

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**



**Možnosti odpružení vozidel**

**bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Miler, Ph.D.**

**Autor: Lukáš Holeček**

© 2016 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Holeček

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Možnosti odpružení vozidel

Název anglicky

Different types of vehicle suspension

---

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři, zabývající se odpružením motorových vozidel.

Metodika

- Prostudovat základní literaturu v oblasti odpružení motorových vozidel.
- Kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou.
- Provést globální literární rešerši v dané problematice.
- Vlastní rozbor problematiky odpružení motorových vozidel.
- Zhodnocení předpokládaného vývoje oblasti odpružení motorových vozidel.

**Doporučený rozsah práce**

30 stran

**Klíčová slova**

pérování, nápravy, rámy, tlumiče

---

**Doporučené zdroje informací**

1. KOVANDA, B., KOVANDA, J.: Aerodynamika vozidel, ČVUT Praha, 1996
2. VLK, F.: Koncepce motorových vozidel: Koncepce vozidel. Alternativní pohony. Komfortní systémy. Řízení dynamiky. Informační systémy. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2000. ISBN 80-238-5276-0
3. VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2001. ISBN 80-238-6573-0
4. Vlk, F.: Karoserie motorových vozidel: Ergonomika. Biomechanika. Pasivní bezpečnost. Kolize. Struktura. Materiály., Brno, 2000, ISBN 8023852779

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Petr Miler, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2015

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 6. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 01. 2016

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma: Možnosti odpružení vozidel vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31.3.2016

.....

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Milerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce a za čas, který mi věnoval při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce se zabývá tématem odpružení motorových vozidel. Jejím cílem je popsat odpružení z hlediska jeho vlastností, dále se práce věnuje jednotlivým typům odpružení, jejich konstrukci a principu fungování. Část práce se zaměřuje také na doplňující prvky odpružení a závěrem jsou uvedeny nové trendy odpružení v automobilovém průmyslu.

**Klíčová slova:** pérování, rámy, nápravy, tlumiče

## **Different types of vehicle suspension**

**Summary:** This bachelor thesis is focused on a topic of vehicle suspension. Its aim is to describe the vehicle suspension in term of its characteristics. Furthermore, the thesis is engaged in different types of suspension, its construction and principle of functioning. A part of the thesis is focused on complementary elements of suspension. Finally, some new trends of suspension in car industry are introduced.

**Keywords:** suspension, chassis, axle, shock absorbers

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Hlavní části motorových vozidel</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Historie odpružení</b> .....	<b>2</b>
<b>4 Konstrukční části podvozku</b> .....	<b>2</b>
4.1 Kola a pneumatiky .....	3
4.1.1 Kola.....	4
4.1.2 Pneumatiky .....	5
4.2 Zavěšení kol .....	6
4.3 Odpružení.....	7
4.4 Řízení .....	7
4.5 Brzdový systém.....	7
<b>5 Odpružení</b> .....	<b>8</b>
5.1 Účel odpružení .....	8
5.2 Činnost odpružení .....	9
5.2.1 Kmitání (vibrace).....	10
5.2.2 Zesílené kmitání.....	11
5.2.3 Frekvence kmitání.....	11
5.3 Charakteristiky odpružení .....	12
5.3.1 Lineární charakteristika .....	12
5.3.2 Progresivní charakteristika .....	12
5.3.3 Degresivní charakteristika .....	13
5.4 Ocelové pružiny .....	14
5.4.1 Listová pera.....	14
5.4.2 Vinuté pružiny .....	18
5.4.3 Zkrutné (torzní) tyče .....	20
5.5 Vzduchové (pneumatické) pružiny .....	21
5.5.1 Vlnovcové vzduchové pružiny .....	22
5.5.2 Vakové pružiny (rolling lobe).....	23
5.5.3 Použití vzduchových pružin.....	23
5.6 Hydropneumatické pružiny .....	24
5.7 Hydroelastické pružiny .....	26
5.8 Doplnující prvky .....	26
5.8.1 Pryžové pružiny .....	26
5.8.2 Tlumení.....	27
5.8.3 Stabilizátory.....	28

5.8.4	Dorazy odpružení.....	28
<b>6</b>	<b>Nové trendy.....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>32</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>33</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>37</b>



# 1 Úvod

Bezpečnost a komfort jsou důležitými vlastnostmi automobilů ovlivňující jejich produkci v dnešní době. Odpružení se na těchto charakteristických vlastnostech významně podílí. Jedná se o jednu z hlavních součástí podvozku, která zajišťuje ovladatelnost vozidla při kontaktu kol s vozovkou a zvyšuje tím bezpečnost jeho provozu. Účelem odpružení je také chránit posádku, případně náklad, před nežádoucími otřesy, a tím zabezpečit komfortní provoz vozidla.

Cílem této práce je charakterizovat odpružení z mnoha hledisek a popsat jednotlivé typy na základě rešerše literatury.

Počáteční část práce se krátce zabývá hlavními částmi motorových vozidel a historickým přehledem. V další kapitole jsou zpracovány jednotlivé konstrukční části podvozku a jejich funkce. Hlavní část textu je věnována odpružení, a to účelu, činnostem odpružení a jeho charakteristikám. V následujících kapitolách jsou na základě použitých materiálů rozděleny a popsány pružiny, jejich princip fungování a konstrukční řešení. V práci je rovněž objasněno, jaké využití a způsob fungování mají i prvky doplňující. Poslední kapitola nastíní nové trendy a možnosti v oblasti odpružení prostřednictvím zavádění nových prvků.

## **2 Hlavní části motorových vozidel**

Motorová vozidla, s menšími či většími rozdíly u osobních a nákladních vozidel, se rozdělují na určité hlavní části. Tyto části jsou: hnací soustava, podvozek, karoserie, příslušenství a výstroj s výbavou. Do spodní části vozidla, souhrnně nazývané podvozek, patří: pohonné ústrojí, převodové ústrojí a podvozek. Kola osazená pneumatikami, zavěšení kol, odpružení, řízení a brzdové ústrojí jsou části podvozku, které budou popsány v následujících kapitolách. [1]

## **3 Historie odpružení**

Odpružení vozidel má základ v odpružení koňských povozů a kočárů, které byly taženy nejčastěji koňmi. Původně tyto kočáry nebyly odpruženy vůbec. Jelikož byly osazeny dřevěnými loukoťovými koly, byly nepohodlné. Od této doby můžeme zaznamenat vývoj odpružení těchto povozů, nejprve u majetnějších vrstev. [2] V počátcích se nedosahovalo tak vysokých jízdních rychlostí, ale s jejich postupným nárůstem bylo odpružení stále více potřebné. Pro odpružení kočárů se zpočátku využívalo kožených pásů, které požadovaný pružící efekt splňovaly. Dalšími možnostmi odpružení byly dřevěné listové pružiny nebo ocelová listová pera, pro těžší kočáry. Tento princip odpružení se udržel až do dnešní doby, především kvůli svému samotlumícímu efektu. Na základě pérování kočárů byly vyvinuty první prototypy odpružení pro automobily. [3]

## **4 Konstrukční části podvozku**

Podvozek automobilu je tvořen těmito prvky: kolo a pneumatika, zavěšení kola, odpružení, řízení a brzdový systém (viz obrázek 1).

Kolo a pneumatika jsou části podvozku, které nesou hmotnost vozidla, přenáší síly a momenty mezi vozovkou a vozidlem. Pneumatika doplňuje pružící systém celého vozidla.

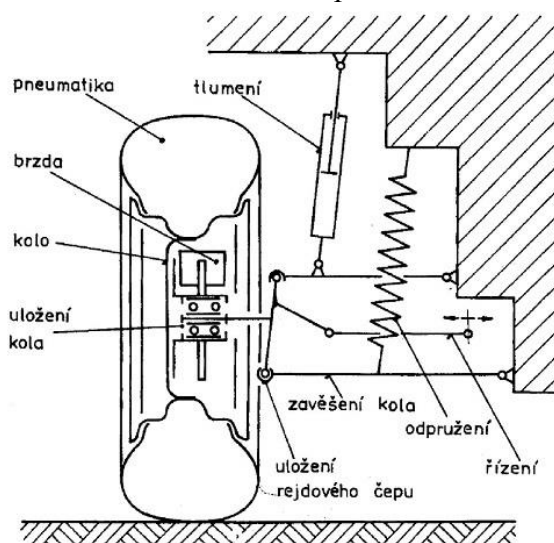
Zavěšení kola propojuje karoserii (rám) s koly a přenáší tak vlastní tíhu vozidla na samotná kola. Dále také přenáší na kola brzdný a hnací moment. Dalším úkolem zavěšení kol je umožnit odpružení vozidla nejčastěji pomocí pružiny, která je umístěná mezi zavěšením a karoserií, resp. rámem.

Odpružení se vyskytuje na vozidle za účelem zmírnění rázů, otřesů a namáhání karoserie krutem. Tyto rázy a otřesy vznikají v důsledku přejíždění nerovností vozidlem. Odpružení má na vozidle také za úkol udržet kola ve stálém styku s vozovkou, aby bylo možné přenášet za pomoci kol požadované síly a momenty na vozovku.

Řízení slouží ke změnám natočení řídicích kol do rejdu v důsledku natočení volantu řidičem, a tím se za pohybu vozidla mění směr jízdy nebo se naopak udržuje pohyb přímočarý. Řízení má dále za úkol umožnit rozdílný úhel natočení rejdových kol při průjezdu zatáčkou, aby nedocházelo ke smýkání kol po vozovce, ale pouze k jejich odvalování.

Brzdový systém hraje významnou roli v bezpečnosti provozu vozidla. Jeho funkcí je zajistit zpomalení, úplné zastavení nebo zajištění proti pohybu vozidla z klidové polohy. Zpravidla je brždění vyvoláno třením mezi statickými a rotujícími částmi tohoto systému. [4]

Obr. 1 Konstrukční části podvozku



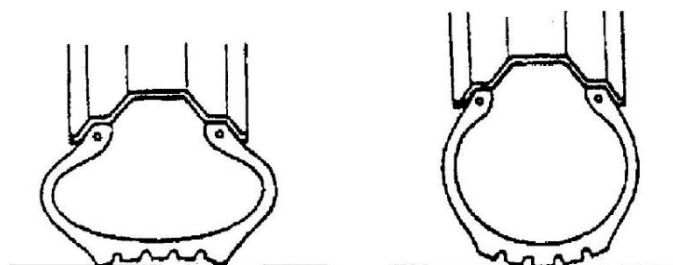
Zdroj: [1]

#### 4.1 Kola a pneumatiky

Kolo osazené pneumatikou je jediným spojením mezi vozidlem a vozovkou. Kvůli tomuto spojení je možné realizovat pohyb vozidla, při kterém dochází k přenášení točivého momentu od agregátu vozidla na silnici. Úroveň přenosu výkonu proto závisí na kvalitě styčné plochy pneumatiky a vozovky. Kola motorového vozidla přenášejí

veškerou hmotnost vozidla, posádky i nákladu na vozovku. Kola kromě hmotnosti přenášejí také boční síly spolu s hnacími a brzdícími momenty. Přenos těchto momentů a sil zajišťuje pneumatika, kterou je kolo osazeno. Pneumatika je svými vlastnostmi důležitým článkem v pružící soustavě vozidla. Má za úkol díky nim zajišťovat svými vlastnostmi pohodlí posádky a bezpečnost jízdy. Pneumatika nazutá na kole (ráfku) je nahuštěná tlakem, nejčastěji vzduchu. Může být naplněna i kapalinou (nemrznoucí směs nebo voda), která zajišťuje celkové vyvážení vozidla. Výrobce pneumatik stanovuje maximální tlak, jenž je na pneumatice vyznačen, aby nedošlo k poškození pneumatiky následkem přesáhnutí této hodnoty. Nedostatečný tlak v pneumatice je rovněž nevhodný. Přesáhnutí nebo nedosažení předepsaného tlaku (obrázek 2) snižuje životnost pneumatik, výrazně mění ovladatelnost vozidla, a tím i bezpečnost provozu na pozemní komunikaci. Nevhodným tlakem v pneumatice se mění velikost a tvar styčné plochy. Kolo s pneumatikou musí být staticky a dynamicky vyváжено, v opačném případě dochází k vibracím. Tato kmitání mohou v extrémním případě vést k neovladatelnosti vozidla. [5]

