznikne spřažené magnetické pole mezi oběma částmi. Vyvolá silové účinky a rozpožbuje mechanismus. V našem případě zde půjde o rozhybání mechanismu, který vygeneruje elektrickou energii a vrátí ji zpět do obvodu nebo akumulátoru. [22] [24] [25]

#### 4.2.1. Synchronní lineární elektromotory

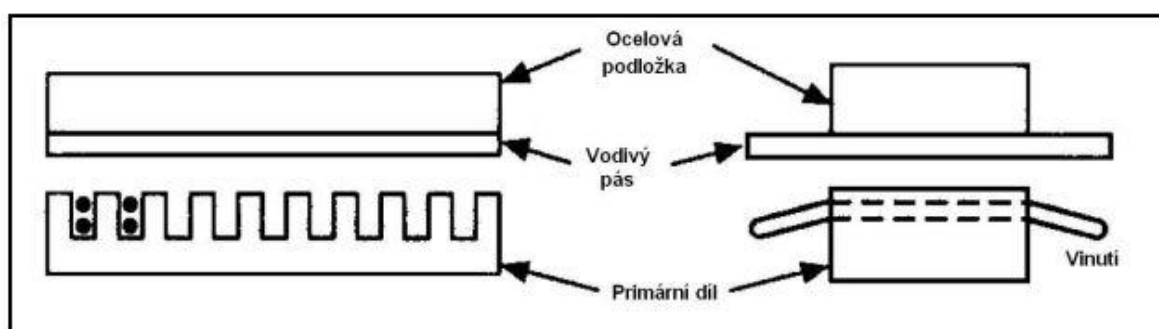
Synchronní motor = rotor se otáčí současně (synchronně) s rotací magnetického pole. Tento typ motoru je buzen permanentním magnetem. Nejčastěji používaný magnet je již zmíněný Nd-Fe-B. Permanentní magnety jsou vyskládány vedle sebe na rotoru a vnutí je rozloženo na statoru. Proudů u jednotlivých fází jsou zde využity jen k vývinu síly – využití vnutí je lepší. Odporové ztráty jsou pouze ve statoru, proto jsou menší než u asynchronního motoru. Vinutím protéká stejnosměrný proud. Přitažlivá síla mezi státorem a rotorem je u synchronního motoru značně vyšší než u asynchronního a zůstává prakticky konstantní v zapnutém i vypnutém stavu. Magnety jsou chráněny před okolními vlivy tím, že jsou zalaty do umělé hmoty. [24] [25]



Obrázek č. 42 – synchronní lineární elektromotor

#### 4.2.2. Asynchronní lineární elektromotory

Asynchronní motor = rotor se za rotací magnetického pole zpožďuje (má tzv. skluz). Stator u tohoto typu motoru je obdobný jako u synchronního, obsahuje však svazek železných lamel s drážkami, do kterých je umístěno střídavé třífázové vynutí zapojené nejčastěji do hvězdy. Rotor je jednodušší než u synchronního motoru. Je složen buď z dynamo plechů s drážkami na uložení měděné tyče propojené na krátko nebo z hliníkového/měděného pásu připevněného na ocelovou podložku. Pro zajištění vlastního magnetického pole je do rotoru indukovan proud ze statoru. Asynchronní motor funguje na indukčním principu, a proto u něj vznikají Jouleovy ztráty vyvolané magnetizačními proudy ve statoru a indukovanými v rotoru. U tohoto typu motoru dochází ke zvlnění posuvné síly v každém provozním stavu, i ve stavu klidovém. Zvlnění je u asynchronního vyšší než u synchronního. Ve vypnutém stavu je asynchronní motor magneticky pasivní. [24] [25]



Obrázek č. 43 – Asynchronní elektromotor

### 4.3. Elektromotor pro využití na Škodě Octavia III

Na trhu lze nalézt spoustu lineárních elektromotorů, ale zcela ne všechny by vyhovovaly tomuto projektu.

#### Základní obecné parametry elektromotorů: [27]

Lineární elektromotor:

- statický rotor
- pohyblivý stator
- umístěn v plastovém ochranném obalu proti prachu, vodě a nečistotám

Lineární motory disponují:

- vysokou dynamikou
- rychlostí posuvu
- přesnost polohování

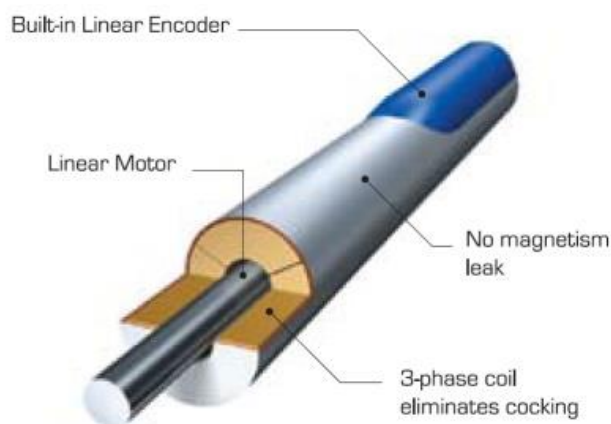
nevýhody:

