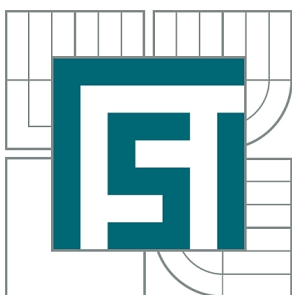




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁPRAVY MODERNÍCH OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

TRANSAXLES OF MODERN VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FRANTIŠEK OKÁNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): František Okáník

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nápravy moderních osobních automobilů

v anglickém jazyce:

Transaxles of modern vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat problematiku náprav a zavěšení kol u moderních osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

V současnosti používané typy náprav u osobních vozidel, jejich výhody a nevýhody, ekonomické hledisko.

Širší pohled na problematiku zavěšení kol včetně problematiky závodních automobilů.

Vývojové trendy, jaký bude další vývoj náprav v oblasti osobních, popř. závodních automobilů.

Seznam odborné literatury:

REIMPELL, J., STOLL, H., EDWARD, A. The automotive chassis - engineering principles. Arnold, London 1996. ISBN 0-340-61443-9.

Heissing, B.: Fahrwerkhandbuch. ISBN 978-3-8348-0105-0

Firemní literatura.

Internet.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 7.11.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání vlastností náprav používaných v osobních automobilech dnešní doby, kinematiku zavěšení kola, výhody a nevýhody jejich konstrukce. Součástí práce je i popis jednotlivých komponent nápravy, jejich konstrukce a funkce. Část práce je zaměřena i na popis náprav závodních vozů a na rozdíly mezi konstrukcí náprav závodních a osobních vozů. Závěrečná kapitola je věnována několika zajímavým inovativním prvkům nápravy, které se výrazně odlišují od standardních komponent.

KLÍČOVÁ SLOVA

Osobní automobil, náprava, zavěšení kola, kinematika zavěšení kola.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on comparing the properties of axles used in modern passenger cars kinematics of wheel suspension and advantages and disadvantages of their construction. The thesis also includes a description of each of the axle component, their construction and function. Part of this thesis is focused on the description of race car axles and their design differences between passenger cars. Final chapter is devoted to several interesting and innovative axle components that are significantly different than standard components.

KEYWORDS

Passenger car, transaxle, wheel suspension, kinematics of wheel suspension.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OKÁNÍK, F. *Nápravy moderních osobních automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 46 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

František Okáník



PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc. za jeho odborné vedení, cenné rady a především trpělivost při zpracování tématu této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Uvedení do problematiky a používané pojmy	10
1.1 Vymezení pojmů	10
1.2 Jízdní dynamika vozidla a kinematika náprav	11
1.3 Geometrie zavěšení kola	12
1.4 Požadavky kladené na nápravy osobních automobilů	14
2 Prvky nápravy	15
2.1 Pneumatika	15
2.2 Kolo	16
2.3 Uložení kola	17
2.4 Zavěšení	18
2.5 Uložení zavěšení	18
2.6 Odpružení	19
2.7 Tlumení	19
2.8 Stabilizace	20
3 Nápravy používané v osobních automobilech	21
3.1 Náprava MacPherson	21
3.2 Lichoběžníková náprava	23
3.3 Víceprvková náprava	26
3.4 Kliková náprava	28
3.5 Kliková náprava se spřaženými rameny	30
3.6 Kyvadlová náprava	31
3.7 Tuhá náprava	32
3.8 Náprava De Dion	35
4 Nápravy v motorsportu	36
4.1 Požadavky kladené na nápravy v motorsportu	36
4.2 Příklady konstrukce nápravy závodního vozu	36
4.2.1 Nápravy vozů pro závody typu Rallye	36
4.2.2 Nápravy vozu Formule 1	37
5 Inovativní technologie v oblasti náprav	40
Závěr	43
Použité informační zdroje	44
Seznam použitých zkratk a symbolů	46



ÚVOD

Automobily slouží pro přepravu osob a nákladů již více než sto let, za tuto dobu se ovšem jejich podoba razantně změnila. Původní stroje měly s moderním automobilem dnešní doby pramálo společného, nicméně základní principy se nezměnily. První automobily měly konstrukci odvozenou od koňských povozů, používala se loukot'ová kola, spojená hřídelí (osou). Tato osa byla otočně uložena k rámu vozu bez jakéhokoliv odpružení. Osobní automobily, jak je známe dnes, získaly svou podobu až v meziválečném období. Tyto vozy ovšem stále využívaly primitivní konstrukci tuhých náprav, většinou s použitím listových per. Až postupem času se vyvinuly do dnešní podoby. Za tuto dobu ovšem vzniklo několik konstrukčních řešení náprav, některé se používají i u moderních automobilů a právě tyto nápravy jsou tématem mé bakalářské práce.

Nápravy osobních automobilů mají nelehký úkol, musí zajistit co nejlepší jízdní vlastnosti a jízdní komfort. Protože je jejich konstrukce jediné, co spojuje vůz s vozovkou, mají taktéž vysoký vliv na aktivní bezpečnost vozu. Aktivní bezpečnost je dle mého názoru mnohem důležitější než pasivní (prevence před havárií je lepší než „léčba“ následků). Přesto jsou nabídkové letáky a recenze vozů zdobeny hvězdičkami testu Euro NCAP, ale o aktivní bezpečnosti se většinou dozvídáme jen minimum.

Téma náprav osobních automobilů jsem si vybral z důvodu osobního zájmu o automobilovou technologii a konstrukci. Poslední dobou se v automobilovém průmyslu začíná projevovat vliv ekologického myšlení, díky čemuž se postupně mění pohonné jednotky automobilů. Od klasických spalovacích motorů, přes hybridní systémy, až po čistokrevné elektromobily. Mou velkou vášní jsou právě elektromobily, bohužel v současné době existuje jen minimum produkčních vozů (např. Tesla Roadster a Model S), o kterých by se dalo zmínit. Nicméně, vždy bude nutná konstrukce spojovací kola s karoserií vozu, ať už bude mít vůz spalovací motor nebo elektromotor.



1 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY A POUŽÍVANÉ POJMY

Nápravy osobních automobilů jsou poměrně konstrukčně složitý systém. Před začátkem popisu jednotlivých prvků a náprav je nutné definovat používané pojmy v této problematice.

1.1 VYMEZENÍ POJMŮ

Většinu z následujících pojmů definují normy ČSN 30 0024 a ČSN 30 0025.

AUTOMOBIL

Motorové vozidlo, které má 4 nebo více kol, obvykle používané pro:

- Doprava osob a nákladů
- Tažení přípojných vozidel používaných pro dopravu osob nebo nákladů [10]

NÁPRAVA

Orgán, jehož prostřednictvím jsou dvě protější kola (pravé a levé) dvoustopého, či vícestopého vozidla zavěšena na nosné konstrukci vozidla. [9]

ZÁKLADNÍ DRUHY NÁPRAV (PODLE KONSTRUKCE)

- **Tuhé nápravy** [9]
- **Výkyvné nápravy** [9]

DRUHY NÁPRAV PODLE (HLAVNÍ) FUNKCE

- **Hnací náprava** - Náprava motorového vozidla, na kterou se přenáší točivý moment motoru a jejíž kola vozidlo pohánějí.[9]
- **Sunutá (hnaná) náprava** - Náprava vozidel, na kterou se nepřenáší točivý moment, a která má jen nosnou, popř. ještě řídicí funkci.[9]
- **Řídicí náprava** - Náprava, která slouží k řízení směru jízdy vozidla. [9]

ŘÍZENÍ VOZIDLA

Ústrojí (i činnost), kterým řidič udržuje nebo mění směr vozidla. [9]