*Obr. 2 Znárodnění podhuštěné a přehuštěné pneumatiky*



*Zdroj: [1]*

#### **4.1.1 Kola**

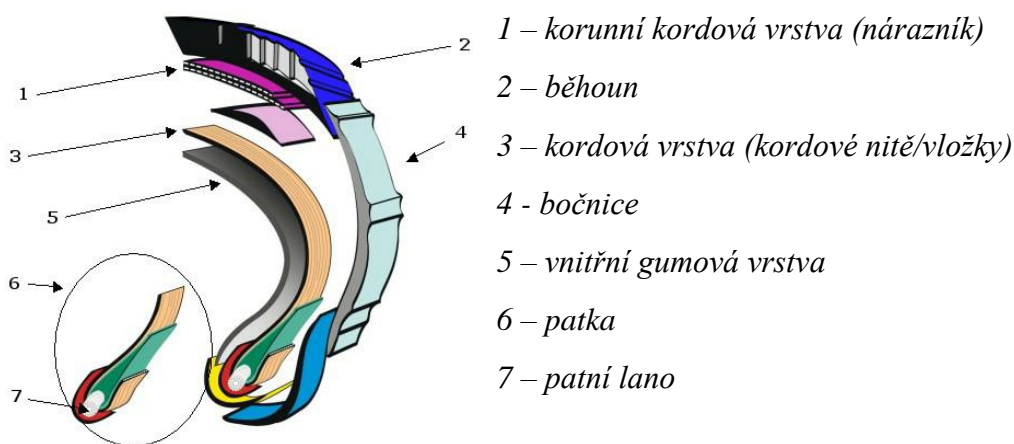
Kolo společně s pneumatikou je posledním článkem v přenosu hnací síly. Mění točivý moment produkovaný motorem na posuvnou sílu, která způsobuje pohyb vozidla. Kolo je složeno ze dvou částí, ráfek a disk. U vícedílných kol jsou tyto dvě části k sobě pevně sešroubovány. Většina osobních automobilů je osazena převážně jednodílnými koly. Disk je tedy s ráfkem pevně spojen a tvoří jeden celek. Obě součásti mohou být svařeny z plechu, odlity či vykovány z lehkých kovů. Kolo těsně dosedá na náboj. Po obvodu disku

jsou otvory pro přišroubování kola k náboji pomocí kolových šroubů. Kolo je těmito šrouby pevně dotaženo předepsaným utahovacím momentem. Požadavky na kola jsou: nízká hmotnost, stálost jejich tvaru v kombinaci s pružností, dostatečný odvod tepla vzniklý třením a v neposlední řadě snadná výměna pneumatik na ráfku i záměna ráfku samotného v případě defektu pneumatiky. [6]

#### 4.1.2 Pneumatiky

Konstrukce pneumatiky má vliv nejen na bezpečnost jízdy a jízdní vlastnosti vozidla, ale také na komfort posádky při cestování. Pneumatika je tvořena vyztuženým gumovým kompozitem. Rozlišujeme u ní následující části: korunní kordová vrstva, běhoun, kordová vrstva (radiální nebo diagonální), bočnice, vnitřní gumová vrstva a patka viz obrázek číslo 3. Materiály na výrobu pláště jsou přírodní nebo syntetické kaučuky a jejich přísady. Kordy jsou z přírodních, chemických či ocelových vláken a ocel je využita při výrobě patního lana.

Obr. 3 Konstrukce pneumatiky



Zdroj: [7]

Korunní kordová vrstva neboli nárazníkový pás se vyskytuje mezi běhounem a kostrou pláště. Tento pás obepínající pneumatiku po celém jejím obvodu je zpevněný ocelovými lankami, která jsou umístěna mezi dvěma vrstvami pryže. U osobních automobilů se nejčastěji nachází dvě korunní kordové vrstvy a lanka v obou vrstvách vzájemně svírají

úhel 60°. Jejich vzájemná poloha je velmi důležitá, protože vytváří celistvou funkční vrstvu. Díky tomu je zajištěno udržení stálého tvaru pneumatiky při působení všech provozních sil. Další funkcí nárazníkového pásu je zabezpečení odolnosti vůči proražení.

Běhoun je vzorkovaná část, která je v těsném kontaktu s komunikací. Tvar a velikost vzorku významně ovlivňují přilnavost pneumatiky k povrchům. Drážky v běhounu slouží jednak k odvádění vody (zabezpečení proti aquaplaningu), ale také k přenosu trakčních sil z kola na vozovku. Vhodná volba tvaru vzorku ovlivňuje valivý odpor pneumatiky, přilnavost a může snižovat hlučnost pneumatik za jízdy. Podle tvaru drážek rozlišujeme různé využití pneumatik, s nimiž souvisí i jejich rozdílné vlastnosti.

Kordovou vrstvu (kostru) tvoří kordové vložky. Poloha a složení těchto vložek vytváří charakteristické vlastnosti pláště. Podle vzájemné polohy kordových nití rozdělujeme pneumatiky na dva základní typy: radiální a diagonální.

Bočnice, chránící boční část kostry, je často vyrobená z přírodního kaučuku, aby byla odolná vůči mechanickému poškození. Je nejvíce zatížena provozním namáháním, kterému musí odolávat.

Vnitřní gumová vrstva u bezdušových pneumatik, které jsou dnes používány nejčastěji, plní funkci duše. Je vyrobená z butylového kaučuku a zabraňuje úniku vzduchu z vnitřku pneumatiky. Zaslouhuje se tedy o těsnost a udržení požadovaného tlaku pneumatiky.

Patka slouží k zakotvení kordů kostry. Její jádro je tvořeno z velmi pevného ocelového patního lana po celém obvodu. Patka je část pláště, která dosedá k ráfku kola a zajišťuje mezi nimi vzduchotěsné spojení. [1] [8]

## 4.2 Zavěšení kol

Zavěšení kol je systém připojení kol k rámu nebo karoserii tak, aniž by připravil tato kola o možnost požadovaných pohybů. Požadovaný pohyb kola je svislý a musí být vůči karoserii nezávislý. Skupina dílčích součástí zavěšení musí umožnit přenos sil a momentů mezi kolem a karoserií. Jedná se o síly svislé, které jsou vyvolány zatížením vozidla a přejížděním nerovností vozovky. Dále podélné síly (hnačí a brzděné), příčné síly (odstředivé) a momenty sil v podélném směru, které vznikají hnačím a brzděným momentem. [4]

### 4.3 Odpružení

Úkolem odpružení je chránit posádku (případně náklad) před nežádoucími otřesy, vznikajícími při přeježdění nerovností. Celkový systém odpružení vozidla tvoří pneumatiky, vozové pružiny a pružná sedadla. Pružiny sedadel pouze doplňují tento systém zachycením chvění a kmitání. [4]

Pružící prvky náprav jsou umístěny mezi pevnou a pohyblivou částí vozidla, tzn. nápravou a rámem. Jedná se o zařízení (mechanické, hydraulické, pneumatické), které díky své konstrukci pohlcuje vibrace kola, které se nepřenesou podvozkovým systémem dále na karoserii. Odpružení má dále za úkol zajistit stálý styk kola s vozovkou. Tato funkce hraje významnou roli v ovladatelnosti vozu a v jeho bezpečném provozu. V neposlední řadě odpružení eliminuje tvrdé otřesy a nárazy, a tím prodlužuje životnost jak podvozku, tak karoserie. Odpružení je ve většině případů doplněno tlumící soustavou, která tlumí kmitavé pohyby pohyblivých částí podvozku.

### 4.4 Řízení

Řízení je ve vozidle zkonstruováno tak, aby udržovalo nebo měnilo směr jeho jízdy. Spolu s brzdami tvoří nejdůležitější části, na kterých závisí bezpečnost provozu. Na řízení je proto kladeno mnoho požadavků. Z důvodu bezpečnosti se kola po vozovce musí pouze odvalovat a nesmí docházet k jejich smýkání. Snížená adheze mezi kolem a silnicí je příčinou smyku. Lichoběžník řízení zajišťuje svou funkcí nestejně natočení rejdových kol. Odlišným natočením řídicích kol urazí jednotlivá kola nestejnou dráhu při průjezdu vozidla zatáčkou. Lichoběžníkem řízení se dosáhne teoretického středu otáčení řídicích kol vozidla. Řídicí náprava musí mít správnou kinematiku kol, jinak by docházelo při propružení k samovolné změně geometrie. Správnou konstrukcí náprav se lze tomuto nežádoucímu jevu vyhnout. [4]

### 4.5 Brzdový systém

Účelem brzd je bezchybné zajištění snížení rychlosti jízdy nebo zastavení vozidla a zabránění jeho samovolnému rozjetí. Brzdy musí účinně a rychle zastavit vozidlo za každé situace při jakýchkoliv jízdních podmínkách. Dále se brzdy vyznačují vysokou

spolehlivostí a dlouhou životností. Brzdný moment, který má za úkol zastavit vozidlo, vzniká vzájemným třením rotujících částí (kotouč/buben) a částí statických (destičky/obložení). Existuje více konstrukčních typů brzd a mají různé parametry. Vždy jsou ale brzdy voleny tak, aby byly schopné včas zastavit vozidlo i při dosažení jeho maximální přípustné hmotnosti. Brzdy ale nejsou jediným faktorem, který má vliv na dráhu potřebnou pro zastavení vozidla. Tato brzdná dráha rovněž úzce souvisí s přilnavostí pneumatiky k povrchu vozovky, tento vztah je vyjádřen součinitelem adheze pneumatiky. Dále závisí na hmotnosti vozidla a na výchozí rychlosti při brždění. Brzdové systémy se dají rozdělit podle více kritérií, rozdělení spočívá v účelu použití (provozní, parkovací, nouzové a zpomalovací brzdy). [1]

## 5 Odpružení

Odpružení je významnou částí systému podvozku, zejména pak z hlediska bezpečnosti, komfortu a chování vozu v zatáčkách. Odpružení přeměňuje rázy na vertikální pohyb kol bez přímé vzájemné závislosti pohybů karoserie a kola. Při správné funkci odpružení se tyto rázy přeměňují ve vibrace. Kromě nárazů od vozovky mají na odpružení vliv i další síly: hnací síla, brzdná síla a odstředivá síla působící při průjezdu zatáčkou. Proto se nevyskytuje pouze vibrování vyvolané nárazy od vozovky ve svislém směru, ale také pohyby v dalších směrech (podélná osa a příčná osa). Částečně tyto rázy eliminují další pružné prvky v systému podvozku, jako jsou pneumatiky a pryžové pružiny. Tyto silentbloky slouží jako pružné uložení zavěšení kol.