- částečně otevřený magnetický obvod
- náročnější konstrukce
- cena

#### 4.3.1. Lineární elektromotory vhodné pro umístění na vozidlo

##### Elektromotor ve tvaru válce

Jeden z předních světových výrobců elektromotorů je americká firma IAI. Vyrábí válcové pohony/mikropohony pod označením RCL. Velikost se liší podle provedení, ale vyrábí i velikost, která by byla vhodná v poměru k tlumiči a umístění na něj. Zdvih má naprosto ideální a to od 0 mm až do 40 mm. Značnou nevýhodou tohoto provedení je omezení zdvihu, protože při propružení nápravy v extrémních (okrajových) hodnotách by došlo k deformaci elektromotoru. U tohoto typu není možnost umístit elektromotor na tlumič tak, aby byl využíván pouze v rozmezí, na které je konstruován a nebyl přetěžován a poničen. Elektromotor má totiž pevný obal, a pístnice by projela skrze obal a motor zničila. Proto tento typ elektromotoru není vhodný pro montáž na zvolený vůz. [26]



Obrázek č. 44 – válcový lineární elektromotor

### Posuvný elektromotor

Pro montáž na vozidle bude nejlepší variantou právě tento elektromotor. Velikou výhodou je možnost volby, která část bude pohyblivá a která statická. Kvůli maximálnímu propružení musíme počítat s vyšším rozmezím než zmiňovaných 0 mm až 28 mm. Díky tomu, že zvolíme pohyblivý stator a statický rotor je tento problém vyřešen (viz další kapitola Návrh zástavby elektromotoru do vzorového vozidla). Tento typ elektromotorů vyrábí například firma RAVEO, ISEL a HIWIN.

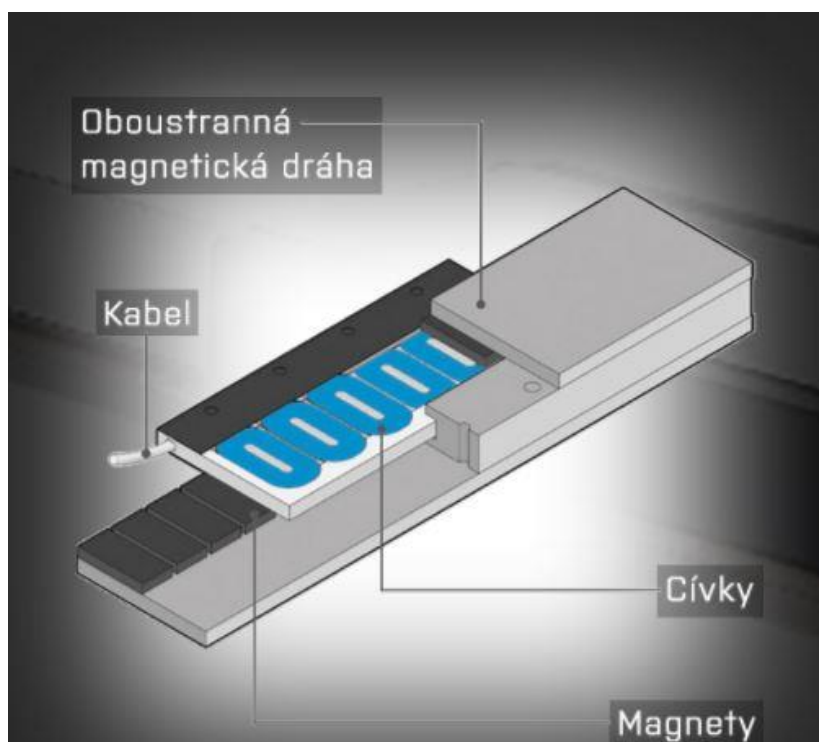


Obrázek č. 45 – lineární elektromotor

### 4.3.2. Parametry běžného elektromotoru vhodného pro umístění na vozidlo

Napájení	12 V
Proud	3 A
Rychlost posuvu	1 - 100 mm/s
Pracovní teplota	- 25 °C až + 65 °C
Minimální rozsah	0 - 28 mm

Tyto parametry charakterizují relativně dobře dostupný, již vyrobený motor. Požadovaný elektromotor by však bylo potřeba nechat zakázkově vyrobit u výrobce, aby splňoval výše zmíněné parametry a námi potřebné rozměry. Výsledné parametry elektromotoru, který by se použil v navrženém systému, se může lišit v některých parametrech, aby bylo dosaženo větší účinnosti. Proto je možné, že výsledný elektromotor pro montáž na vozidlo bude lehce odlišný. Odhadovaná hmotnost elektromotoru by byla 1,1 kg bez ochranných pouzder, které by byly aplikovány pro delší životnost mechanismu. Cena při sériové výrobě by neměla přesahovat částku 2000 Kč. Při umístění elektromotoru na oba zadní tlumiče bychom získali dvojnásobně vysoké dobíjecí hodnoty.



Obrázek č. 46 – řez lineárním elektromotorem

## 5 Návrh zástavby elektromotoru do vzorového vozidla

Umístit mechanismus na přední tlumič by bez větších úprav nebylo možné, protože vpředu se tlumič vyklání při vytočení kola v jeho uložení. Tím se zmenší pracovní plocha, kam by bylo možné mechanismus umístit. Uprostřed pružiny u často používaného typu nápravy McPherson bohužel není dostatek místa. Pokud by byl i přesto připevněn k tlumiči, v extrémních situacích jako je maximální propružení a větší vytočení kola by hrozilo poškození mechanismu. Z tohoto důvodu je zde konstrukčně navrženo a popsáno pouze připevnění k zadnímu tlumiči.