RÁM VOZIDLA

Základní nosná část vozidla, vytvořená z různých nosných prvků [9]

KAROSÉRIE

Část vozidla, ve které jsou vytvořeny prostory pro využití vozidla podle jeho účelu, u motorových vozidel popř. též pro umístění jejich poháněcí soustavy. [9]

SAMONOSNÁ KAROSERIE

Karosérie, která zcela přejímá nosnou funkci rámu vozidla, takže rám nahrazuje. [9]

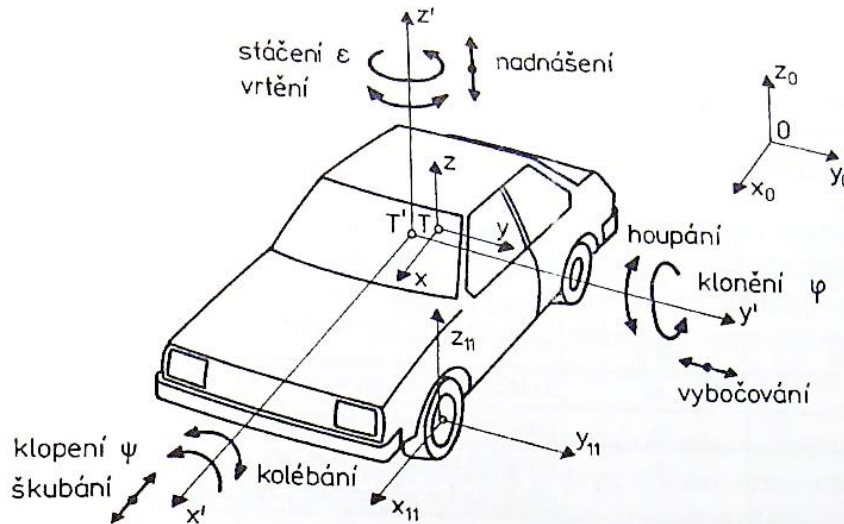
NÁPRAVNICE

Pomocný rám sloužící k uchycení konstrukce zavěšení kola. Používá se především u vozů se samonosnou karosérií.



1.2 JÍZDNÍ DYNAMIKA VOZIDLA A KINEMATIKA NÁPRAV

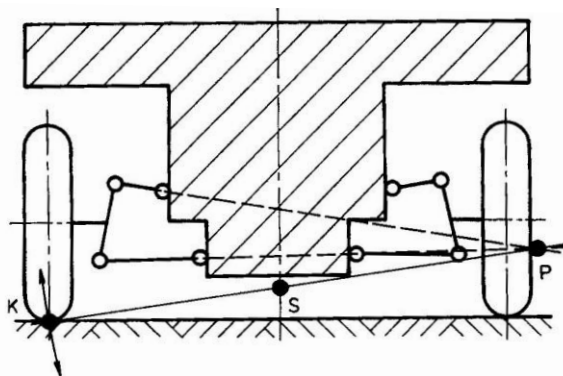
Detailní popis jízdní dynamiky vozidla přesahuje rámec této práce. Proto se zaměřím jen na popis dvou základních prvků, které je možné ovlivnit kinematikou náprav, tj. klopení a klonění karoserie vozidla.



Obr. 1 Souřadnicová soustava vozidla [18]

KLOPENÍ KAROSERIE

Při průjezdu zatáčkou se karoserie vozidla vlivem dostředivých sil naklápí kolem osy klopení. Tento efekt má za následek změnu postavení kol vůči vozovce, zhoršení jízdních vlastností vlivem nesouměrného zatížení kol. U některých náprav se taktéž při naklápění mění úhel odklonu kola a rozchod kol, toto lze omezit, pokud je pól klopení kola P co nejdále od kola.



Obr. 2 Znáornění pólu klopení kola P a středu klopení karoserie S u lichoběžníkové nápravy [2]

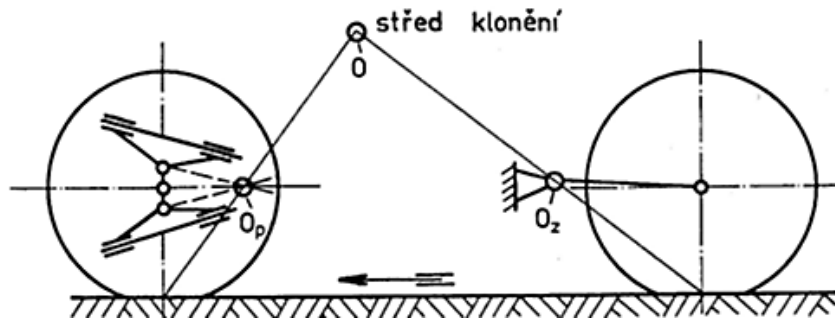
Osa klopení je spojnicí okamžitých středů klopení přední a zadní nápravy. K eliminaci efektu klopení karoserie je nutné, aby osa klopení karoserie procházela těžištěm vozu nebo v jeho blízkosti. Další možností zmírnění klopení je použití příčných stabilizátorů.

KLONĚNÍ KAROSERIE

Během akcelerace, brždění či při náhlé změně valivého odporu kol se karoserie vozidla naklání kolem příčné osy. Tento efekt má za následek změnu postavení rejdových os a taktéž



je negativně ovlivňován jízdní komfort a jízdní vlastnosti. K omezení tohoto jevu je nutné, aby střed klonění karoserie ležel v přibližně stejné výšce nad vozovkou jako těžiště vozu.



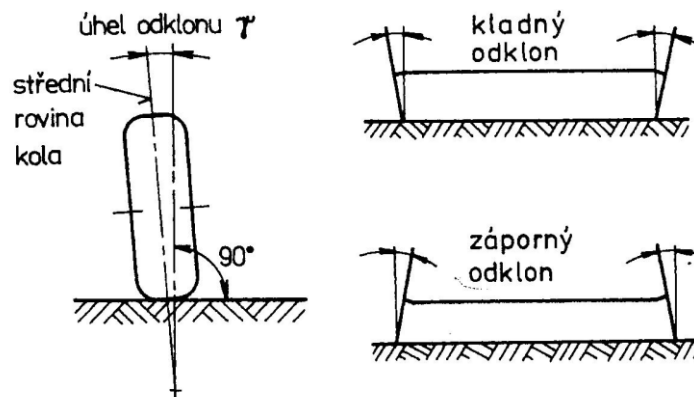
Obr. 3 Střed klonění karoserie vozu pro přední lichoběžníkovou nápravu a zadní klikovou nápravu [2]

1.3 GEOMETRIE ZAVĚŠENÍ KOLA

Přesné postavení je zejména důležité u kol řídicí nápravy. Důvodem této definice je zajištění přesného vedení kola při přímé jízdě i při zatáčení, správného odvalování kol, lehkého, přesného a stabilního řízení. Z tohoto důvodu mají řízená kola a jejich rejdové osy určité odchylky od svislých rovin. Tyto odchylky jsou označovány jako „geometrie zavěšení kola“.

ÚHEL ODKLONU KOLA γ

Jedná se o odklon střední roviny kola vůči svislé rovině vozidla. Vlivem odklonu kola tvoří odvalující se kolo s vozovkou kužel, tím kola působí proti sobě a snižují sklony ke kmitání řízení při jízdě v přímém směru.



Obr. 4 Kladný a záporný úhel odklonu kola γ [2]

U nezávislého zavěšení se velikost úhlu odklonu kola může měnit při propružení. Kvůli změně úhlu odklonu otáčejícího se kola vzniká gyroskopický moment. Tento gyroskopický moment se snaží otáčet kolem okolo rejdové osy a hovoříme o tzv. neklidu řízení. Projevuje se pohyby volantu při přejezdu nerovností, které musí korigovat řidič vlastní silou. Vzhledem k tomuto jevu je důležité, aby se odklon kola měnil při propružení co nejméně.