Hlavní pružící prvky podvozku se nachází mezi pevnou a pohyblivou částí vozidla, tzn. mezi zavěšením a rámem (karoserií). Pérováním těchto prvků se z automobilu stává vibrující celek s určitou frekvencí. Tato frekvence je závislá na hmotnosti vozidla a parametrech pružícího prvku (pružiny). [6]

### 5.1 Účel odpružení

Účelem odpružení je především zmírnit rázy a mechanické otřesy způsobené přejížděním nerovností vozovky. Úkolem odpružení je tyto otřesy a rázy, kterým jsou posádka a náklad vystaveny, přeměnit na vibrace. Důležitou funkcí odpružení vozidla je



zároveň snížit namáhání (nejčastěji krutem), kterému jsou součásti podvozku vystaveny. Snížení namáhání znamená prodloužení životnosti těchto součástí. V neposlední řadě má odpružení za úkol udržet všechna kola v konstantním styku s vozovkou, pokud to profil vozovky dovoluje [4].

## 5.2 Činnost odpružení

Pružiny spolu se zavěšením kol a dalšími prvky zabraňují pohybu kol jiným směrem než svislým. Tento svislý pohyb, který je kolům umožněn, transformuje nárazy, vzniklé přejížděním konvexních a konkávních nerovností na silnici, na pohyby nahoru a dolů (pružení) [9].

Pružením se stává z vozidla vibrující celek se svou vlastní frekvencí danou hmotností vozidla a odpružením. Tato vlastní frekvence velmi ovlivňuje prostředí ve vozidle. Pro prostředí by mělo vyvolávat co nejmenší svalovou a nervovou únavu řidiče i ostatních pasažérů. Jak mechanické otřesy, tak hluk, kvalita vzduchu, viditelnost a další faktory mají negativní vliv na jízdní komfort a mohou tedy zhoršovat toto pohodlí.

Vlastní frekvence vozidla je jeden z parametrů pro měření jízdního komfortu. Pro člověka je přirozená frekvence 60–80 kmitů za minutu. Rozsah těchto kmitů odpovídá frekvenci normální chůze. Při přesáhnutí tohoto rozsahu jde o nepříjemně rychlé otřesy a naopak při nižší frekvenci než je tato škála může vibrace vyvolat pocit nevolnosti nazývané „mořská nemoc“.

Další vlastností vozidla, kterou přímo ovlivňuje činnost odpružení, je bezpečnost jízdy. Při přejíždění výrazných nerovností ztrácí kola vozidla kontakt s vozovkou. Při přerušení styku kol s vozovkou dojde ke ztrátě možnosti přenášení sil vozidla na vozovku, zejména tažné, brzdné a odstředivé síly. Příným důsledkem ztráty kontaktu pneumatika - vozovka je i ztráta kontroly nad celým vozidlem a pro dobu bez tohoto kontaktu se stává vozidlo neřiditelným. [6]

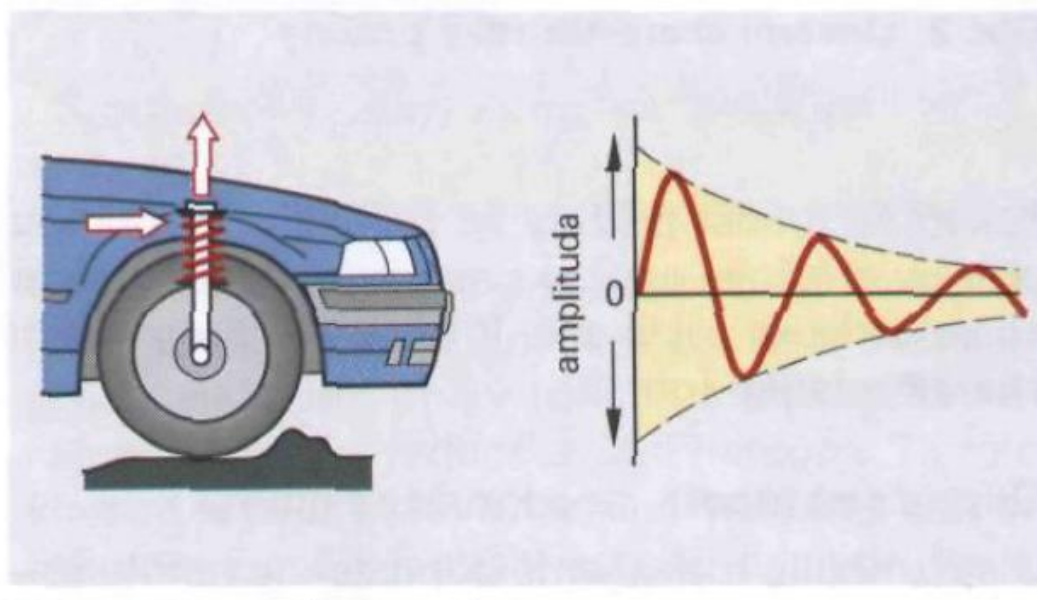
Poslední vlastností, ovlivněnou pérováním společně s tlumiči, je stabilita vozidla v zatáčce. Zvláště při vyšších rychlostech dochází při projíždění vozidla zatáčkou ke snížení zatížení vnitřních kol vozu. Tato vlastnost může dosáhnout takového extrému, při kterém pneumatika není schopna přenést potřebné síly na vozovku. Nepřenesením sil (ztráta adheze) může dojít k vynášení vozidla ze zatáčky. Správné adhezi a správnému

rozložení sil napomáhá spolu s pérováním a tlumiči ještě další prvek podvozku, stabilizátor.

### 5.2.1 Kmitání (vibrace)

Přejetí nerovnosti vyvolá vibrace kola i karoserie. Při propružení kola vůči karoserii se stlačí pružící prvek, který již menší silou vychýlí karoserii směrem vzhůru. Následuje návrat pružiny, který zpomaluje karoserie. Rozsah pohybu pružiny mezi nejvyšší a nejnižší výchylkou se nazývá amplituda. Při tomto pohybu překonává pružina klidovou polohu. Po dosažení maximálního natažení pružiny začíná karoserie pružinu opět stlačovat. Tento postup se cyklicky opakuje a to za neustálého snižování maximální výchylky. K tomuto neustálému snižování kmitů dochází ale pouze v případě, že na pružinu nezapůsobí během procesu tlumení žádná další vychýlení zapříčiněná vnější silou. V momentě, kdy se výchylka sníží natolik, že je rovna nule, přestává podvozek následně pracovat a dostává se do klidové polohy. Průběh posloupných pohybů se opakuje do doby, až se přemění veškerá pohybová energie na tepelnou energii vlivem tření v pružině. Tento proces se nazývá tlumené kmitání a je znázorněn na obrázku níže (obrázek 4).

*Obr. 4 Tlumené kmitání pružiny*

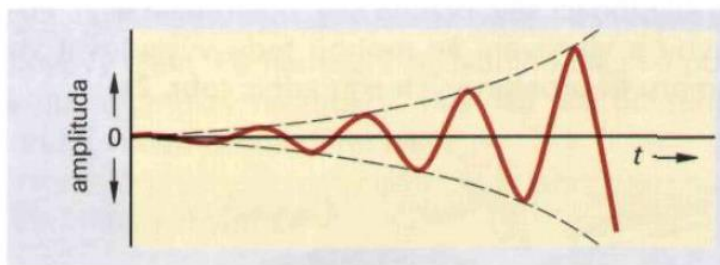


Zdroj: [6]

### 5.2.2 Zesílené kmitání

Rezonanční kmitání znamená, že kmitání má zesilující tendenci. K rezonanci dochází při zvětšování amplitudy kmitajícího systému. Toho jevu je v praxi dosaženo, když vozidlo přejezdí více nerovností, které jsou mezi sebou stejně vzdáleny. Podmínkou pro rezonanci je, aby se frekvence přejížděných nerovností rovnala vlastní frekvenci kmitání pružiny nebo se jí alespoň přiblížila. Tento jev je ovšem v provozu nežádoucí a hrozí při něm ztráta adheze vozidla. Zesílené kmitání je vyobrazeno na obrázku 5.

Obr. 5 Rezonanční kmitání



Zdroj: [6]

### 5.2.3 Frekvence kmitání

Frekvence pružiny udává počet kmitů za jednotku času, nejčastěji sekundu. Tento údaj vyjadřuje, kolikrát se cyklus vibrací opakuje. Frekvence je významná veličina při konstruování podvozků vozidel. Různé druhy pružících elementů totiž mají rozdílné frekvence kmitání a existují pro ně různé možnosti použití. Tlumiče vibrací nemění frekvenci kmitání karoserie, pouze snižují její amplitudu. Snižování výchylky má za následek rychlejší ustálení celého systému do původní polohy [10]. Tuhost pružiny ovlivňuje frekvenci a je to charakteristická vlastnost každé pružiny ovlivněná konstrukcí. Pro příklad u listového pera závisí tuhost na rozměrech listů, jejich počtu a délce hlavního listu. U vinuté pružiny jsou rozhodujícími faktory: průměr pružiny, průřez drátu a počet závitů vinutí. Tuhost je dána poměrem síly potřebné ke stlačení pružiny ( $F$ ) a dráhy stlačení pružiny ( $s$ ). Jednotky pro tuhost pružiny jsou newton na metr ( $N/m$ ) a bývá také znázorňována jako charakteristika pružiny. Mezi tuhostí pružiny a zatížením je nepřímá závislost. Čím větší zatížení na pružinu působí, tím je její tuhost menší a naopak. Tzn., že při zatížení se tuhost sníží, a tak klesá i vlastní frekvence pružiny. [4]

## 5.3 Charakteristiky odpružení

Všechny typy odpružení se vyznačují jiným chováním a vlastnostmi, jež určují jejich využití. Charakteristika odpružení je popsána jako závislost mezi zatěžující silou  $F$  (hmotnost vozidla) a stlačením pružiny  $s$  (poklesnutí vozidla při zatížení). Dle tohoto vztahu se posuzuje průběh této funkce. Existují tři základní charakteristiky pružin – lineární, progresivní a degresivní, jak je ukázáno na obrázku 6.