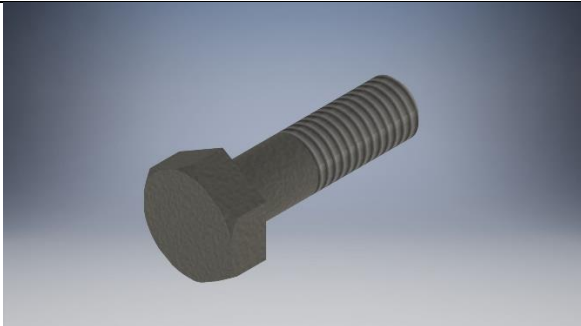
Mechanismus je konstruován tak, aby byl odnímatelný a bylo možné ho přendat z tlumiče na tlumič. Díky tomu nebude potřeba vyrábět speciální tlumiče a tím bude snížena finanční náročnost a dostupnost,

K přesnější vizualizaci a popisu umístění s montáží nám pomůžou zhotovené 3D modely, které jsem vytvořil pomocí programu CIVIL 3D. Elektromotor jsme použili takový, kde je rotor statický a připevněn k tělu tlumiče. Stator je pohyblivý spolu s pístnicí a protíná rotor. Díky pohybu nahoru a dolů zde vzniká pohyb mezi státorem a rotorem a tím tedy ke generování elektrického proudu.




Obrázek č. 47 – 3D model soustavy

Na obrázku č. 47 je vidět rozložený navrhnutý mechanismus. Skládá se z horního uložení, pomocí kterého se upevní celý tlumič včetně mechanismu do karoserie. Tlumič je do uložení upevněn matkou, která je našroubovaná v závitě na vršku pístnice. Uložení jako takové je dále upevněno pomocí dvou šroubů. Tyto šrouby však mají rozdílné délky, viz tabulky č. 1 a č. 2, protože jeden z těchto šroubů upevňuje celý stator. Díky upevnění v horní části tlumiče se stator může pohybovat a kopírovat pohyb pístnice, která zajíždí do tlumiče.

Součástka	Parametry
šroub M10x35	délka – 35mm
 <p>Obrázek č. 48 – šroub M10x35</p>	šířka hlavy – 10 mm
	materiál – ocel
	nástroj – stranový klíč velikosti 10 - nástavec o velikosti 10
	využití – šroub je použitý pro upevnění celé soustavy přes uložení do karoserie vozidla na straně kde je upevněn stator, proto je o 5 mm delší než druhý

Tabulka č. 1 – šroub karoserie vozidla


Součástka	Parametry
šroub M10x30	délka – 30 mm
 <p>Obrázek č. 49 – šroub M10x30</p>	šířka hlavy – 10 mm
	materiál - ocel
	nástroj – stranový klíč velikosti 10 - nástavec o velikosti 10
	využití – šroub je použitý pro upevnění celé soustavy přes uložení do karoserie vozidla - na straně kde není upevněn stator

Tabulka č. 2 – šroub karoserie vozidla

Jádrem celé konstrukce je samotný tlumič s pístnicí, který tvoří hlavní kostru. Na tělo tlumiče je upevněn zbytek mechanismu. Kromě horního uložení je tlumič upevněn pomocí vysokopevnostního šroubu (tabulka č. 3), který prochází skrze pryžový silentblok v hliníkovém pouzdře do těhlice zadního kola.



Obrázek č. 50 – zadní tlumič

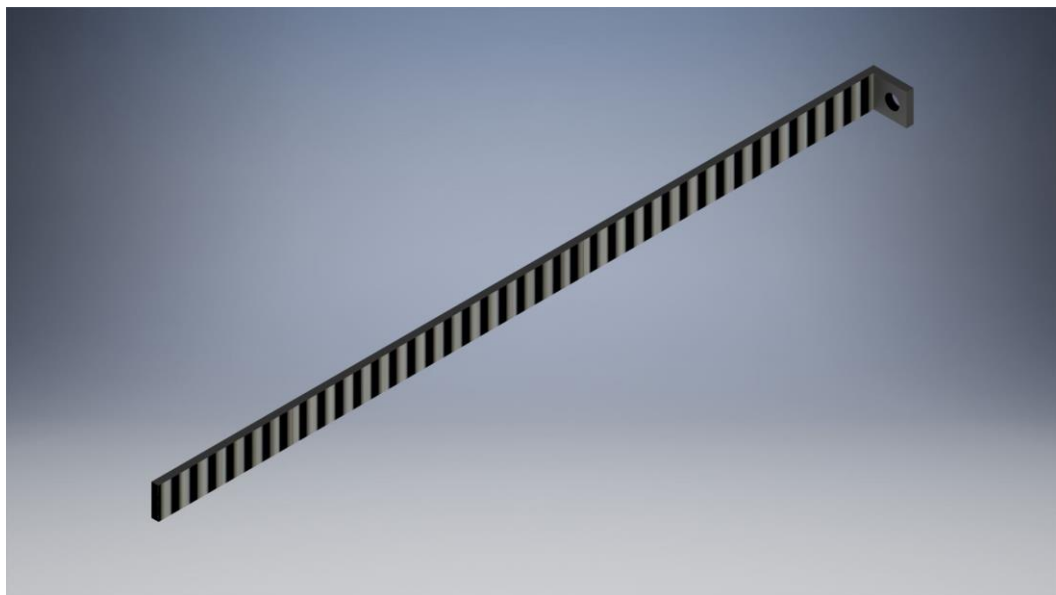
Součástka	Parametry
šroub M10x70	délka – 70 mm
	šířka hlavy – 10 mm
	materiál – pevnostní ocel
	nástroj – stranový klíč velikosti 10 - nástavec na gola sadu velikost 10
	využití – šroub je použitý pro upevnění tlumiče do náboje kola – těhlice - šroub je silně namáhán, proto je zde využita pevnostní ocel