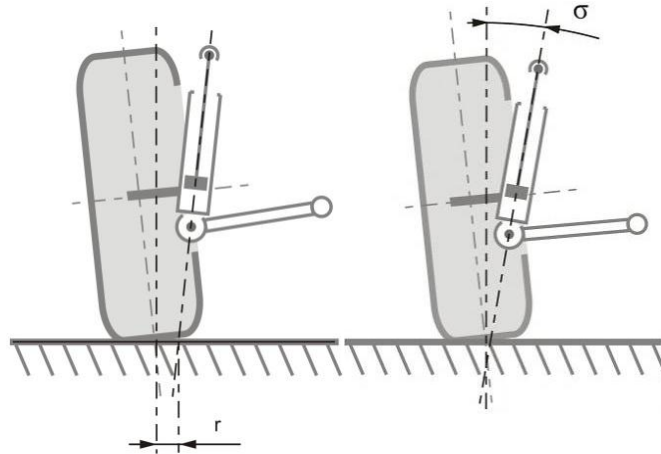
PŘÍKLON REJDOVÉ OSY σ

Jedná se o průmět úhlu, svíraného rejdovou osou a svislou rovinou kola, do příčné roviny. Příklon rejdové osy vyvolává klopný moment, který stáčí kola do přímého směru. Při natočení kola ale dochází k přizvedání vozu, čímž se zvyšuje síla potřebná k vytočení kola do rejdu.



POLOMĚR REJDU r

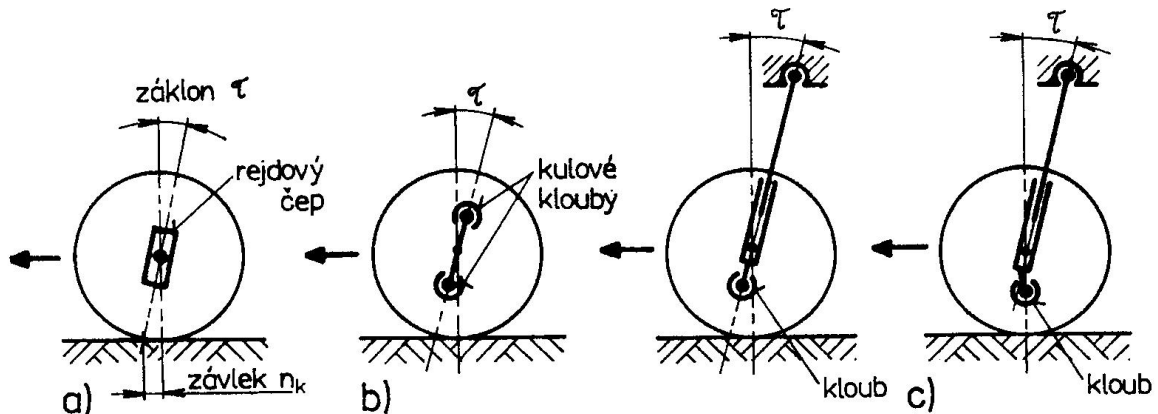
Jedná se o vzdálenost průsečíku rejdové osy s rovinou vozovky a středu styku s pneumatikou. Pokud leží na vnější straně od střední roviny kola, je uvažován jako záporný.



Obr. 5 Poloměru rejdu (vlevo) a příklonu rejdové osy [5]

S rostoucím poloměrem rejdu roste i citlivost nápravy na podélné síly. Pokud jsou tyto podélné síly rozdílné na pravém a levém kole nápravy, musí jejich účinky vyrovnávat řidič působením silou na volant. Často se používá záporný poloměr rejdu, kdy jsou kola tlačena do sbíhavosti. [5]

ZÁKLON REJDOVÉ OSY τ



Obr. 6 Schéma zobrazení závleku a záklonu rejdové osy [2]

Úhel mezi rejdovou osou a svislou osou kola, promítnut do podélné osy vozu. Pokud je osa nakloněna vzad (záklon), je hodnota úhlu kladná, v opačném případě hovoříme o předklonu a hodnota úhlu je záporná. Záklon rejdové osy má na řízení stabilizační účinek, příliš velký záklon ovšem způsobuje zvýšení potřebné síly na vychýlení kola při řízení.

ZÁVLEK n_k

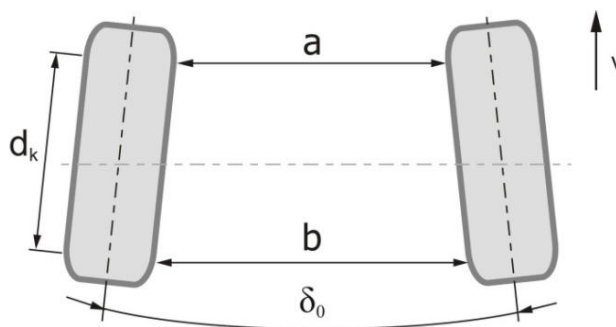
Závlek je vzdálenost průsečíku rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky s vozovkou, měřena v průmětu do podélné roviny. Závlek je kladný pokud je průsečík rejdové osy před stykem pneumatiky s vozovkou (viz obr. 6). Účelem závleku je stabilizace kola, při



jízdě je kolo vlečeno a je více stabilní. Tohoto efektu se používá například u nákupních vozíků, kolečko vozíku se natačí do vlečné pozice vlivem svého valivého odporu.

SBÍHAVOST KOL δ_0

Je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky. Pokud se přední část kola přiklání k vozidlu, kolo je sbíhavé, v opačném případě rozbíhavé. Vlivem valivého odporu, poddajnosti řízení a zavěšení je kolo během jízdy natačeno do rozbíhavosti. Sbíhavost drží kola v přímém směru a zajišťuje tak jejich paralelní odvalování.



Obr. 7 Schématické zobrazení sbíhavosti kol [5]

ACKERMANNOVA PODMÍNKA ŘÍZENÍ

Při průjezdu zatáčkou vnitřní a vnější kolo opisuje kružnici s různým poloměrem. Aby se kola odvalovala a nedocházelo k jejich smýkání, je nutné, aby řídicí kola byla natočena pod různým úhlem. Tohoto lze dosáhnout správnou konstrukcí řízení, to musí splňovat tzv. Ackermannovu podmínku, která říká, že páky řízení společně se spojovací tyčí řízení musí tvořit lichoběžník.

1.4 POŽADAVKY KLADENÉ NA NÁPRAVY OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

Téměř každá automobilová společnost používá unikátní konstrukci náprav automobilů, které vychází z několika základních typů (viz níže.). Na nápravy jsou ovšem kladeny stejné nároky napříč automobilovým spektrem.