### 5.3.1 Lineární charakteristika

Lineární charakteristika je základní konstantní závislost mezi deformací pružiny a působící silou. S rostoucí silou roste lineárně stlačení a platí mezi nimi přímá úměra, jak znázorňuje graf na obrázku 6. Tuto závislost má například klasická šroubovitá pružina (viz kapitola 5.4.2), která má rozteč i průřez drátu všech závitů stejně velké a svým vnějším tvarem připomíná válec. Lineární charakteristika je výhodná pro stabilitu vozidla a optimalizaci přenosu trakčních sil. Chování vozidla s lineární charakteristikou odpružení je pro řidiče dobře předvídatelné a ovladatelné. [11]

### 5.3.2 Progresivní charakteristika

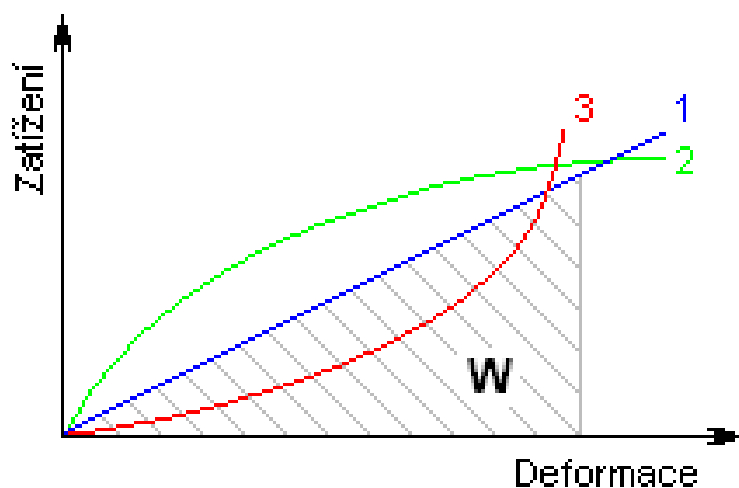
Pérování s progresivní charakteristikou je výhodné v tom, že si zachovává své příznivé vlastnosti (konstantní vlastní frekvenci) i při zvyšujícím se zatížení. Touto vlastností je myšleno, že se zvyšující zatěžující silou neklesá tuhost pružin lineárně, ale klesá pomaleji. Křivka, která zobrazuje zpomalení tohoto poklesu tuhosti, je zobrazena na obrázku 6. V důsledek tohoto poklesu mohou tyto pružiny (v případě vinutých) mít menší zástavbové rozměry. Charakteristikou progresivního odpružení je zajištěna především bezpečná a komfortní jízda, a to jak při nezatíženém, tak i maximálně zatíženém vozidle. V praxi nelze tohoto jevu u jiných charakteristik dosáhnout. [11] Progresivní charakteristika vyžaduje speciální konstrukci, jako například u vinutých pružin: rozdílné stoupání vinutí, nestejně průměry závitů nebo nestejný průřez drátu vinuté pružiny. Dále je u listových pružin využito mechanismu víceúrovňových listových per. V tomto případě po dosažení určitého zatížení začne pracovat více listů než při menším zatížení, pomocí jednoduché úpravy (blíže v kapitole 5.4.1). Existují i tzv. pružiny s dvojitou charakteristikou

(dual rate spring), které mají v dnešní době ve speciálních odvětvích (motorsport) hojně využití. [4]

### 5.3.3 Degresivní charakteristika

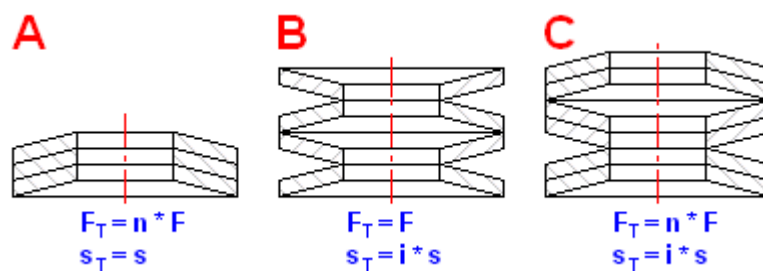
Degresivní charakteristika pružiny je taková, u které není grafem této závislosti přímka, ale křivka. Příklad degresivní charakteristiky pružiny můžeme vidět také na obrázku 6. Degresivní charakteristiku má pružina, u které platí následující vztah: se zvyšující se zatěžující silou  $F$  nelineárně roste deformace pružiny. Nárůst deformace je větší, než je přírůstek zatěžující síly  $F$ . Tato charakteristika je v praxi nevýhodná z hlediska bezpečnostních i komfortních požadavků pro odpružení podvozku vozidel. Hlavními nevýhodami jsou klesající tuhost a zvyšující se vlastní frekvence pružiny při rostoucí působící síle. Příkladem pružin s degresivní charakteristikou jsou talířové pružiny, které jsou využívány tam, kde je potřeba odolat velkým zatěžujícím silám, aniž by u nich docházelo k velké deformaci. Talířové pružiny se často skládají v jeden funkční celek. Mohou být složeny soulehle nebo protilehle, jak je znázorněno na obrázku 7. [4]

Obr. 6 Závislosti deformace pružiny na jejím zatížení:  
1 – lineární; 2 – degresivní; 3 – progresivní



Zdroj: [12]

Obr. 7 Skládání talířových pružin: A - soulehlé, B - protilehlé, C - kombinované



Zdroj: [13]

## 5.4 Ocelové pružiny

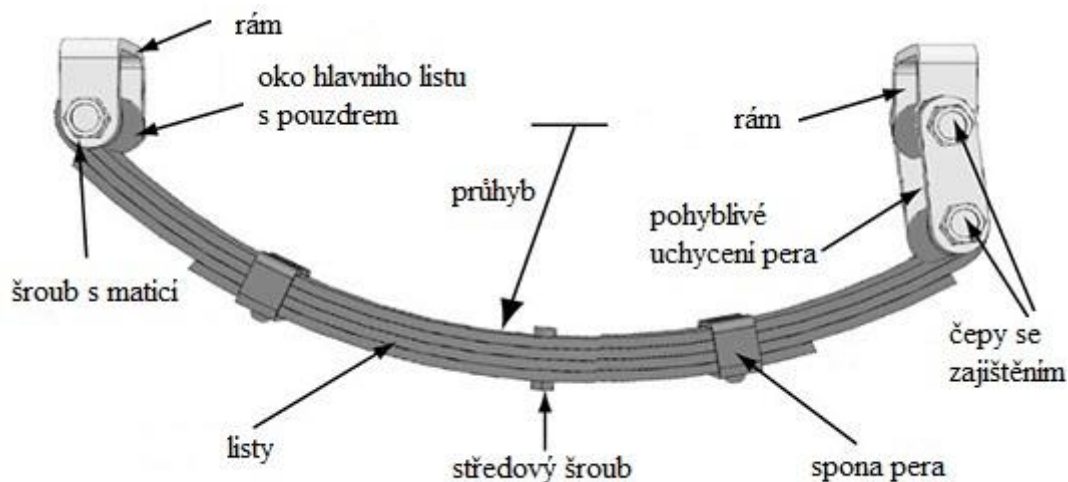
V dnešní době jsou nejběžnější listové a vinuté pružiny. Obě varianty mají své opodstatnění u určitých typů vozidel. Dále se ještě vyskytují zkrutné (torzní) tyče. Pružení všech ocelových pružin je založeno na mechanickém principu. Pružina je konstrukční součást, která má zachytit a akumulovat mechanickou energii. Jedná se o přenos rázů od vozovky přes kolo a zavěšení až na pružící prvky, které se mechanicky deformují. Touto deformací se spotřebovává kinetická energie vzniklá přejetím nerovností. Pružiny pracují na principu pouze elastické (pružné) deformace materiálu a každá z nich se po odlehčení vrací do původního stavu. Při přetížení pružin se lze dostat až za hranici elastické deformace, ale před tímto stavem je chráněna bezpečnostní dorazy (nejčastěji pryžové). Plastická deformace by pro pružinu znamenala degeneraci a znehodnocení vlastností, které si pružina má zachovat. Materiálem pro výrobu pružin je tvrdá pružinová ocel (např.: chrom-vanadiová pružinová ocel).[6] Charakteristika těchto pružin je lineární a progresivita se většinou dosahuje různými konstrukčními úpravami. Tyto úpravy budou zmíněny u konkrétních typů pružin v následujících kapitolách.

### 5.4.1 Listová pera

Tento typ pružin je hojně využíván u nákladních automobilů. Užitková osobní vozidla (dodávky) a lehké nákladní vozy jsou také odpruženy listovými pružinami, ale pouze u zadních náprav. U nákladních automobilů se listové pružiny mohou vyskytovat i jako hlavní pružící prvek přední nápravy.

Hlavní části listové pružiny jsou vyobrazeny na obrázku 8. Listy pružiny jsou rozděleny na hlavní listy s oky a vedlejší listy. Vedlejší listy jsou připojeny k hlavnímu listu (nebo více hlavním listům) pomocí spon nebo třmenů. Spony pro spojení jednotlivých listů jsou potřebné pro udržení všech listů ve stálém směru. Zároveň musí být umožněn posuv konců listů pera, aby byl průhyb listové pružiny možný. Všechny listy, včetně hlavního, jsou sešroubovány k sobě pomocí středového šroubu.

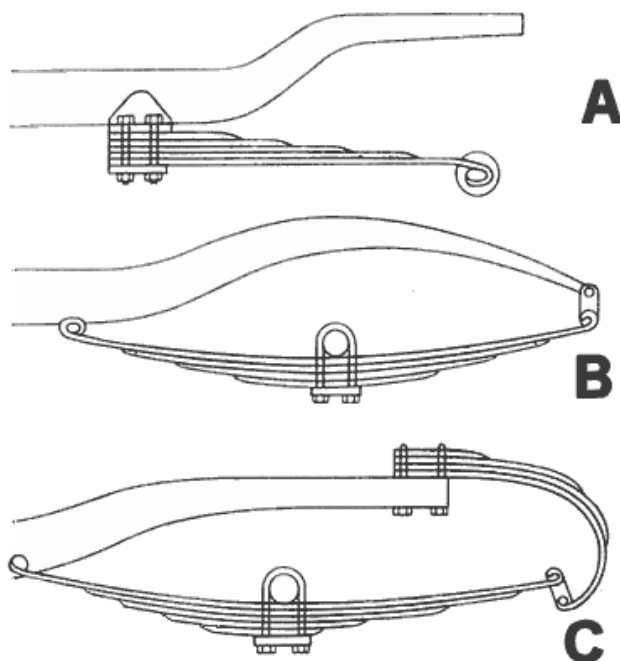
Obr. 8 Konstrukce listového pera



Zdroj:[14]

Rozlišujeme několik konstrukčních typů listových pružin. Jejich rozdělení může být uskutečněno podle více parametrů. Mezi základní parametry pro rozdělení listových pružin můžeme zařadit: tvar křivky, kterou jednotlivé listy opisují, průřezy listu nebo dle celkového tvaru. Celkový tvar je buď přímý, eliptický nebo složený. Křivka, kterou listy opisují, je nejčastěji elipsa, někdy přímka (eliptická/přímá listová pružina). Nejstarším typem je oblouková pružina dvojitá, která se vyskytovala v dřívějších dobách jako odpružení kočárů. Pružnice neopisují tuto elipsu celou, ale pouze její část. Na základě toho rozdělujeme tvary: čtvrteliptické, půleliptické nebo třičtvrtěliptické, viz obrázek 9. Nejčastěji se vyskytují eliptické listy s konstantními průřezy listů po celé své délce. [15]

Obr. 9 listové pero A – čtvrteliptické, B – půleliptické, C - třičtvrtěeliptické



Zdroj: [16]

Mimo konstantního průřezu listu jsou montovány do vozidel i pružiny s parabolickým tvarem listů. Tento tvar přibližuje obrázek číslo 10. Pro zachování konstantní tuhosti v celé délce listu mají listy tvar úzké paraboly. Parabolické pružnice mají v místě středového šroubu větší výšku než na koncích listů. Z tohoto důvodu pružiny nemají nastavenou funkční třecí plochu celého listu, jako je tomu u klasických listových pružin, ale pouze konce listů u obou ok. Funkční plocha pro tření listů se vyskytuje na koncích, kde už je výška listů stejná a lze tření uskutečnit. [17]

Obr. 10 Parabolické listové pero



Zdroj:[18]



Konstrukce listového pera je poměrně složitá a jedná se také o relativně náročný způsob odpružení na údržbu a opravy. Listová pružina má výrazné zástavbové rozměry i hmotnost. Svou konstrukcí mohou listová pera, na rozdíl od vinutých pružin, zajistit vedení nápravy. Dále se listové péro vyznačuje samotlumícími účinky, které jsou vyvolány třením mezi jednotlivými listy. Na úrovni samotlumení závisí to, zda musí být odpružení dále tlumeno či nikoliv. Z tohoto důvodu nepotřebuje listové odpružení s vysokým stupněm samotlumení jako tlumící prvek tlumič. Tuhost listové pružiny je závislá na délce hlavního listu a na rozměrech všech listů. Vhodnou konstrukční úpravou je dosaženo požadované progresivity pérování. Výčet konstrukčních variant pro dosažení progresivního pérování je uveden v závěru kapitoly. [19]

Umístění listového pera je nejčastěji podélné a méně často příčné (Trabant), myšleno ve směru jízdy vozidla [20], výjimečně se objevuje i umístění šikmo. Pero je pevně uchyceno k rámu na čepu pomocí oka na jednom konci hlavního listu. Druhý konec hlavního listu je uchycen tak, aby mohla být vytvořena délková rezerva v závislosti na prohnutí listového pera. Pohyblivé uchycení hlavního listu je kluzné nebo výkyvné. U výkyvného listu je upevněno oko k rámu pomocí výkyvného třmenu. Při pracovním pohybu pružiny se totiž mění osová vzdálenost ok důsledkem elastické deformace listů pružiny. Tato deformace je vratná. Odpružení listovými pružinami využívá deformace k přeměně rázů od vozovky, čímž je eliminuje. [21]

Je více způsobů, jak dosáhnout požadované progresivity odpružení u listových pružin. Mechanizmy k docílení těchto vlastností jsou například: proměnlivý počet funkčních listů, proměnlivá délka hlavního listu nebo kombinací obou variant.