Obrázek č. 51 – šroub M10x70

Tabulka č. 3 – šroub do těhlice



Již zmíněný stator, který je upevněn v horním uložení, je vyroben ze speciálního magneticky měkkého materiálu. V dolní části protíná rotor, který je pevně přichycen, avšak odnímatelně k tělu tlumiče. Stator prochází skrze rotor a pokračuje dále rovnoběžně podél tlumiče. Je to z důvodu pohybu samotného tlumiče. Kdyby rotor byl dole uzavřen a stator by nemohl volně vyjíždět v dolní části, mohl by se rotor poškodit při extrémních situacích. Tlumič totiž sám o sobě pracuje na mnohem větších posunech, než lineární elektromotor potřebuje. To znamená, že při větším propružení tlumiče na velké nerovnosti nedojde k poškození rotoru. Rotor je připevněn pevně pomocí dvou svorek, které lze povolit šroubem viz tabulka č. 4. Díky tomu je možné celý mechanismus odebrat z tlumiče a přendat ho na jiný.

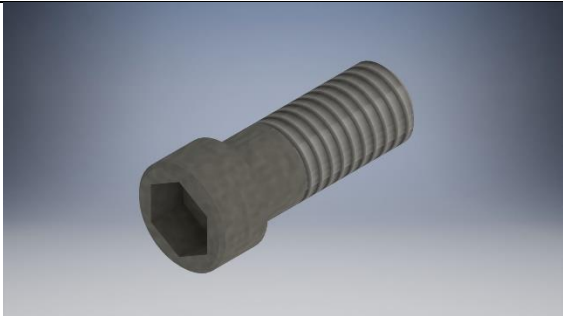


Obrázek č. 51 – stator lineárního elektromotoru

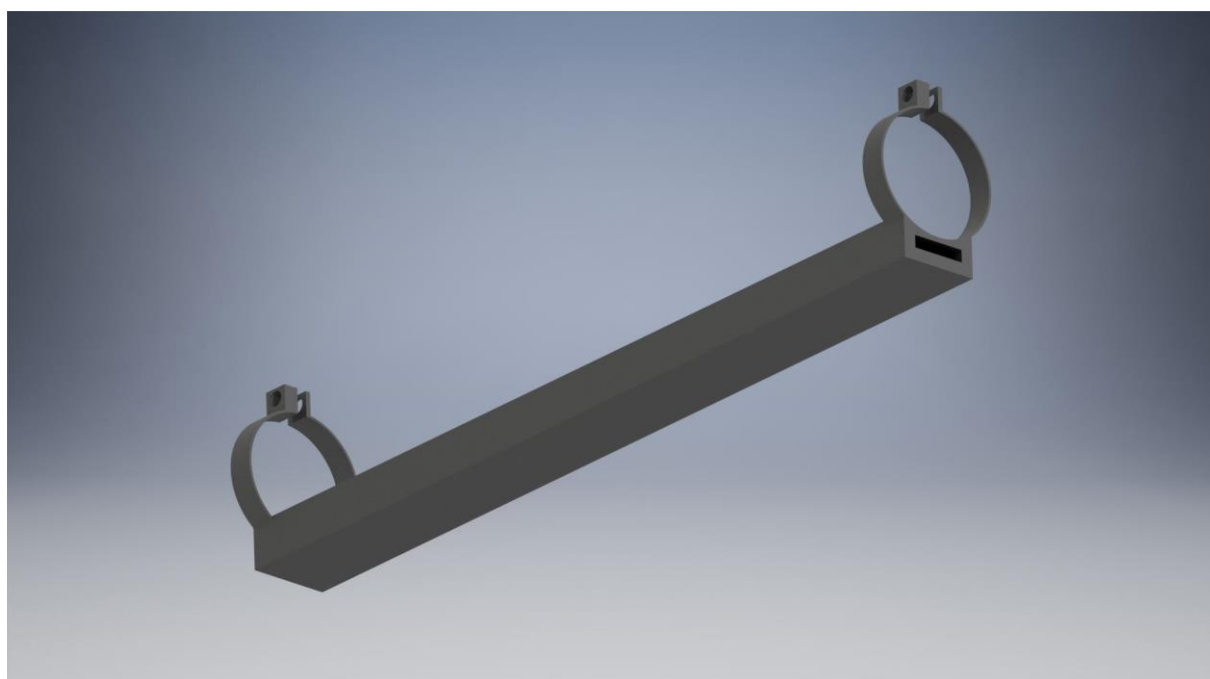


Obrázek č. 52 – rotor lineárního elektromotoru

Stator však musí být chráněn proti okolním vlivům. Vzhledem k tomu, že celý mechanismus je umístěn na podvozku vozidla, je zřejmé, že zde přijde do styku nejen s prachovými částicemi, ale i s vodou a ostatními vlivy. Z tohoto důvodu je i pístnice tlumiče opatřena takzvanou prachovkou, která drží pístnici v čistotě a prodlužuje životnost tlumiče. Obdobně by byl skryt stator a pístnice v horní části. Buď by každý komponent měl svou prachovku, nebo by byla jedna prachovka s dvěma vstupy a výstupy. Pro spodní část statoru je v mechanismu umístěn plastový kryt, do kterého se bude stator zasouvat. Je vyroben z černého polymeru o tloušťce 2mm a taktéž přichycen k tlumiči pomocí dvou svorek, aby ho bylo možné demontovat.

součástka	parametry
šroub M6x20	délka – 20 mm
	šířka hlavy – 8 mm
	materiál - ocel
	nástroj – nástavec imbus 6 mm
	využití – šroub je použitý pro utažení svorky, která je připevněna ke krytu statoru a k samotnému rotoru.
Obrázek č. 53 - šroub M6x20	

Tabulka č. 4 – šroub použitý ve svorce



Obrázek č. 54 – polymerový ochranný kryt statoru

Na posledních dvou obrázcích č. 55 a č. 56, je celý mechanismus smontován a připraven pro montáž na vozidlo. Je zde zobrazen ve dvou úhlech, aby bylo dobře viditelné rozložení a upevnění součástí.