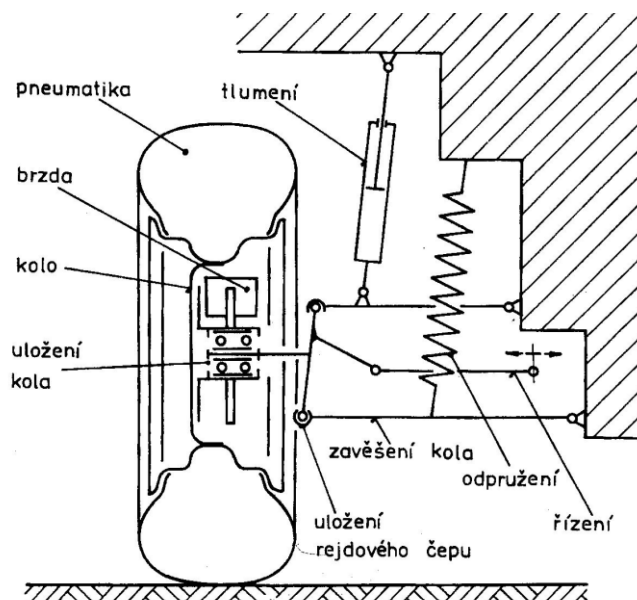
- **Jízdní komfort** – Náprava musí co nejlépe omezovat přenos vibrací do kabiny vozidla. Zároveň nesmí svou konstrukcí vyvolávat další nepříjemné vjemy pro cestující či řidiče (hlučnost při pružení, neklid řízení atd.)
- **Přesné vedení kola** – Parametr důležitý jak z pohledu jízdních vlastností u sportovních vozů, tak i bezpečnosti u všech automobilů. Náprava musí zajistit co nejlepší styk kola s vozovkou za každých okolností.
- **Nízké provozní a výrobní náklady** – Zejména důležitý požadavek u levnějších vozů. Náprava by neměla neúměrně zvyšovat cenu vozu a náklady na jeho údržbu.
- **Minimální rozměry a hmotnost** – Náprava nesmí omezovat nákladní prostor automobilu (vozy typu combi), prostor pro posádku či prostor pro pohonnou jednotku.

Tyto požadavky se většinou navzájem vylučují, z tohoto důvodu je nutné volit kompromis v konstrukci a typu nápravy v závislosti na určení automobilu. U automobilů nižších tříd je kladen důraz na levnou a jednoduchou konstrukci nápravy (např. náprava MacPherson), u vozů vyšších tříd je zase podstatný jízdní komfort a vedení kola (Víceprvkové zavěšení).



2 PRVKY NÁPRAVY

Náprava jako taková je složena z několika funkčních prvků. Je vhodné jednotlivé prvky přiblížit alespoň stručným popisem jejich funkce a konstrukce.



Obr. 8 Schématický zobrazení prvků nápravy [2]

2.1 PNEUMATIKA

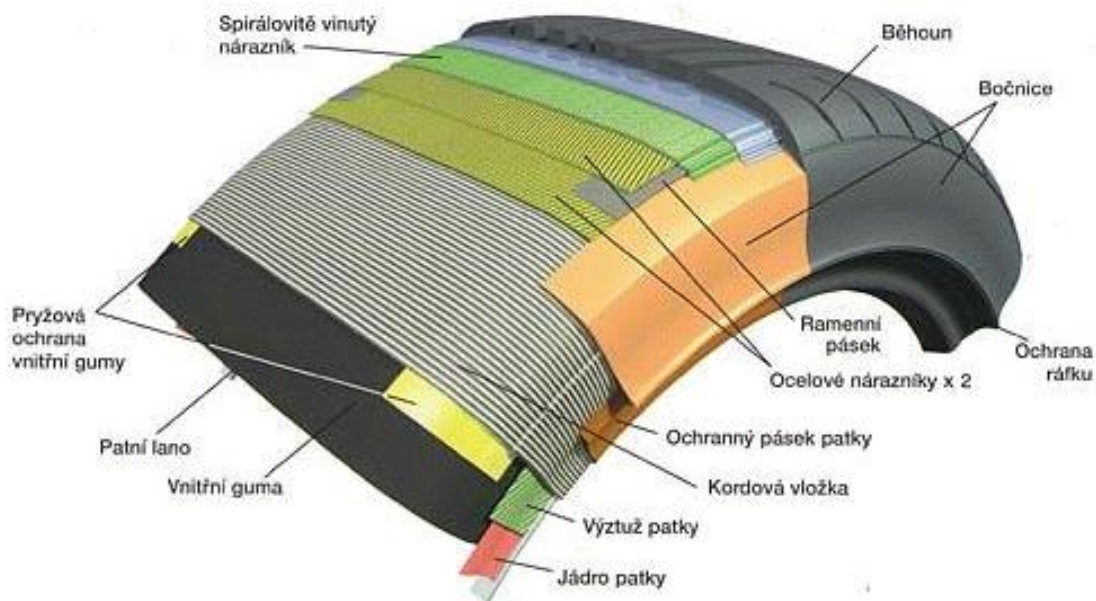
Pojmem pneumatika označujeme celek, složený z pláště, duše a její ochranné vložky. V dnešní době se u osobních automobilů používají převážně bezdušové pneumatiky, kde odpadá duše a její ochranná vložka. V tomto případě přebírá funkci duše plášť a bezdušový ventil zalisovaný do ráfku. U bezdušových pneumatik je nutné zabezpečit dokonalé dosednutí patky pláště na ráfek, aby nedocházelo k úniku tlakového vzduchu.

Pneumatika je jediným prvkem spojujícím automobil s vozovkou, má velký vliv na bezpečnost vozidla a jeho jízdní vlastnosti, proto pneumatiky musí splňovat celou řadu požadavků spojených s její funkcí.

FUNKCE A POŽADAVKY NA PNEUMATIKY [4]

- Spolehlivý přenos krouticího momentu pohonu a brzdného účinku
- Eliminace přenosu slabších rázů od vozovky a snížení účinku bočních sil
- Zajištění stálého a co nejlepšího styku s vozovkou
- Minimalizace valivého odporu, vibrací a hlučnosti
- Odolnost vůči opotřebení při vyšších rychlostech
- Odolnost vůči povětrnostním podmínkám a dlouhá životnost
- Schopnost nesení zvýšené zátěže při akceleraci a brždění

Ke splnění těchto požadavků je důležitá pravidelná kontrola stavu pneumatiky, především tlaku v pneumatice a opotřebení dezénu. V dnešní době se používají převážně bezdušové radiální pneumatiky, proto se můžeme setkat s označením „pneumatika“ i pro vlastní plášť. Konstrukce pláště je převážně tvořena třemi základními komponenty: pryží, vlákny různých materiálů (aramid, rayon) a ocelovým drátem.



Obr. 9 Konstrukce radiální pneumatiky [11]

2.2 KOLO

V dnešní době se většinou používají litá nebo disková kola. Jsou usazena na hlavách kol (nábojích) většinou pomocí kulových či kónických šroubů nebo matic, středění kola je zaručeno přesnou středovou dírou a středem hlavy kola. Kola slouží k uložení pneumatiky (pláště) a musí zabezpečit pevné spojení tak, aby bylo možno přenášet svislé, příčné i obvodové síly bez relativního pohybu mezi kolem a pneumatikou. U bezdušových pneumatik taktéž musí umožnit vzduchotěsné uložení pláště.

Kola osobních automobilů se skládají ze dvou částí:

- **Ráfek** – Obvodová část kola, zabezpečuje dokonalé spojení kola a pláště pneumatiky.
- **Disk** – Středová část kola, umožňuje uchycení kola na náboj.

Vzhledem k způsobu konstrukce a použitých materiálů můžeme kola osobních automobilů rozdělit následovně:

- **Disková kola** – Základní a nejvíce používaná konstrukce kol osobních automobilů. Kolo je složeno z lisovaného ráfku a disku, vyrobených z ocelových plechů. Disk a ráfek jsou následně svařeny v jeden celek. Díky své levné konstrukci se většinou používají u vozů nižších tříd, ale taktéž i u dražších vozů pro provoz v zimním období.
- **Kola z lehkých slitin** – Taktéž označována jako „litá“ kola. Jsou vyrobena jako jeden prvek odléváním případně kování ze slitin na bázi hliníku nebo hořčíku. Vzhledem k přesnějšímu výrobnímu procesu mají tyto kola nižší hmotnost než ocelové disky. Kvalitní kola z lehkých slitin mají taktéž nižší hmotnost než disková kola.
- **Drátová kola** – V tomto případě je ráfek spojen se středovou částí disku pomocí ocelových drátů. Výhodou této konstrukce je nízká hmotnost, vysoká pevnost a dobrá pružnost celé konstrukce. Tyto výhody jsou ovšem degradovány vysokými výrobními náklady a nutností pravidelné údržby (centrování a čištění kola).