Zlepšení celkové tuhosti pružiny (dosažení progresivních vlastností) je zapříčiněno změnou počtu listů začleněných do procesu pružení, která přímo závisí na zatížení. Zapojení dalších listů do pružení nastává pouhým opřením spodního listu o zbylé listy listové pružiny. Mechanismus je zřejmý z obrázku 11. Pomocný opěrný list není spojen se zbytkem listů pomocí spon, aby nepracoval po celou dobu, ale zapojil se až při dosažení požadovaného zatížení. Tento list funguje jako přídavná pružina.

*Obr. 11 Listová pružina s opěrným spodním listem*



*Zdroj: [22]*

Na stejném principu proměnlivého počtu pracujících listů je založeno vícestupňové péro. K hlavní listové pružině jsou obvykle připojeny jeden (dvoustupňové) až dva stupně (třístupňové). Při mírném zatížení pruží pouze hlavní svazek, jako je tomu u klasické půleliptické nebo přímé listové pružiny. U dvoustupňového pera se při překročení určité meze zatížení zapojí i druhý stupeň pružení. Začlenění přídatného pera do pružení probíhá pomocí opěrných bodů, tzv. patek, umístěných na rámu. O patky se přídatná pružina opře a změní tak celkovou tuhost i charakteristiku celého pružení. Po opření se tato pružina (nebo jen jeden list) připojí k pružicímu systému, a tím jsou parametry listové pružiny vylepšeny. Přídatná listová pružina je spojena s hlavním pružícím prvkem pomocí středového šroubu. Třístupňová pružina je rozšířena o spodní opěrný list, na rozdíl od dvoustupňové. [4]

#### **5.4.2 Vinuté pružiny**

Jedná se o nejpoužívanější a nejrozsáhlejší způsob odpružení u osobních vozidel. Důvodem jsou relativně malé zástavbové rozměry a nízká hmotnost. Nevýhodou naopak je, že šroubovitě pružiny nepřenáší podélné a příčné síly kola a téměř netlumí, na rozdíl od listových pružin. Přenášení sil tedy musí být zajištěno pomocí konstrukce zavěšení. [23]

Vinuté pružiny nebo též šroubovitě pružiny jsou vyrobeny z pružinové oceli, z důvodu výhodných vlastností tohoto materiálu. Tyto pružiny jsou vinuty z drátu kruhového průřezu a na požadovaný rozměr jsou upraveny tak, že závěrné závity jsou buď broušeny, rovnoběžně zarovnané. Pokud jsou ponechány bez úpravy, musí být dosedací misky pružin tvarované. Tato zakončení jsou důležitá kvůli zajištění osového

zatěžování pružin. Broušením se vytvoří kruhová dosedací plocha, díky které působí síla na pružinu v její ose. [6]

Možnost plného naložení vozidla spolu se současným zachováním dostatečného komfortu a bezpečnosti vozidla se nazývá progresivita. Progresivitu pérování vinutých pružin je dosaženo vytvarováním do: válcového, soudkového, kuželového nebo zeštíhleného tvaru. Další způsoby výroby vedoucí k progresivitě pružin jsou nestejným stoupáním závitů nebo nestejným průměrem drátu. Příkladem vinutého pera s progresivní charakteristikou je pružina nazývaná miniblok. V této pružině, jak znázorňuje obrázek 12, jsou spojeny všechny způsoby dosažení progresivity. Jedná se totiž o pružinu soudkového tvaru s nestejným stoupáním závitů i rozdílným průměrem drátů. Výhodou této pružiny je také zmenšení zástavbové výšky, oproti klasické soudkové pružině. Důvodem je, že jednotlivé závity se nemohou dotýkat ani při velkém zatížení, protože nedosednou na sebe, ale díky jejich tvaru se spirálově zanoří do většího vinutí. [9]

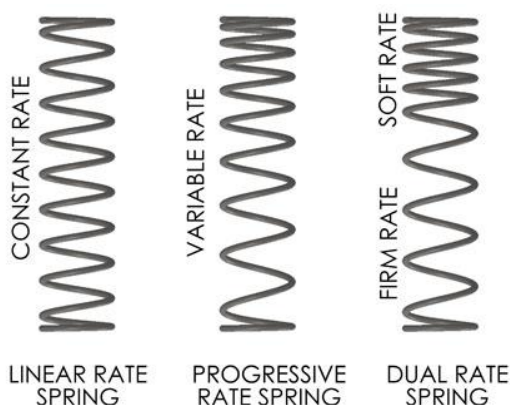
*Obr. 12 Pružina miniblok*



*Zdroj: [24]*

Na obrázku 13 jsou názorně viditelné rozdíly mezi lineární a progresivní pružinou. Lineární pero (linear rate spring) má konstantní průběh během celého procesu zatěžování. Taková pružina má stejnou rozteč závitů při stejném průřezu drátu v celé délce pružiny. Naopak progresivní charakteristika si zachovává výhodné vlastnosti i při výraznějším zatížení. Moderním prvkem jsou pružiny s dvojitou charakteristikou (dual rate spring). Část vinutí má větší rozteč závitů než zbývající, ovšem průměr závitů zůstává stejný. Různá rozteč vinutí má totiž při zatížení různé charakteristiky.

Obr. 13 Charakteristiky vinuté pružiny  
(lineární, progresivní, dvojitá charakteristika)



Zdroj: [25]

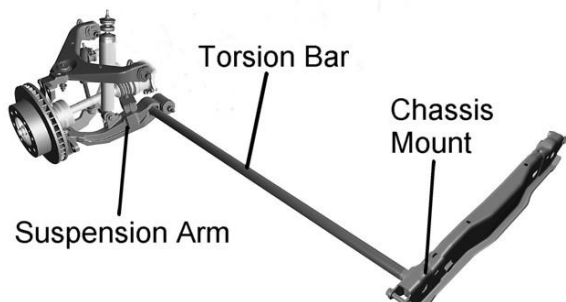
Válcové pružiny jsou na vozidle umístěny mezi zavěšením nebo nápravou a karoserií tak, aby karoserie byla odpružena. Vinutá pera se mohou vyskytovat samostatně, ale být i kompaktně spojena spolu s tlumičem. V tomto případě je tlumič umístěn uvnitř pružiny. Tento způsob je výhodný kvůli sjednocení tlumícího prvku s pružícím za současné rozměrové úspory. Tlumiče se již dnes nenavrhují uvnitř pružiny, kvůli časové náročnosti montáže a demontáže. [6]

### 5.4.3 Zkrutné (torzní) tyče

Odpružení pomocí zkrutné tyče je další mechanickou variantou odpružení. Torzní tyč je ekvivalentní název pro zkrutnou tyč. Odpružení je namáháno krutem a elastická deformace této tyče vymezuje maximální rozsah pohybů mezi rámem a kolem, které je takto odpruženo. Každé kolo je odpruženo samostatně. Zkrutné tyče mají tvar čtyřhranu nebo kruhu jak znázorňuje obrázek 14. Jejich uspořádání může být podélné s osou vozidla (častěji) nebo příčné. Podélné uložení je vhodnější, jelikož s délkou torzní tyče souvisí i úhel zkroucení, který určuje rozsah pohybu ramene, na kterém je kolo zavěšeno. [6] Deformace krutem je vytvořena pákou, která slouží jako pružící vzpěra. Zkrutné tyče nemají tak vysokou odolnost vůči deformaci ohybem, proto je pravidlem, že jsou uloženy v duté tyči (trubce), která je odolná vůči ohybu a má jen o málo větší průměr než zkrutná tyč. Podpěrná vnější trubka tak dovolí torzní tyči pouze minimální ohyb a zároveň slouží jako ochrana vůči vnějšímu poškození. Vetknutí torzní tyče je zajištěno pomocí podélného

drážkování. Torzní tyč je do rámu při montáži nasunuta a díky drážkám nedochází k vzájemnému pohybu tyče a rámu. Díky těmto drážkám lze také nastavovat předpětí důležité pro správné pružení torzních tyčí.

Obr. 14 Znárodnění zkrutné tyče (Torsion Bar)



Zdroj: [26]

Jedná se o konstrukčně jednoduchý systém nevyžadující téměř žádnou údržbu. Zkrutné tyče postrádají schopnost vést nápravu, což vyplývá z jejich konstrukce. Torzní tyč nedisponuje ani samotlumícími účinky, proto musí být doplněna tlumící soustavou. Progresivita pérování je zajištěna uložením v trubce. Tato trubka se totiž, při dosažení hraniční deformace torzní tyče, zapojí do systému odpružení a začne docházet také k její deformaci krutem. Touto svou činností napomáhá vnější obal torzní tyče odolávat velkým zatěžujícím silám a zajišťuje tak progresivitu pérování. [4]

## 5.5 Vzduchové (pneumatické) pružiny

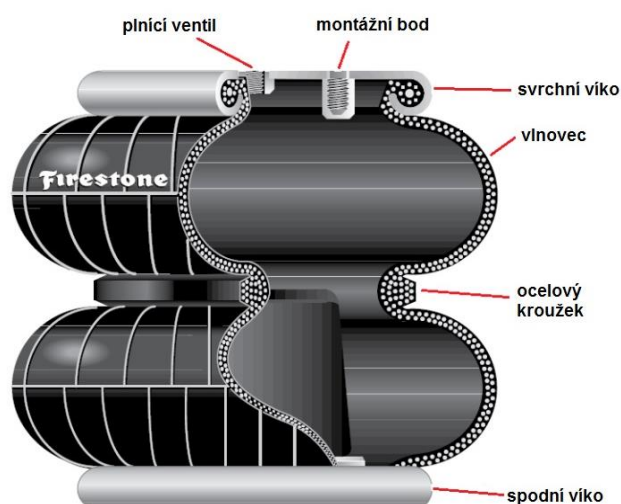
U principu vzduchového odpružení se využívá elastických vlastností tlaku vzduchu uzavřeného v gumo-textilním měchu. Měchy jsou tvořeny kombinací pružného materiálu s textilním materiálem. Jeho stěny jsou zkonstruovány tak, aby nedocházelo k nežádoucímu úniku plynu, a jsou shora a zdola vzduchotěsně opatřeny víky. Víka jsou nejčastěji z kovového materiálu a jsou tedy využity jako konstrukční plocha pro montáž. Na jednom z vík (nejčastěji horním) se vyskytuje plnicí ventil, kterým je měch připojen k plnicímu zařízení. Jako plnicí zařízení se využívá kompresor, kterým musí být vozidla se vzduchovými pružinami vybavena. Vzduchového odpružení se tedy používá více u autobusů a nákladních automobilů, kde je již kompresor využit pro brzdy. [27] Kompresorem se mění tlak ve vzduchovém odpružení. Vlivem změny tlaku, kterým je

pružina naplněna, a zatížením vozidla se měchy přizpůsobí těmto podmínkám. Tímto způsobem se reguluje výška vozidla. Měch bývá opatřen kvůli bezpečnosti pryžovým dorazem, kterého se využívá v nouzových situacích při poškození měchu. Tento doraz je umístěn tak, aby bylo možné s vozidlem nouzově dojet do servisu. Z hlediska tvaru se pružiny rozdělují na více typů. Nejvíce využívané jsou vlnovcové vzduchové pružiny a vakové pružiny. [28]