Obrázek č. 55 – 3D model sestaveného mechanismu



Obrázek č. 56 – 3D model sestaveného mechanismu

## 5.1 Odhadované ceny součástek

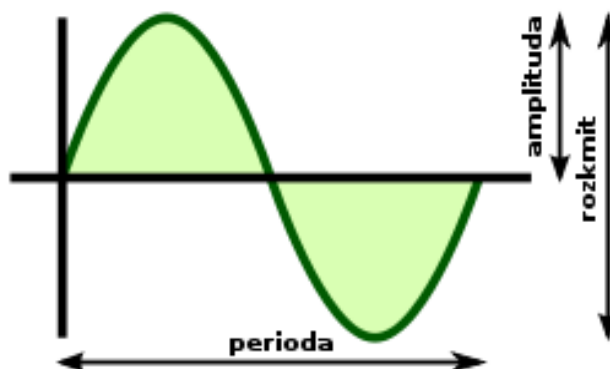
seznam součástek	odhadovaná výrobní cena
šroub M6x20	5 Kč
šroub M10x30	již montovaný a součást ceny vozidla – cena dle výrobce
šroub M10x35	11 Kč
šroub M10x70	již montovaný a součást ceny vozidla – cena dle výrobce
tlumič	již montovaný a součást ceny vozidla – cena dle výrobce
elektromotor (stator + rotor)	podle porovnání cen jiných druhů – 2 000 Kč
polymerový kryt statoru	záleží na přesném typu polymeru – 50 Kč

Tabulka č. 5 – přehled cen komponentů

Z uvedených cen je zřejmé, že finanční náročnost mechanismu by příliš vysoká nebyla. Záleží však na výrobcí, jak drahý bude doprovázející výzkum a jakou marži si na výrobku přirazí. Pokud by však šlo o sériovou výrobu, cena by se mohla pohybovat v řádech tisícikorun, což je velice pěkná cena. Co se týče celé hmotnosti systému, v celkové hmotnosti auta by měla být zanedbatelná. Celý systém na jeden tlumič by vážil do 2 kg.

## 6 Odhadovaná účinnost elektromotoru

Účinnost bude odhadnuta při pohybu tlumiče ze základní polohy. Tlumič protlumí ze základní polohy, zaznamenáme výchylku v mm a poté se zpět vrátí do původní polohy. Pro odhad jsme stanovili délku v mm – 15 mm, 30 mm a 50 mm. Při tomto pohybu je tedy perioda 30 mm, 60 mm a 100 mm. Rychlá reakce tlumiče je, že za 0,5 s zvládne urazit tuto periodu, pomalejší pohyb je za 1 s a 2 s. V tabulce č. 6 je přehled vzdáleností, čas periody a vypočítaná rychlost, kterou elektromotor v pohybu může dosáhnout.



obrázek č. 57 – graf se znázorněnou periodou

dráha [mm]	perioda [s]	rychlost [mm/s]	perioda [s]	rychlost [mm/s]	perioda [s]	rychlost [mm/s]
15 mm	0,5 s	60 mm/s	1 s	30 mm/s	2 s	15 mm/s
30 mm	-	-	1 s	60 mm/s	2 s	30 mm/s
50 mm	-	-	1 s	100 mm/s	2 s	50 mm/s

Tabulka č. 6 – vypočtené rychlosti v periodě

Z tabulky vyplývá, že rychlost pohybu při průměrné jízdě dosahuje hodnot od 15 mm/s až po 100 mm/s. Nejvyšší rychlost 100 mm/s uvažujeme při extrémnějších situacích a při jízdě po vozovce nebude moc častá. Nastane při průjezdu velkou nerovností nebo při jízdě v terénu. Nejčastější rychlost se bude pohybovat od 15 mm/s do 60 mm/s. Při parametrech elektromotoru, který se dá běžně pořídit a při 12V a 3A je schopný vyvinout posuvnou rychlost o hodnotě 10,2 mm/s. Při opačné funkci, tedy generování elektrické energie by byla rychlost vyvinutá při propružení dostačující, ne-li vyšší. Vhodnější by ovšem bylo vyvinout elektromotor, který splňuje rozmezí mezi vypočítanými rychlostmi a tím by se zvýšila účinnost celého systému. Při montáži na vozidlo bude na zadních tlumičích umístěna dvojice elektromotorů.

Při použití běžně dostupného elektromotoru by vzniklo generované napětí o velikosti 2x 3A při cca 12V, což je více než dostačující napětí a proud pro dobíjení akumulátoru nebo pro doplnění energie do elektrického obvodu vozidla. Rychlost dobíjení akumulátorů závisí na napětí a proudu, čím vyšší proud je puštěn zpět do akumulátoru, tím rychleji se nabije. Tyto hodnoty jsou však za ideálních okolností a v praktickém měření se mohou lišit. Námi odhadovaných až 6A při jízdě po průměrně kvalitní vozovce je pro přídatný dobíjecí mechanismus již zajímavá hodnota, která je ale potřeba simulací ověřit.