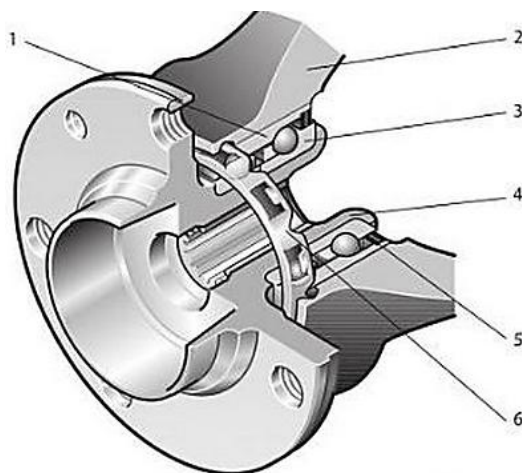


Obr. 10 Ocelový disk, vícedílné kolo z lehké hliníkové slitiny a drátové kolo [15],[13],[14]

2.3 ULOŽENÍ KOLA

Aby se mohlo kolo vozidla volně odvalovat, je nutné jeho otočné uložení vůči vozidlu. K tomuto se využívají výhradně valivá ložiska. Principiálně je nutné použití dvou radiálních ložisek a jednoho axiálního ložiska, v praxi se ovšem využívá jednodušší konstrukce dvou kuželíkových nebo kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem. Toto konstrukční řešení ovšem vyžaduje seřizování ložiskové vůle. Z důvodu dalšího zjednodušení konstrukce se proto většinou používá dvouřadé ložisko s děleným vnitřním kroužkem, uloženo v hlavě ložiska čepu kola (těhlici). Tyto ložiska mají zabudované těsnící kroužky a mazací náplň, která zajišťuje mazání po celou dobu životnosti ložiska.

- 1 Vnější kroužek ložiska
- 2 Hlava ložiska čepu předního kola
- 3 Vnitřní kroužek ložiska
- 4 Hlava předního kola
- 5 Kroužek pro snímání otáček (ABS)
- 6 Zajišťovací kroužek s výstupky



Obr. 11 Uložení (1. generace) předního kola vozu Škoda Fabia II [1]

Uložení dvouřadým ložiskem prošlo několika vývojovými kroky:

- **1. generace** – Uložení základní konstrukce s použitím dvouřadého kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem. Ložisko je zalisováno do hlavy ložiska a zajištěno pojistným kroužkem. Do vnitřního kroužku je zalisován náboj kola s vnitřním drážkováním pro hnací hřídel (v případě hnací nápravy). [2]
- **2. generace** – U tohoto uložení má vnější kroužek ložiska přírubu na uložení kola. Vnitřní kroužek je nalisován na pevném čepu a zajištěn pojistnou maticí. Uložení druhé generace je možné použít jen pro uložení hnaných kol. [2]
- **3. generace** – Vnitřní kroužek ložiska je opatřen přírubou na uložení kola. Vnější kroužek zase obsahuje přírubu pro uchycení (pomocí šroubů) k nápravě. [2]



- **4. generace** – Vnitřní kroužek ložiska obsahuje přírubu pro uchycení kola a stejnoběžný kloub pro připojení hnací hřídele. [2]
- **5. generace** – Integruje brzdový buben. [2]
- **6. generace** – Integruje brzdový kotouč. [2]

2.4 ZAVĚŠENÍ

Zabezpečuje spojení kola a karoserie či rámu vozidla a určuje kinematiku pohybu kola. Zavěšení musí umožnit svislý pohyb při propružení kola, ale zároveň co nejlépe eliminovat nežádoucí pohyby (např. boční posuv či naklápění kola), mluvíme o tzv. vedení kola. Zavěšení taktéž přenáší podélné a příčné síly mezi kolem a karosérii. Volba správné konstrukce má velký vliv na jízdní komfort, jízdní vlastnosti a bezpečnost.

- **Závislé zavěšení** – Jedná se o tzv. tuhou nápravu, nejstarší typ zavěšení. Kola jsou pevně spojena společným nosníkem a vůči sobě se nemohou pohybovat.
- **Nezávislé zavěšení** – Každé kolo je zavěšeno zvlášť a může se pohybovat téměř nezávisle na ostatních, hovoříme o tzv. výkyvné nápravě. S nezávislým zavěšením se setkáme téměř u všech moderních vozů.

Spojení kola s karosérií automobilu řešeno pomocí tyčí či profilů, tzv. ramen. Ramena mohou být jednoduchá či trojúhelníková. Jednoduchá ramena mohou přenášet jen síly, které působí ve směru přímky spojující středy jejich uložení. Výjimku tvoří nosná ramena, která přenáší i příčné (vůči jejich ose) síly do odpružení. Trojúhelníková ramena dokáží přenést i příčné síly, resp. momenty vyvolané těmito silami.



Obr. 12 Jednoduché rameno přední víceprvkové nápravy vozu Škoda Superb (vlevo) a trojúhelníkové rameno přední nápravy MacPherson vozu Škoda Fabia [12]

2.5 ULOŽENÍ ZAVĚŠENÍ

Uložení prvků zavěšení kola slouží k připojení jednotlivých ramen k rámu, karosérii či nápravnicí a těhlici kola. Jejich účelem je umožnit ramenům pohyb při propružení kola, ale zároveň omezit pohyb při působení příčných a podélných sil. Má taktéž za úkol snížení přenosu vibrací z kola na karosérii vozidla. Nejčastěji se používají tyto uložení:

- **Kulový čep** – Odebírá 3 stupně volnosti, umožňuje pouze rotaci kolem 3 os. Většinou se používá k připojení ramen k těhlici.
- **Pryžové lůžko** – Podle tvaru a konstrukce odebírá v omezené míře různý počet stupňů volnosti. Hlavním účelem je omezení přenosu vibrací od vozovky do karoserie.



- **Miska s axiálním ložiskem** – Používá se pro zavěšení typu MacPherson, umožňuje natočení tlumiče s pružinou při řídicím pohybu kola.



Obr. 13 Kulový čep, pryžové lůžko uložení ramene a uložení tlumiče přední nápravy MacPherson vozu Škoda Fabia [12]

2.6 ODPRUŽENÍ

Odpružení izoluje posádku či přepravovaný náklad od nežádoucích otřesů a zaručuje stálý styk pneumatiky s vozovkou při přeježdění výmolů, čímž ovlivňuje jízdní vlastnosti a bezpečnost automobilu. Kvalita odpružení má zásadní vliv na pohodlí posádky, především frekvence vlastních kmitů odpružení. Tato frekvence je závislá na tuhosti pružiny, tvrdší pružiny mají vyšší frekvenci kmitání. Pro člověka je nejpříjemnější frekvence 60 a 80 kmitů za minutu, počet kmitů přibližně odpovídající frekvenci chůze. Tato frekvence se mění v závislosti zatížení vozu. Aby byla zajištěna přijatelná frekvence kmitání při prázdném i plně zatíženém vozu, je nutné zajistit progresivní průběh tuhosti odpružení. Kvalita odpružení taktéž závisí na poměru velikostí odpružené a neodpružené hmotnosti.