### 5.5.1 Vlnovcové vzduchové pružiny

Součástí vlnovcové pružiny je svrchní a spodní víko. Tato víka se vyrábí z korozivzdorných materiálů, případně na ně jsou nanášeny ochranné povlaky. Důvodem protikorozní ochrany je, aby koroze nenarušila těsnost spojení vlnovce a víka. Vlnovcovou pružinu tvoří několik vln, může být vyztužena ocelovými kroužky mezi vlnami. Kroužky mohou být buď zalisovány jako součást vlnovce, nebo namontovány dodatečně. Obvodové kroužky zlepšují stabilitu vlnovce a tvoří je plný materiál nebo spojené vinuté dráty. Běžně se vlnovce vyrábějí s jednou až třemi vlnami (obrázek 15 včetně popisu), s vyšším počtem vzrůstá i výška zdvihu. U pryžového vlnovce jsou požadované vlastnosti zejména pevnost a odolnost proti proražení. Vzduchová pružina v provedení pružného vlnovce má dlouhou životnost, která vychází z výhodné konstrukce. Ta zajišťuje, že při pružení jsou stěny namáhány pouze ohybem. [29]

Obr. 15 Vlnovcová vzduchová pružina

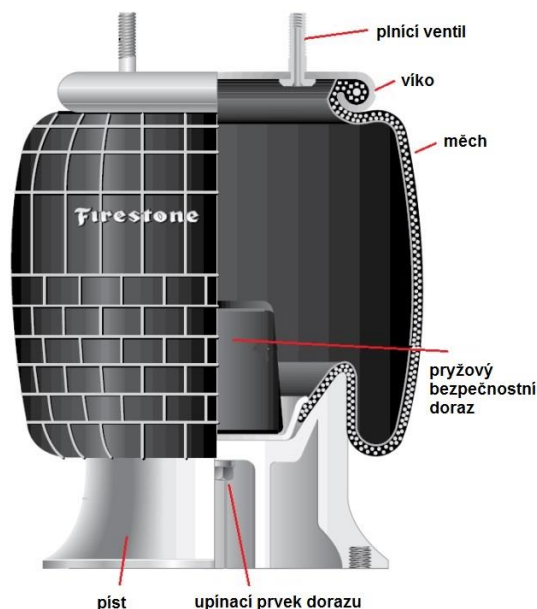


Zdroj: [30]

### 5.5.2 Vakové pružiny (rolling lobe)

Pružina je vzduchovým vakem a je další často používanou variantou pneumatického odpružení. V tomto případě je ze spodu víko nahrazeno pístem, kdy dochází při pružení k odvalování měchu po tomto pístu. V důsledku zatěžování pružiny dochází k zatlačování pístu. Tímto mechanismem dochází k poměrně velkým deformacím, proto je nezbytné pro dlouhou životnost odpružení, aby byl vak zhotoven z kvalitního a odolného materiálu a píst měl vhodné tvarování. Vlastnosti rolling lobe pružin jsou závislé na tvaru a velikosti pístu. Tento princip odpružení je znázorněn na obrázku 16.

Obr. 16 Vaková pružina (rolling lobe)



Zdroj: [31]

### 5.5.3 Použití vzduchových pružin

Vzduchové pružiny jsou hojně využívány v automobilovém průmyslu. Tohoto odpružení se využívá zejména při odpružení náprav nákladních automobilů, traktorů, autobusů, kolejových vozidel a osobních automobilů (zřídka). U nákladních automobilů se využívají oba výše zmíněné typy pružin, více se ovšem využívá vakových pružin. Využívání vzduchového odpružení v nákladní a autobusové dopravě místo ocelových pružin má více důvodů. Oproti ocelovým pružinám má vzduchová varianta odpružení

minimálně dvakrát delší životnost, má progresivní charakteristiku a její další výhodou je i výšková nastavitelnost. Regulované udržení konstantní výšky automobilu nad vozovkou bez ohledu na zatížení vozidla je první způsob využití výškové nastavitelnosti. Za druhé se u nákladních vozů s vyšším počtem náprav (více než 2) využívá vzduchového odpružení při nezatížení nebo částečném zatížení vozidla. V tomto případě je výhodné zdvihací nápravu opatřenou zvedacími měchy zvednout. To bývá u nákladních vozidel poslední nebo předposlední náprava. Zvednutím této nápravy se sníží valivý odpor vozidla, spotřeba paliva, opotřebení pneumatik i náklady spojené s placením mýtného. Dalším způsobem se využívá měnitelná výška nástavby (resp. návěsu) při nakládání či vykládání. V těchto případech je možnost změny výšky výhodná kvůli kompatibilitě s nakládací rampou. Nevýhodou vzduchového pérování je ale malé vlastní tlumení, kdy je nezbytné toto odpružení doplnit tlumiči kmitání. [1]

V osobních automobilech se využívá vzduchového odpružení jen zřídka a nejčastěji ve spojení s jízdním komfortem. Jedním důvodem je snižování výšky vozu s rostoucí rychlostí. Toto snížení má za následek zvýšení stability vozu při vyšších rychlostech a také snížení aerodynamického odporu vzduchu, což přispívá ke snížení spotřeby paliva. [32] Dalším důvodem je eliminace důsledků působení sil (náklon karoserie) na pasažéry. Může se jednat o náklon vozu v příčné i podélné rovině. Například při průjezdu zatáčkou je schopna řídicí jednotka spolu s regulacemi tlaku u jednotlivých kol způsobené naklonění eliminovat nebo alespoň zmírnit. [6] Tohoto vyrovnávacího efektu je využíváno i při brzdění, kdy se zvýší tlak v měchách přední nápravy, aby nedošlo k náklonu a vozidlo tak zůstane v rovnoběžné rovině s rovinou vozovky.

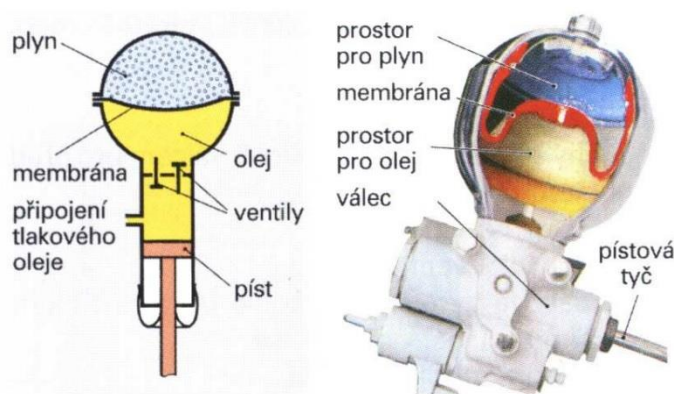
## 5.6 Hydropneumatické pružiny

Hydropneumatické odpružení vozidel je kombinace pneumatické pružiny a pracovního válce. Tento způsob odpružení zároveň pruží i tlumí, tím pádem hydropneumatické odpružení nepotřebuje tlumiče vibrací. Hydropneumatická soustava je složena z několika částí. Významným prvkem je zde tlaková nádoba, ve které je od sebe membránou oddělen plyn od kapaliny. Plyn v nádobě se nachází v horní části (viz obrázek 17). Je jím nejčastěji dusík, je samostatně uzavřen a jeho množství se nemění. Naopak ve spodní části tlakové nádoby (tvaru koule) se nachází olej oddělený od plynu membránou. Objem oleje v kouli se mění pomocí čerpacích a vypouštěcích ventilů.



Změnou objemu oleje natlačeného do nádoby se mění tlak plynu. Plyn i olej v tlakové nádobě mají stejný tlak. Tento tlak dodává vysokotlaké čerpadlo a jeho hodnota je přibližně 180 MPa. Ventily umístěné mezi válcem a koulí s přetlakem mají za úkol škrtnit tlak oleje a působí tedy jako tlumiče. Hydraulická část systému všech kol je spojena rozvodným potrubím oleje a je propojena s vysokotlakým čerpadlem. [23]

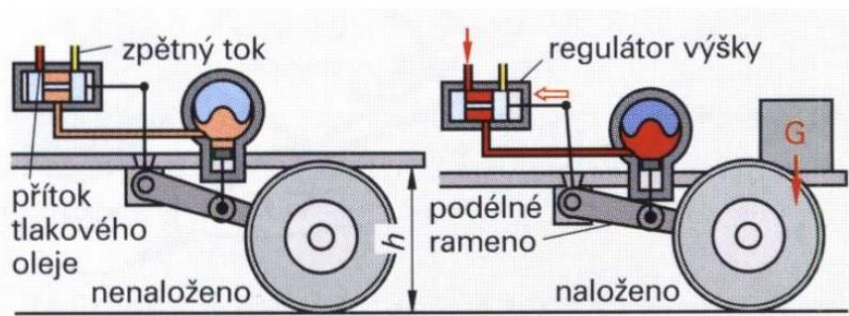
Obr. 17 Hydropneumatické pružící prvky



Zdroj: [6]

Světlou výšku vozu lze pomocí tohoto systému odpružení měnit obdobně jako u vzduchových pružin. Této možnosti je využíváno například při projíždění úseku s těžkým terénem. Vyrovnávání úrovně se provádí pístovou tyčí, která je pevně spojena s podélným ramenem nápravy. Při čerpání oleje do tlakové koule se pístová tyč vysunuje a tím se přímo zvyšuje světlá výška vozu. Výšku vozu lze nastavovat manuálně z kabiny řidiče nebo automatickou regulací (obrázek 18). Tento postup je zautomatizován pomocí systému mechanických a tlakových čidel. Se zvýšenou zátěží se mění tlak oleje ve válci a zároveň i v dusíkové náplni. Pružina je následně tvrdší a zvyšuje se tím počet přenesených vibrací, následkem čehož dochází ke snížení komfortu. Hydropneumatické odpružení je spíše řídké se vyskytujícím jevem v automobilovém průmyslu, přesto však tuto technologii proslavila značka Citroën. [6]

Obr. 18 Obrázek výškové regulace při zatížení



Zdroj:[6]

## 5.7 Hydroelastické pružiny

Tento systém se vyskytuje jen zřídka. Pružící jednotka se skládá z pryžového segmentu a nádoby na kapalinu, která tento segment naplňuje. Součásti systému jsou spojeny tlakovým vedením, odděleně je propojena pravá a levá strana. Pro každou stranu je propojena zadní a přední část tohoto systému proto při propružení předního kola se zdvihá zadní část vozidla na stejné straně. Naopak při propružení zadního kola se zdvihá kolo přední. Toto vzájemné reagování předního a zadního kola probíhá pro každou stranu zvlášť. [33]

## 5.8 Doplnující prvky

V následujících podkapitolách jsou popsány prvky, které pouze doplňují systém odpružení. Přesto jsou tyto prvky mnohdy významné.