Pro přesnější výpočet a stanovení přesnějších dobíjecích hodnot bychom potřebovali naměřit pohyb vozidla v čase, při kterém bychom zaznamenávali kmity tlumiče při jízdě s různými podmínkami. Výsledkem měření by poté byla křivka, která by znázorňovala kmity v mm za jednotku času. Dále bychom potřebovali vyrobit lineární elektromotor s funkcí generátoru, který by splňoval námi odhadnuté parametry. Při sjednocení těchto dat bychom se dostali k přesnějším číslům a zjistili účinnost navrhnutého zapojení lineárního elektromotoru na tlumič.

## 7 Doporučení

Při navázání na mou diplomovou práci je potřeba provést nejen simulaci, ale také určit co tento systém bude pohánět.

Při simulaci je samozřejmé, že laboratorní podmínky mohou mít jiné hodnoty než výsledky měření přímo na silnici. U tohoto systému závisí výroba elektrické energie na pohybu tlumiče. Nikdo přesně neví kam a po jakém povrchu se vozidlo bude pohybovat, proto je těžké opravdový přínos elektrické energie ověřit v laboratoři. V ní můžeme s přehledem ověřit různé jízdní režimy a jejich kombinace, ale nejpřesnější to bude přímo v praxi.

Pro tento systém je také potřeba vyrobit co nejvhodnější lineární elektromotor, který bude fungovat na námi navrženém principu. Tedy aby byl statický rotor a pohyblivý stator. Různými kombinacemi materiálu, z kterých je motor vyroben lze docílit jiných vlastností. Proto je zde možné pomocí testů zjistit, jaké potřebujeme přesné dobíjecí parametry a s jakou účinností se k nim může elektromotor blížit. Ovšem záleží také na využití přídavného systému, pokud by šlo o trvalé pohánění palubních systémů nebo o dlouhodobé dobíjení baterií u hybridních nebo plně elektrických vozidel, budou nároky na navrhovaný systém odlišné. Od toho by se odvíjel i vývoj a materiály lineárního elektromotoru a jeho vlastnosti.



## 8 Závěr

Po důkladném prostudování problematiky pérování je zřejmé, jaké typy odpružení a náprav jsou vhodné pro montáž navrhovaného mechanismu. U listových pružin by se musela využít jiná konstrukce. Navržený mechanismus nejlépe spolupracuje s tlumičem a vinutou pružinou. Po lehčích úpravách by ho bylo možné aplikovat na jakýkoliv zmíněný tlumič, který má tvar válce a funguje pouze ve vertikální poloze. Vzorové vozidlo Škoda Octavia III. generace má vzadu klikovou nápravu, u které by montáž mechanismu neměl být žádný problém. U ostatních typů náprav by neměl nastat také žádný problém s montáží.

Jedinou překážkou je přední náprava, která díky tomu, že kola vpředu vedou stopu a musí zatáčet, není vhodná pro umístění. Je to tak z několika důvodů. Prvním z nich je vyklopení tlumiče v uložení a tím zmenšení pracovní plochy pro umístění kolem tlumiče. Druhým je pružení, kdy by po montáži při vytočeném kole mohlo dojít k poškození systému o karoserii vozidla. Proto je tento systém nejvhodnější pro umístění vzadu na neřídící hnané či nehnané nápravě.

V minulosti se již v roce 2009 zajímali američtí vědci na tamní fakultě o podobný systém výroby elektřiny z odpružení vozidla. Jejich návrhem byl celý tlumič, který by měl ve svých útrobach systém pro generování elektrické energie. Ovšem finanční náročnost tohoto projektu byla značně vyšší a i přes funkční prototyp se přes testy nedostal k sériové výrobě. MechanisQ++ mus navržený v této diplomové práci by měl mít výhodu v nižší ceně a jednodušší montáži na vozidlo. Odhadované náklady pro výrobu tohoto mechanismu je řádově v jednotkách tisíců korun. Záleží ovšem na výrobcu jaké materiály by zvolil a jakou marži by při prodeji na systém uplatnil.

Tento systém je proto navržen s jednodušším principem. Instalace na vozidlo je velmi jednoduchá, stačí vyjmout zadní tlumič a osadit ho výše popsányými součástkami. Díky nepohyblivosti zadního tlumiče v jiných osách než ve vertikální, je jednoduché odvést pomocí kabelového svazku vyrobenou elektrickou energii do baterie nebo obvodu vozidla. Na 3D modelech je vidět, jak celý systém bude vypadat, z jakých částí se skládá a jak k sobě různé součástky budou připevněny.

Přestože vycházíme z reálných hodnot naměřených na tlumiči, nebylo však možné provést komplexní simulaci, proto jsou některé hodnoty odhadnuty. Pro přesné dobíjecí hodnoty by bylo potřebné vyrobit lineární elektromotor s možností rekuperace energie a pomocí simulátoru zjistit přesné hodnoty. Z odhadu ale vyplývá, že dobíjecí hodnoty při průměrném pohybu

tlumiče od 0 mm do 30 mm a při spočtených rychlostech pohybu, by byly dostačující. Ovšem záleží na povrchu vozovky, zároveň i na vibracích, které taky lehce hýbou tlumičem a na rozmezí účinnosti elektromotoru. Pro simulaci by stačila pouze čtvrtka vozidla s kolem a nápravou. Při testování by se mohly vyzkoušet různé jízdní režimy, jako je městský provoz, dálnice, lehčí terén nebo jejich kombinace. Věřím, že veškeré poznatky získané při tvorbě diplomové práce a navržená řešení využiji i v budoucnu ve své další práci.