- **Neodpružená hmotnost** - hmotnosti částí vozidla po odpružení (kola, uložení kol, části zavěšení, řízení a brzd, částečně i prvky tlumení a odpružení). [3]
- **Odpružená hmotnost** - hmotnost vozidla nad pružinami (zbývající hmoty). [3]

K odpružení je možné použít některý z následujících prvků:

- **Vinuté pružiny**
- **Listová pera**
- **Torzni tyče**
- **Pryžové bloky**
- **Vzduchové odpružení**
- **Hydropneumatické odpružení**

Každý z předchozích druhů odpružení má své výhody a nevýhody, je nutné volit vhodný kompromis v závislosti na požadavcích a určení vozu.

2.7 TLUMENÍ

Běžné pružiny používané ve vozidlech mají velmi nízký, či dokonce žádný samo tlumící efekt. Tato vlastnost by měla za následek kmitání karoserie po přejezdu nerovnosti na „nekonečně“ dlouhou dobu. Tento efekt je nutné kontrolovat a k tomuto účelu slouží tzv. tlumiče.



Obr. 14 Přední (náprava MacPherson) a zadní tlumič vozu Škoda Fabia [12]

Tlumič je ve své podstatě válec s pístem a olejovou náplní. Píst obsahuje samočinné škrtící ventily, umožňující kontrolované přetlačování olejové náplně mezi pracovními prostory. Pomocí počtu či rozměru škrtících ventilů je možné regulovat tlumící účinek pro stlačování či natahování tlumiče. V současné době se můžeme setkat se dvěma základními typy tlumičů:

- **Kapalinový** – Pracovní látkou je olej, prostor nad pracovní látkou je přístupný atmosférickému vzduchu. [3]
- **Plynokapalinový** – Pracovní látka je taktéž olej, ale prostor nad pracovní látkou je vyplněn plynem (dusíkem). Tímto řešením udržuje trvalý přetlak v tlumiči a omezuje možnost zpěnění oleje v tlumiči. [3]

Na automobilu jsou tlumiče instalovány mezi kolo a karosérii. K uchycení se používají kovopryžová lůžka, sloužící k eliminaci přenosu vibrací. Většinou bývá válec tlumiče uložen na mostu nápravy či ramenu zavěšení a pístnice je uchycena ke karosérii či rámu vozidla. V některých případech je tlumič funkční částí zavěšení kola (náprava MacPherson).

2.8 STABILIZACE

Účelem systému stabilizace vozidla je omezit naklánění vlivem odstředivých sil při průjezdu zatáčky, čímž přispívá k lepšímu styku kola s vozovkou a zajišťuje lepší ovladatelnost vozu. K tomuto účelu slouží stabilizátor, který během průjezdu zatáčky přenáší část svislých sil působící na vnější kolo na kolo vnitřní. Tímto je vnitřní strana automobilu odlehčena a klesá dolů, snižuje se poloha těžiště a automobil se částečně vyrovná. [4] V současnosti se používá několik druhů stabilizátorů:

- **Zkrutné stabilizátory** – Nejjednodušší a nejpoužívanější řešení, využívá torzní tyč ve tvaru „U“, která je ve svém středu uchycena kovopryžovými pouzdry k pomocnému rámu. Konce jsou kloubově uchyceny k ramenu či tlumiči nápravy. Míra stabilizace závisí na průměru zkrutné tyče.
- **Olejové stabilizátory** – Méně obvyklý způsob stabilizace, funguje na principu dvou olejových válců s písty, každý u jednoho kola. Při propružení je tlačěn olej pístem přes škrtící ventily na opačnou stranu pístu druhého válce.
- **Elektronicky řízené stabilizátory** – Spojuje principy dvou předchozích. Zkrutná tyč je spojena s rameny či tlumiči nápravy pomocí olejových válců s písty. Při propružení je olej tlačěn přes elektronicky ovládané škrtící ventily, jejich řízením je redukována síla působící na zkrutný stabilizátor. Tím je možné řídit stabilizační účinek.



3 NÁPRAVY POUŽÍVANÉ V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

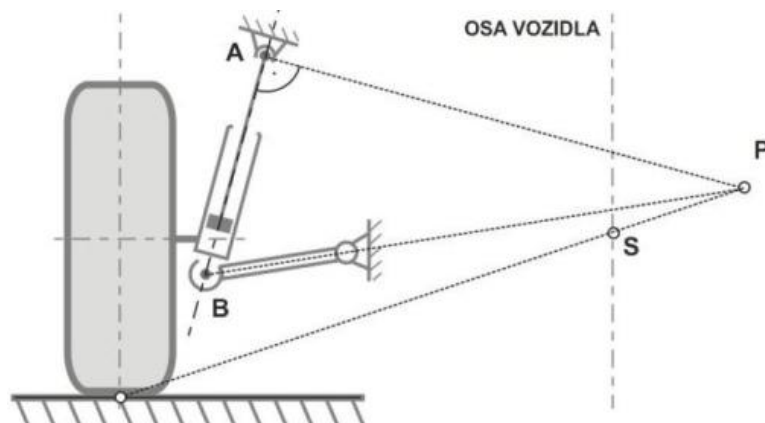
V současné době se v segmentu osobních automobilů používá několik typů náprav a to především výkyvného typu. Většina z nich prodělala za dobu své existence několik modifikací konstrukce. V následující kapitole se pokusím přiblížit konstrukci a problematiku jednotlivých typů náprav.

3.1 NÁPRAVA MACPHERSON

Náprava MacPherson je odvozena od lichoběžníkové nápravy (viz níže), přičemž je vrchní rameno nahrazeno posuvným vedením. Díky tomuto řešení je konstrukce nápravy v horní části více kompaktní a poskytuje více prostoru pro agregát či zavazadlový prostor. [2]

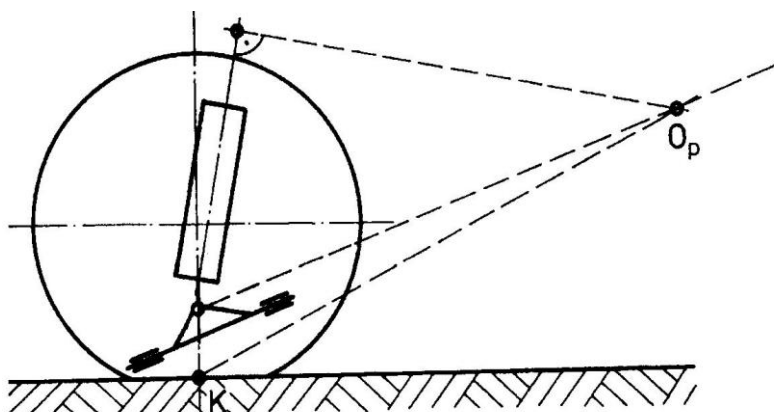
Tuto nápravu navrhl Earle Steele MacPherson ve čtyřicátých letech minulého století, původně měla být poprvé použita ve voze Chevrolet Cadet. Vůz se ovšem nikdy nedostal do produkce a náprava poprvé spatřila světlo světa až ve voze Ford Vedette roku 1948. [5]

KINEMATIKA



Obr. 15 Kinematické schéma nápravy MacPherson (příčný pohled) [5]

Okamžitý pól klopení kola P a klopení karoserie S leží vždy nad rovinou vozovky. Odklon kola se mění při propružení kola i při náklonu karoserie, toto chování má za následek kmitání řízení způsobené gyroskopickým momentem. Aby byla docílena vhodná poloha středu klonění nápravy, musí být osa kývání spodního ramene šikmá.