### 5.8.1 Pryžové pružiny

Všechny typy pryžových pružin využívají elastických vlastností gumy (pryže). Existuje více typů pryže, které se dají rozdělit z hlediska jejich původu, a to na uměle vyrobené syntetické kaučuky a přírodní. Oba tyto typy pryže mají velmi podobné vlastnosti, přičemž chemické vlastnosti významně ovlivňují i ty fyzikální. Výhodných vlastností se využívá při namáhání krutem, smykem i tlakem. Výhodami pryžového materiálu je nízká cena, dlouhá životnost, bezúdržbovost a kvalitní vlastní tlumení. Na druhou stranu má ale i několik nevýhod: citlivost na teplotu, na různé druhy chemikálií

a na olej. Postupem času klesá tomuto materiálu jeho statická únosnost. I přes tyto nevýhody se pryže využívá jako nejvýznamnějšího materiálu pro doplňující prvky odpružení či výrobu dorazových bloků, bezpečnostních dorazů, pružící části silentbloků motorů či jiných částí karoserií. Tento typ pružin se dnes využívá v zásadě u každého vozidla jako doplňující pružící prvek. [1]

### 5.8.2 Tlumení

Odpružení vozidla je doplněno o vozidlové tlumiče. Úkolem tlumičů je udržovat stálý kontakt pneumatiky s vozovkou a tlumit kmitavé pohyby a rázy podvozkových částí. Tlumením dojde k omezení přenosu pohybů a rázů na karoserii. Tlumiče mohou zmírňovat vibrace i nárazy a dosáhnout tedy co nejrychlejšího zklidnění vibrující soustavy. Principem činnosti je využívání hydraulického odporu při přeměňování kinetické energie na tepelnou. V důsledku včasného odeznění vibrací dochází ke zvýšení bezpečnosti a komfortu jízdy. V opačném případě ztrácí pneumatika kontakt s vozovkou, což vede v krajním případě k neovladatelnosti vozidla. [34]

Tlumič kmitání je významná součást doplňující odpružení vozidla. Různé druhy odpružení potřebují tlumit kmitání různou měrou. Například listové pružiny s vysokou mírou samotlumení nepotřebují být doplněny tlumiči vůbec. V dnešní době jsou nejvíce používány tlumiče kapalinové nebo plynokapalinové. Kapalinové tlumiče využívají jako tlumící prvek olej a plynokapalinové jsou naplněny plynem.[35] Médium je protlačováno pístem tlumiče skrz malé otvory nebo ventily. [6]

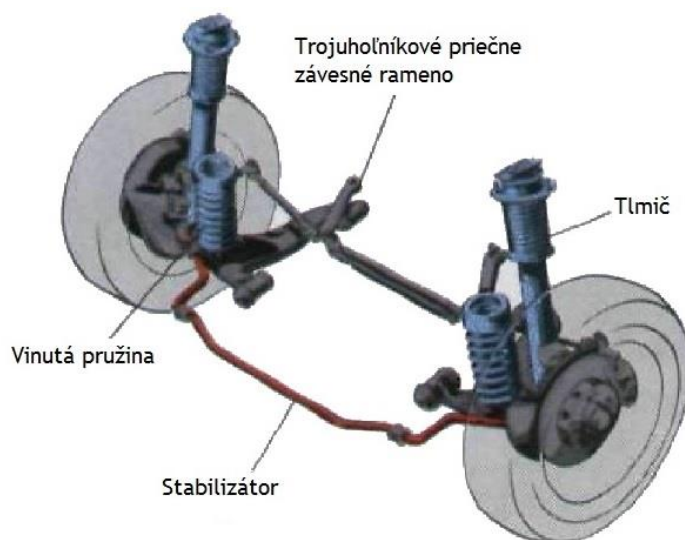
Při přejetí nerovnosti je kolo zatlačeno proti systému odpružení. Dojde k zatlačení pístu, který před sebou tlačí médium (kapalina/plyn), jenž se přečerpává při stlačování skrz ventily. V těchto místech nastává škrcení média a zpomalování pohybu pístu – tlumení. Píst v tlumiči může konat dvě fáze: fázi tahu nebo fázi tlaku.

Konstrukce tlumičů se dělí na jednoplášťové a dvouplášťové podle počtu stěn. Oba typy tlumičů jsou teleskopické s pohyblivou pístnicí. Jednoplášťový teleskopický tlumič pracuje s olejem i plynem, dvouplášťový pak pouze s olejem. Dnešní moderní automobily jsou již opatřeny elektronicky řízeným tlumením. Řízení proměnlivé tlumící síly spočívá v regulaci průtoku elektronicky ovládaného škrtícího ventilu. Konstrukce takových tlumičů je téměř stejná jako u klasického tlumiče. [36]

### 5.8.3 Stabilizátory

Stabilizátor je prvek v systému odpružení, který slouží k příčné stabilizaci vozidla. Napomáhá svými vlastnostmi zmírňovat náklon karoserie při průjezdu zatáčkou. Stabilizátory mají opodstatněnou úlohu u nezávislého zavěšení, jelikož propojují obě nezávislé strany zavěšení (obrázek 19). Při přejetí obou kol jedné nápravy příčné nerovnosti stabilizátor do pohybu jednotlivých zavěšení vůbec nezasahuje. Jeho úkol přichází až v momentě, kdy pouze jedno z kol nápravy najede na nerovnost. V tomto případě na stabilizátor začne působit zkrutná síla, která směřuje proti směru působení momentu od zavěšení. Díky vlastnostem a tvaru stabilizátoru se tímto způsobem vyrovnává výkyv protilehlého kola. Při průjezdu zatáčkou se natáčí oba konce stabilizátoru vzájemně proti sobě, proto má stabilizátor dvakrát větší účinek oproti jednostrannému propružení. [1]

Obr. 19 Umístění stabilizátoru na vozidle



Zdroj: [37]

### 5.8.4 Dorazy odpružení

Dorazy odpružení jsou pryžové bezpečnostní prvky, které mají za úkol zamezit pohyblivým částem podvozku v dalším pohybu, nebo jen podpořit odpružení. Dorazy se rozdělují podle tvaru, což souvisí s umístěním v pružící soustavě. Konstrukční prvek je s dorazem spojen při výrobě vulkanizací. Doraz může být vyroben s vnitřním kruhovým

otvorem, kterým je nasazen na pístnici tlumiče, aby mohl do pružení zasahovat při dosažení určitého stlačení tlumiče. [1]

Bezpečnostní dorazy u pneumatických pružin jsou umístěny uvnitř vaku mezi pístem a víkem. Právě v tomto místě jsou dorazy připraveny zasáhnout v případě defektu vaku. Následně dojde k dosednutí na pryžový blok (doraz) a je pomocí tohoto bloku umožněno nouzové dojetí vozidla do servisního místa.

Pryžové dorazové bloky jsou umístovány jako doplňující prvky odpružení u ocelových listových per i uvnitř vinutých pružin, ale zasáhnou do pohybu jen v případech velkého propružení. Dochází k jejich využití buď při velkém přetížení vozidla, nebo při významném propružení následkem projetí nerovnosti. [38]

Charakteristika pryžových dorazů je progresivní, ale jejich nevýhodou je špatná odolnost vůči agresivním látkám, jako je olej a další provozní kapaliny vozidla.

## **6 Nové trendy**

Z hlediska budoucnosti lze s největší pravděpodobností očekávat významné zapojení elektroniky v oblasti řízení vlastností podvozků vozidel, které jsou již dnes zřetelné. Jsou patrné i u jiných částí vozidla, zejména u elektronického ovládání motoru v souvislosti se snižováním emisí, ale také při zajištění bezpečnosti posádky ve vozidle. Elektronické řízení podvozku včetně odpružení již dnes mnozí výrobci automobilů vyvíjejí. Proto lze předpokládat, že se do tohoto odvětví bude v automobilovém průmyslu i nadále investovat. Významnou hnací silou pro vývoj v automobilovém průmyslu je konkurenční boj a také velmi vysoké požadavky, které jsou na výrobce vozidel kladeny. Zákazníci mnohdy požadují protichůdné vlastnosti automobilů, kterým musí konstruktéři vyhovět, což je velmi složité. [39]

Mezi moderní trendy elektronického řízení podvozků lze zařadit systém IDS (Interactive Driving System), který zavedla na trh automobilová společnost Opel pro vozy střední třídy. Systém je doplněn elektronicky řízenými tlumiči CDC (Continuous Damping Control). Obdobnými systémy elektronického řízení tlumičů je již delší dobu vylepšována třída luxusních automobilů s různým marketingovým označením. Příklady těchto značek vozidel jsou: Audi (A8), Bentley, BMW (7. řada, M5) Ferrari, Lancia, Maserati, Porsche Cayenne, Rolls-Royce, ale i VW Phaeton či Touareg. [36]

Další možné využití elektroniky při řízení podvozku je systém, který zvyšuje komfort cestování díky elektronicky řízeným stabilizátorům. Systém DRC (Dynamic Rolling Control) eliminuje náklony vozidel v zatáčkách, díky omezení příčného výkyvu karoserie. Tento systém je umístěn na zadní nápravě a má za úkol dosáhnout optimální hodnoty v otázce kompromisu mezi stabilitou karoserie a pohodlím cestujících. DRC systém byl poprvé použit ve vozidle Peugeot 3008. [40]

Systém ABC (Active Body Control) zabezpečuje elektronické ovládání podvozku vozidel Mercedes-Benz. Systém ABC má za úkol vyrovnávat naklánění (obrázek 20), kývání vozidla při akceleraci, brždění i zatáčení. Navíc tento systém stabilizuje vozidlo i při bočním větru. Má naprogramované dva nastavitelné stavy, které jsou plně automatické a přizpůsobují tak nastavení podvozku aktuální jízdní situaci. ABC je výrazně zaměřený na jízdní dynamiku a komfort. Jedná se pouze o doplnění klasického pasivního podvozku vybaveného vinutými pružinami a tlumiči, ale tento systém se stará pouze o zajištění komfortu. Systém je složen z hydraulických válců a vysokotlakého čerpadla. Hydraulický válec má každé kolo. Tento systém je aktivní tzn., pracuje aktivně a generuje přídatnou sílu, která ovlivňuje účinek vinuté pružiny. Řídící jednotka podvozku provádí výpočet a následnou regulaci každých 10 milisekund. [41] [42]

*Obr. 20 Náklon karoserie při průjezdu zatáčkou se systémem ABC a bez něj*



*Zdroj: [43]*

Airmatic je systém používaný automobilkou Mercedes-Benz a jedná se o označení vzduchového podvozku. Systém se automaticky reguluje pomocí vzduchových pružin,

které jsou tlakovány kompresorem. Automatická regulace spočívá v tom, že podle provozní rychlosti se mění světlá výška vozu. Při vyšších rychlostech se světlá výška vozu automaticky sníží a při zpomalení se naopak zvýší. Cílem systému je zvýšit jízdní stabilitu na různém povrchu vozovky i za rozdílných provozních rychlostí. [44] [45]

Bose suspension system využívá lineárních elektromotorů a elektromagnetismu k aktivnímu odpružení i tlumení vibrací karoserie. Tento systém snížil reakční rychlost procesu tlumení a odpružení (hydraulika, vzduch a další), která se dříve pohybovala mezi 5–10 milisekundami. Elektromotory jsou totiž ovládány pouze elektronicky a jejich charakteristika se může změnit během 1 milisekundy. Princip činnosti je založen na rekuperaci elektrické energie, která je ukládána do trakčních akumulátorů, a následně je využita k tlumícímu účinku. Elektronický systém umí zpracovat veškeré informace a zároveň ovlivnit stabilitu vozu během okamžiku a podvozek tak stihá reagovat skrz lineární elektromotory na překážky a nerovnosti v reálném čase. Dokáže tedy udržet karoserii v neustále rovnoběžné poloze s povrchem vozovky, včetně eliminace náklonů vzniklých při brždění, akceleraci i zatáčení. [46]

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo charakterizovat odpružení z mnoha hledisek a popsat jednotlivé typy na základě rešerše literatury.