## 9 Zdroje

[1] Automobily 1 Podvozky Ing. Zdeněk Jan, Ing Bronislav Žďánský nakladatelství Avid s.r.o Brno, vydáno 2004

[2] Podvozky motorových vozidel František VLK, Nakladatelství a zasilatelství VLK Brno 2001

[3] Úkoly pérování [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1484>>

[4] Druhy odpružení [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1485>>

[5] Druhy pružin [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://www.spszengrova.cz/texty/texty/SIV/odpru%C5%BEn%C3%AD%20automobilu-UT.pdf>>

[6] Odrpužení vozidel [online], Dostupné z:  
<[http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Odpruzeni\\_s\\_obrazky.pdf](http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Odpruzeni_s_obrazky.pdf)>

[7] Odrpužení [online], WIKIPEDIA Dostupné z:  
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/Odpru%C5%BEn%C3%AD>>

[8] Odrpužení [online], Auto.cz Dostupné z:  
<<http://www.auto.cz/perovani-houpy-hou-66689>>

[9] Pneumatiky [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1489>>

[10] Tlumiče pérování [online]. Autorozvody, Dostupné z:  
<<http://www.autorozvody.cz/autopedie/tlumice.html>>

[11] Tlumiče [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1486>>

[12] Odpružení vozidla [online]. Autoopravy, Dostupné z:  
<<http://www.autoopravy.eu/index.php?akce=2&id=65>>

- [13] Systém BOSE [online]. VUTBR, Dostupné z:  
<[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=17783](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17783)>
- [14] Systém BOSE [online]. VUTBR, Dostupné z:  
<[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16256](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16256)>
- [15] Systém BOSE [online]. Autoforum, Dostupné z:  
<<http://www.autoforum.cz/technika/neilepsi-zname-odpruzeni-kol-aut-je-stare-13-let-proc-se-dodnes-nevyrobi/>>
- [16] Nápravy [online]. Autolexicon, Dostupné z:  
<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/zaveseni-kol/>>
- [17] Nápravy [online]. Auto5p , Dostupné z:  
<<https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>>
- [18] Nápravy [online]. Eluc, Dostupné z:  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1482>>
- [19] Odrpužení [online], WIKIPEDIA Dostupné z:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda\\_Octavia](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_Octavia)>
- [20] Nápravy [online]. Autolexicon, Dostupné z:  
<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>>
- [21] Elektromotory [online]. Wikipedia, Dostupné z:  
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>>
- [22] Lineární elektromotory [online]. Wikipedia, Dostupné z:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A1rn%C3%AD\\_elektromotor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A1rn%C3%AD_elektromotor)>
- [23] Lineární elektromotory [online]. Navijarna, Dostupné z:  
<<http://www.navijarna.com/clanky/co-je-elektromotor.html>>
- [24] Lineární elektromotory [online]. VUES, Dostupné z:  
<[http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz\\_lin-obecne\\_020909.pdf](http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz_lin-obecne_020909.pdf)>

[25] Lineární elektromotory [online]. Odborné časopisy, Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/tendence-vyvoje-v-oblasti-prumyslovych-elektricky-linearnich-pohonu-1--14181>>

[26] Lineární elektromotor [online], Automatizace Dostupné z:  
<<https://automatizace.hw.cz/miniaturni-linearni-mikropohony-rcl-ve-tvaru-pneumatickeho-valce>>

[27] Lineární elektromotor [online], Projekty Pavel Lasko Dostupné z:  
<<http://pavel.lasakovi.com/projekty/elektrotechnika/linearni-motor/>>

## 10 Seznam obrázků

- Obrázek 1. Základní rozměry vozidla  
<<http://www.au0074olexicon.net/cs/articles/zakladni-rozmary-vozidel/>>
- Obrázek 2. Znárodnění kmitání  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1484>>
- Obrázek 3. Přehled typů odpružení  
< <http://auta123.717.cz/thema/pruziny>>
- Obrázek 4. Popis listové pružiny zdroj obrázku  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1485>>
- Obrázek 5. Umístění listové pružiny na vozidle  
<<http://www.multicar-west.cz/kprodeji.html>>
- Obrázek 6. Vinuté pružiny  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1485>>
- Obrázek 7. Různé poloměry vynutí u vinutých pružin  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1485>>
- Obrázek 8. Umístění zkrutné tyče na vozidle Tatra  
<<http://tatra.webz.cz/perovani.htm>>
- Obrázek 9. Schéma zkrutné tyče na vozidle  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 10. Umístění pryžové pružiny  
<<http://www.strojar-inovator.sk/images/0.rocnik-2014/projekt-11/3.jpg>>
- Obrázek 11. Pneumatická pružina  
<<http://www.rubena.cz/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>>
- Obrázek 12. Řez hydropneumatickou pružinou  
<[https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz\\_18.gif](https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz_18.gif)>
- Obrázek 13. Umístění stabilizátoru na zadní nápravě  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 14. Řez pneumatikou  
<<http://www.pneu-poradna.cz/vse-o-pneu/konstrukce-pneumatiky>>
- Obrázek 15. Graf ze zkoušky tlumičů  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 16. Řez jednoplášťovým tlumičem  
<<http://www.autorozvody.cz/autopedie/tlumice.html>>
- Obrázek 17. Řez dvouplášťovým tlumičem  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1486>>
- Obrázek 18. Průřez elektricky ovládaného tlumiče  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 19. Schéma ovládnání elektronicky ovládaného tlumiče  
<<http://docplayer.cz/docs-images/39/20189704/images/19-0.png>>