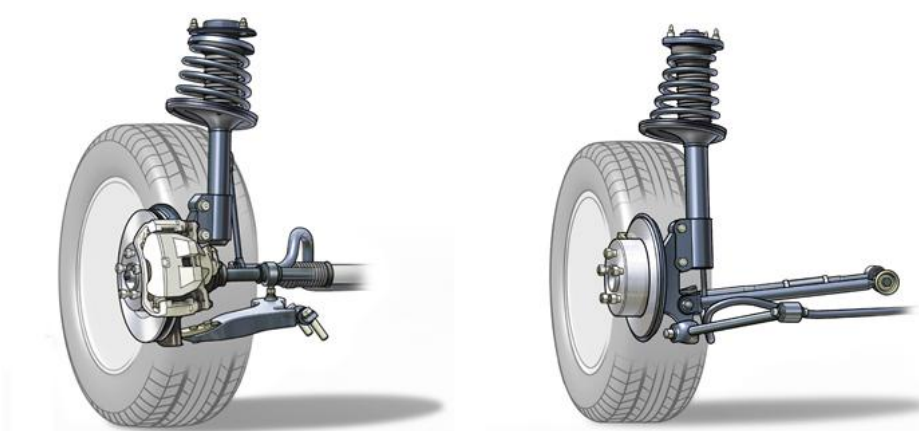
Obr. 16 Kinematické schéma nápravy MacPherson (boční pohled) [2]



KONSTRUKCE

Spodní rameno většinou bývá trojúhelníkové a vzhledem k tomu, že je blíže k vozovce, tak přenáší i větší podíl příčných a podélných sil. V některých případech (zadní nápravy) je trojúhelníkové rameno nahrazeno jednoduchým příčným ramenem, které přenáší jen příčné síly, podélné síly jsou pak přenášeny ramenem zkrutného stabilizátoru nebo dodatečným vlečným ramenem.[2]

Posuvné vedení je realizováno tlumičem, protože je zatěžováno momentem od příčných sil, je nutná masivnější konstrukce tlumiče a to především jeho pístnice. Pokud se jedná o řídicí nápravu, musí horní uložení pístnice umožnit její natočení, přitom je důležité, aby nebyla kroucena pružina při řídicím pohybu kola. Tomuto lze zabránit otočným uložením jednoho konce pružiny, většinou jsou použita axiální valivá ložiska.[2]



Obr. 17 Přední (vlevo) a zadní náprava vozu Toyota Camry 2009 [24]

K odpružení většinou slouží vinutá pružina, uložena na plášti tlumiče. Díky tomuto řešení není vlastní posuvné vedení zatěžováno svislými silami a je tím omezeno ložiskové tření při svislém zatížení. Nicméně, toto tření se stále projevuje a je způsobeno momentem od příčných a podélných sil při brzdění, akceleraci či zatáčení. Ložiskové tření v tlumiči je nežádoucí jev, který může při přejezdu malých nerovností zablokovat pohyb posuvného vedení, tím vyřadit z činnosti celý systém odpružení a tlumení, a vozidlo začne kmitat jen na pneumatikách. Tento jev se dá omezit pomocí šikmého uložení pružiny a pryžovým uložením horního ložiska, umožňující relativní pohyb teleskopické vzpěry vůči karoserii.[2]

POUŽITÍ

Náprava MacPherson se užívá jako:

- Přední hnací či hnaná náprava.
- Zadní hnaná či hnací náprava.

S nápravou typu MacPherson se většinou setkáme ve vozech nižší a nižší střední třídy kde je použita jako přední hnací náprava. Nicméně je ji možné použít, s mírnou změnou konstrukce, i jako zadní hnanou či hnací nápravu. Tohoto se využívá i v motorsportu, konkrétně v rallye. Náprava MacPherson má nespornou výhodu ve své jednoduché a nenákladné konstrukci, která využívá minimální počet dílů. Nevýhodou jsou horší jízdní vlastnosti a jízdní komfort z důvodu velké změny odklonu kola při propružení a velkého ložiskového tření v tlumiči, proto se ve vozech vyšších tříd téměř nepoužívá.



MODIFIKACE NÁPRAVY MACPHERSON

Náprava typu MacPherson má také několik modifikací, jednou z nich je konstrukce, kterou použila společnost Rover ve vozech Rover 2000 a 3500 po 2. světové válce. Důvodem této modifikace byl prototyp vozu T4, poháněn plynovou turbínou. Vzhledem k velkým prostorovým nárokům této pohonné jednotky bylo nutno omezit prostor pro přední nápravu.



Obr. 18 Přední náprava vozů Rover 2000 a 3500 [8]

Tato modifikace používá vodorovně loženou jednotku odpružení a tlumení, na kterou jsou přenášeny svislé síly působící na kolo pomocí dvouramenné páky.

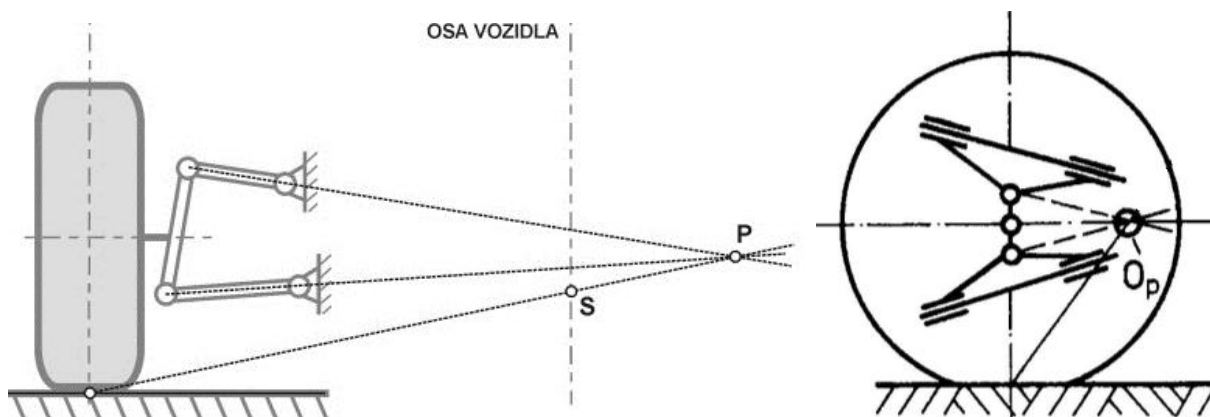
Vůz s plynovou turbínou se ovšem do produkce nikdy nedostal. Místo ní byly použity klasické pístové spalovací motory o objemu 2,0 a 3,5 litru. Konstrukce přední nápravy ovšem zůstala zachována.

3.2 LICHOBĚŽNÍKOVÁ NÁPRAVA

Lichoběžníková náprava je tvořena dvěma nestejně dlouhými trojúhelníkovými rameny, která v průmětu do svislé roviny tvoří lichoběžník.

KINEMATIKA

Při pro pružení dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti a rozchodu kol, což má nepříjemný vliv na jízdní vlastnosti vozu. Tyto jevy je možné redukovat vhodnou volbou délky ramen.