Na základě dané metodiky práce jsou v prvních kapitolách krátce popsány hlavní části motorových vozidel s důrazem na podvozek, jehož součástí je i odpružení. V následující kapitole jsou popsány hlavní prvky tohoto funkčního celku: kolo a pneumatika, zavěšení kola, brzdový systém, systém řízení a jejich činnosti ve vztahu k odpružení vozidla.

Hlavní část práce je věnována odpružení z hlediska jeho funkce, technického řešení a jednotlivých charakteristik. Popsán je účel pružení a celý jeho proces při přejetí nerovností vozidlem, včetně jeho vlivu na jízdní komfort a bezpečnost provozu. Rovněž jsou vysvětlena kmitání (vibrace), která jsou zároveň vlastnostmi pružin. Následující kapitola se zabývá charakteristikami pružin a jejich reakcemi na zatížení a konstrukčním řešením. Výrobní materiál pružin je základní znak, podle něhož se pružiny dělí v následujících podkapitolách.

Práce zmiňuje prvky, které celý systém odpružení doplňují: pryžové pružiny, tlumení, stabilizátory a dorazy odpružení. Dále také popisuje, jakou měrou se tyto prvky podílejí na odpružení vozidel.

Práce poskytuje rozbor vývojových tendencí v oboru odpružení vozidel, spojené zejména se zaváděním nových technologií, zejména elektroniky, v automobilovém průmyslu. Na základě zaznamenaných trendů odpružení lze očekávat rychlý pokrok v souvislosti s elektronickým řízením podvozku a možností využít velmi rychlého zpracování informací i následné reakce po jejich vyhodnocení. Dá se předpokládat, že budoucí vývoj bude také podpořen konkurenčním bojem na trhu s automobily.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006. 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] Buckboard.. the Model T of horse-drawn vehicles. *Model Cars Magazine* [online]. 2013 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://www.modelcarsmag.com/forums/topic/72689-buckboard-the-model-t-of-horse-drawn-vehicles/>
- [3] Adamovští oprášili firemní historii, tentokrát voní benzinem. *Strategie E15* [online]. 2007 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://strategie.e15.cz/prilohy/s-print/adamovsti-oprasili-firemni-historii-tentokrat-voni-benzinem>
- [4] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav; ČUPERA, Jiří. *Automobily - podvozky*. 4. vyd. Brno: Avid, spol. s r. o., 2007. 245 s. ISBN 978-80-87143-24-7.
- [5] SIGL, Zdeněk. *Hofmann cz* [online]. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.hofmann-cz.cz/?strana=technika>
- [6] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. 629s. ISBN 80-85920-76-X.
- [7] [http://www.autolexicon.net/obr/clanky/cs/konstrukce\\_pneumatiky\\_003.jpg](http://www.autolexicon.net/obr/clanky/cs/konstrukce_pneumatiky_003.jpg)
- [8] SAJDL, Jan. *Autolexicon.net: Konstrukce pneumatiky* [online]. 2011 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/konstrukce-pneumatiky/>
- [9] How car springs and dampers work. *How a Car Works* [online]. 2016 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: <http://www.howacarworks.com/basics/how-car-springs-and-dampers-work>
- [10] EDGAR, Julian. *Autospeed: Springs and Natural Frequencies* [online]. 2007 [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.autospeed.com/cms/article.html?&title=Springs-and-Natural-Frequencies&A=112279>
- [11] MILMONT, John. *Automotive thinker: Linear vs progressive rate springs* [online]. 2014 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://automotivethinker.com/suspension/linear-vs-progressive-rate-springs/>
- [12] <http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/pic/SpringRateCZ.gif>
- [13] <http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/pic/SpringESet.gif>
- [14] [http://www.trailersauce.com/files/5614/2188/0627/Eye\\_Eye\\_Leaf\\_Spring\\_Components.jpg](http://www.trailersauce.com/files/5614/2188/0627/Eye_Eye_Leaf_Spring_Components.jpg)

- [15] PATERA, Zdeněk. *Auta5P: PODVOZEK - PRUŽINY* [online]. 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek2.php>
- [16] [http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz\\_13.gif](http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvoz_13.gif)
- [17] Leaf Springs for 4WD. *Outback Crossing* [online]. 2013 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: [http://www.outbackcrossing.com.au/FourWheelDrive/Leaf\\_Springs\\_for\\_4WD.shtml](http://www.outbackcrossing.com.au/FourWheelDrive/Leaf_Springs_for_4WD.shtml)
- [18] [http://www.sonicleafsprings.com/images/img\\_13.jpg](http://www.sonicleafsprings.com/images/img_13.jpg)
- [19] How to Properly Measure a Leaf Spring. *Leaf Springs, Helper Springs and Suspension Parts / SD Truck Springs* [online]. 2016 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.sdtrucksprings.com/how-to-measure-leaf-spring>
- [20] VLACHOVÁ, Milada a Ivo JANČÍK. Trabant.cz: Trabant. *Trabant.cz* [online]. 2005 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.trabant.cz/clanky/historie/ims-25-57-trabant>
- [21] Laminated or Leaf Springs (Automobile). What-when-how — In Depth Tutorials and Information [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/laminated-or-leaf-springs-automobile/>
- [22] [http://image2.cccme.org.cn/i\\_supply/2014-09-30/20140930094927000563334.jpg](http://image2.cccme.org.cn/i_supply/2014-09-30/20140930094927000563334.jpg)
- [23] Podvozek - pružiny [Auta5P CZ]. *Auta5P* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek2.php>
- [24] [http://motofocus.cz/media/file/\\_old/UserFiles/Image/KYB%20pruziny/5.jpg](http://motofocus.cz/media/file/_old/UserFiles/Image/KYB%20pruziny/5.jpg)
- [25] <http://www.armoredworks.com/metalcloak/images/NEW-WEBSITE/ARTICLES/SPRING-TYPES-1.jpg>
- [26] <http://t8performance.com/wp-content/uploads/2015/05/h2torsionbig.jpg>
- [27] 1957 Cadillac Eldorado Brougham # 123. *1957-1958 Eldorado Brougham Publications*[online]. 2007 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.eldoradobrougham.com/123/>
- [28] Performance Series Air Suspension Kits from Air Lift Performance. Air Lift Performance | Performance Air Suspension and Air Ride Systems [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.airliftperformance.com/product-lines/performance-air-suspension/#threadedbody>
- [29] IHS Engineering360. *GlobalSpec* [online]. 2009 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: [http://www.globalspec.com/learnmore/mechanical\\_components/springs/air\\_springs](http://www.globalspec.com/learnmore/mechanical_components/springs/air_springs)

- [30]  
<http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20122/airspringdiagram1fe7f81e8c47498386789124658bb6f5.png>
- [31]  
<http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20122/airsping26bed04b4d3f045b3a088fd91e6049080.png>
- [32] ZAJÍČEK, Tomáš. *Auto.cz: Audi allroad quattro - pro silnice i terén* [online]. 2000 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-allroad-quattro-pro-silnice-i-teren-540>
- [33] JANCO, Marcel. Pružení - perovanie automobilu [online]. 2011 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/pruzenie-perovanie-automobilu>
- [34] Co je tlumič pérování automobilu. *Tlumiče PEMA* [online]. 2016 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.tlumice-pema.cz/cs/co-je-tlumic-perovani.html#.VvwdmdKLSt->
- [35] Rozdíl mezi plynokapalinovým a kapalinovým tlumičem. *Autodily Mjauto* [online]. 2016 [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/rozdil-mezi-plynokapalinovym-a-kapalinovym-tlumicem>
- [36] CDC: aktivní tlumiče letos našly cestu do běžných aut. *Auto.cz* [online]. 2004 [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/cdc-aktivni-tlumice-letos-nasly-cestu-do-beznych-aut-16717>
- [37] JANCO, Marcel. *Autorubrik: Pružení - perovanie automobilu* [online]. 2011 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/pruzenie-perovanie-automobilu>
- [38] KŘEN, Karel; KOŠTÁL, Jiří. *Moderní automobil v obrazech*. 1. vyd. Praha : Naše vojsko, 1972. 180 s. ISBN 28-063-72.
- [39] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0
- [40] SAJDL, Jan. *Autolexicon.net: DRC (Dynamic Rolling Control)* [online]. 2011 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/drc-dynamic-rolling-control/>
- [41] SAJDL, Jan. *Autolexicon.net: ABC (Active Body Control)* [online]. 2011 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/abc-active-body-control/>
- [42] Active Body Control ABC. *Mercedes-Benz TechCentrum* [online]. 2016 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: [http://techcenter.mercedes-benz.com/cs\\_CZ/abc/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/cs_CZ/abc/detail.html)

[43] [http://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_abc\\_001.jpg](http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_abc_001.jpg)

[44] SAJDL, Jan. *Autolexicon.net: Airmatic* [online]. 2011 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/airmatic/>

[45] Airmatic. *Mercedes-Benz TechCentrum* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://techcenter.mercedes-benz.com/cs\\_CZ/airmatic\\_dc/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/cs_CZ/airmatic_dc/detail.html)

[46] The Bose Suspension System - How Car Suspensions Work. *Auto / HowStuffWorks* [online]. 2005 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/car-suspension9.htm>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Konstrukční části podvozku

Obr. 2 Znárodnění podhuštěné a přehuštěné pneumatiky

Obr. 3 Konstrukce pneumatiky

Obr. 4 Tlumené kmitání pružiny

Obr. 5 Rezonanční kmitání

Obr. 6 Závislosti deformace pružiny na jejím zatížení: 1 - lineární; 2 - degresivní; 3 - progresivní

Obr. 7 Skládání talířových pružin: A – soulehlé, B- protilehlé, C – kombinované

Obr. 8 Konstrukce listového pera

Obr. 9 Listové pero A – čtvrteliptické; B – půleliptické; C- třičtvrtěeliptické

Obr. 10 Parabolické listové pero

Obr. 11 Listová pružina s opěrným spodním listem

Obr. 12 Pružina miniblok

Obr. 13 Charakteristiky vinuté pružiny (lineární, progresivní, dvojí charakteristika)

Obr. 14 Znárodnění zkrutné tyče (Torsion bar)

Obr. 15 Vlnovcová vzduchová pružina

Obr. 16 Vaková pružina (rolling lobe)

Obr. 17 Hydropneumatické pružící prvky

Obr. 18 Obrázek výškové regulace při zatížení

Obr. 19 Umístění stabilizátoru na vozidle

Obr. 20 Náklon karoserie při průjezdu zatáčkou se systémem ABC a bez něj