- Obrázek 20. Tlumič systému BOSE  
<<http://www.autoforum.cz/technika/nejlepsi-zname-odpruzeni-kol-aut-je-stare-13-let-proc-se-dodnes-nevyrobi/>>
- Obrázek 21. Tlumič systému BOSE v podběhu kola  
<<http://www.autoforum.cz/technika/nejlepsi-zname-odpruzeni-kol-aut-je-stare-13-let-proc-se-dodnes-nevyrobi/>>
- Obrázek 22. Systém BOSE na vozidle  
<<http://www.autoforum.cz/technika/nejlepsi-zname-odpruzeni-kol-aut-je-stare-13-let-proc-se-dodnes-nevyrobi/>>
- Obrázek 23. Panhardská tyč  
<<https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>>
- Obrázek 24. Wattův přímovod  
<<https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>>
- Obrázek 25. Lichoběžníková náprava  
<<https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>>
- Obrázek 26. Schéma zkrutné tyče na vozidle  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 27. Kliková náprava  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1482>>
- Obrázek 28. Kyvadlová náprava  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1482>>
- Obrázek 29. Náprava De dion  
<<https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>>
- Obrázek 30. Náprava McPherson  
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1482>>
- Obrázek 31. Víceprvková náprava  
<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/viceprvkova-naprava/> >
- Obrázek 32. Škoda Octavia III generace  
<<https://www.annonce.cz/komodity/osobni-vozidla/skoda/octavia.html>>
- Obrázek 33. Škoda Octavia III generace  
<<https://www.annonce.cz/komodity/osobni-vozidla/skoda/octavia.html>>
- Obrázek 34. Přední náprava McPherson Škoda Octavia  
<<https://www.realoem.me/Skoda/CZ/OCT/2007/419/R/>>
- Obrázek 35. Kliková náprava vozidla Škoda Octavia III  
<<https://forum.skodahome.cz/topic/124845-zadn%C3%AD-n%C3%A1prava-klikov%C3%A1-a-v%C3%ADceprvkov%C3%A1/?page=5>>



- Obrázek 36. Zachycení boční síly a poloha středu klopení karoserie  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 37. Zachycení podélné síly  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 38. Střed klonění nápravy Mcpherson (šikmá poloha)  
*Podvozky motorových vozidel František VLK*
- Obrázek 39. Znázornění pohybu pístnice tlumiče  
<<http://www.autodilyhh.cz/cs-5Q0513049FF>>
- Obrázek 40. Lineární elektromotor si můžeme představit jako motor rozvinutý do roviny tak, jak zobrazuje obrázek  
<[http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz\\_lin-obecne\\_020909.pdf](http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz_lin-obecne_020909.pdf)>
- Obrázek 41. Popis částí lineárního motoru  
<<http://pavel.lasakovi.com/projekty/elektrotechnika/linearni-motor/>>
- Obrázek 42. Synchronní lineární elektromotor  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/tendence-vyvoje-v-oblasti-prumyslovych-elektrickych-linearnich-pohonu-1--14181>>
- Obrázek 43. Asynchronní elektromotor  
<[http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz\\_lin-obecne\\_020909.pdf](http://www.vues.cz/mt-content/uploads/2017/09/cz_lin-obecne_020909.pdf)>
- Obrázek 44. Válcový lineární elektromotor  
<<https://automatizace.hw.cz/miniaturni-linearni-mikropohony-rcl-ve-tvaru-pneumatickeho-valce>>
- Obrázek 45. Lineární elektromotor  
<<http://www.raveo.cz/linearni-motory-rada-ICH>>
- Obrázek 46. Řez lineárním elektromotorem  
<<http://www.linearni-motor.cz/>>
- Obrázek 47. 3D model soustavy
- Obrázek 48. Šroub M10x35
- Obrázek 49. Šroub M10x30
- Obrázek 50. Zadní tlumič
- Obrázek 51. Stator lineárního elektromotoru
- Obrázek 52. Rotor lineárního elektromotoru
- Obrázek 53. Šroub M6x20
- Obrázek 54. Polymerový ochranný kryt statoru
- Obrázek 55. 3D model sestaveného mechanismu
- Obrázek 56. 3D model sestaveného mechanismu
- Obrázek 57. Graf se znázorněnou periodou  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Perioda\\_\(fyzika\)#/media/File:Voltage\\_graph\\_cs.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Perioda_(fyzika)#/media/File:Voltage_graph_cs.svg)>

- Obrázek 58. 3D model sestaveného mechanismu  
Obrázek 59. 3D model sestaveného mechanismu

## 11 Seznam tabulek

### Tabulky

- |                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| Tabulka číslo 1. | Šroub karoserie vozidla       |
| Tabulka číslo 2. | Šroub karoserie vozidla       |
| Tabulka číslo 3. | Šroub do těhlice              |
| Tabulka číslo 4. | Šroub použitý ve svorce       |
| Tabulka číslo 5. | Přehled cen komponentů        |
| Tabulka číslo 6. | Vypočtené rychlosti v periodě |