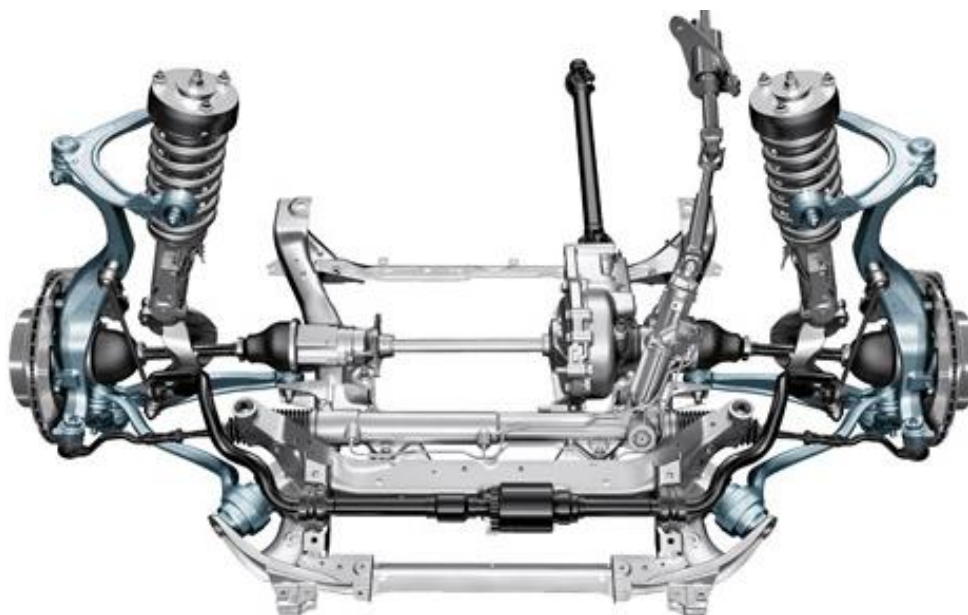
Obr. 19 Kinematické schéma lichoběžníkové nápravy (příčný pohled vlevo a boční pohled vpravo) [5][2]



Pokud budou ramena nápravy rovnoběžná nebo téměř rovnoběžná, leží okamžitý pól klopení kola v nekonečnu popřípadě ve velké vzdálenosti od kola. Toto řešení snižuje odklon kola a změnu rozchodu kol při propružení. Tato varianta ovšem posouvá střed klopení nápravy do roviny vozovky, což má nepříznivý vliv na polohu osy klopení vozidla. Pokud mají ramena zavěšení nestejnou délku, mění se úhel, který svírají při propružení kola. Tím se mění i poloha okamžitého bodu klopení kola a poloha středu klopení nápravy. Pro dosažení optimální polohy bodu klonění nápravy je nutné, aby byly osy ramen nápravy skloněny.

KONSTRUKCE

Zavěšení je realizováno horním a spodním příčným trojúhelníkovým ramenem, většinou bývá horní rameno kratší než spodní. Ramena jsou zavěšena k nápravnici, rámu nebo v některých případech k rozvodovce. Trojúhelníková ramena, uložená v pryžových pouzdech, jsou použita z důvodu nutnosti přenesení podélných sil od vozovky. Pružiny většinou bývají uloženy na spodním ramenu. Díky tomu, že je delší, při pohybu kola koná menší úhlové pohyby a pružina může být pevně vetknuta, aniž by docházelo k jejímu vyboulení. Spodní rameno bývá robustnější konstrukce z důvodu přenášení svislých, větší části podélných a příčných sil. Pokud se nad nápravou nachází agregát, bývá horní rameno výrazně menší z důvodu úspory prostoru.



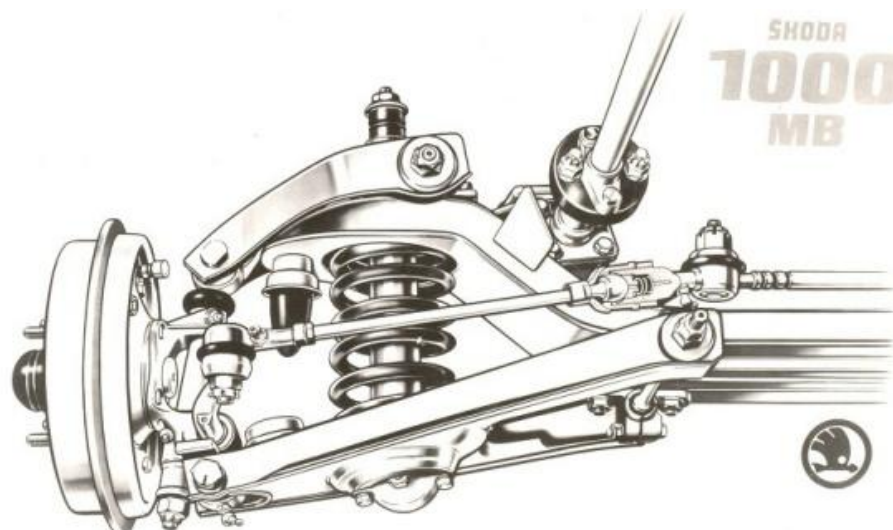
Obr. 20 Přední lichoběžníková náprava vozu BMW X6 [5]

POUŽITÍ

Lichoběžníkovou nápravu lze použít jako:

- Přední hnanou i hnací nápravu
- Zadní hnanou i hnací nápravu

Lichoběžníková náprava má mnoho výhod, při správné konstrukci a geometrii zabezpečuje dobré vedení kola a vynikající jízdní vlastnosti. Další výhodou je taktéž možnost nízké stavby v porovnání s nápravou MacPherson. Oproti nápravě MacPherson je ovšem nákladnější a proto se většinou používá jako přední náprava vozů vyšší třídy či jako nápravy sportovních vozů.



Obr. 21 Přední lichoběžníková náprava vozu Škoda 1000 MB [5]

V minulosti se používala i jako přední náprava vozů Škoda, konkrétně modelu MB 1000 a následně v několika modelech až do uvedení modelu Favorit s nápravou MacPherson.

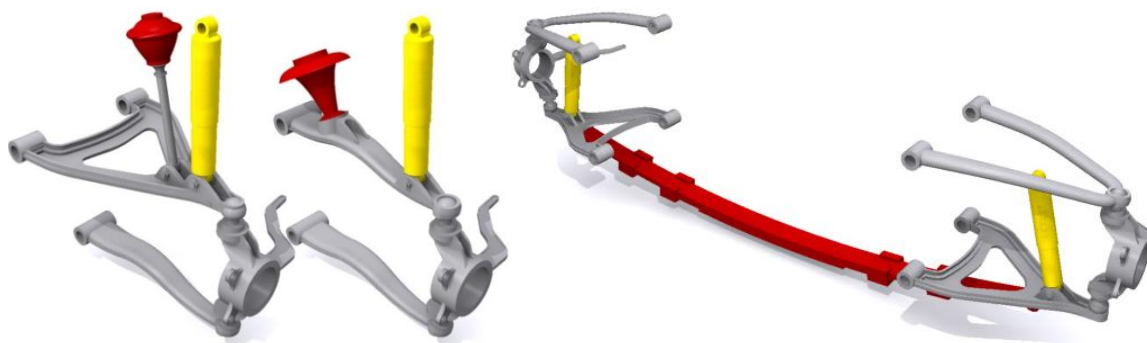
MODIFIKACE LICHOBĚŽNÍKOVÉ NÁPRAVY

V historii se používalo mnoho různých modifikací lichoběžníkové nápravy. V motorsportu, konkrétně v soutěži vozů Formule 1, se uplatnila lichoběžníková náprava, která používá obrácené spodní rameno a dodatečná vlečná ramena.



Obr. 22 Zadní lichoběžníková náprava závodního vozu Ferrari 312 z roku 1968 [22]

Další možností rozlišení lichoběžníkové nápravy je podle použitého pružícího prvku. Mohli jsme se setkat například s lichoběžníkovou nápravou odpruženou výhradně jen pryžovými bloky u vozu BRC mini. Tuto nápravu navrhl Dr. Alex Moulton v roce 1959.



Obr. 23 Lichoběžníková náprava odpružena pryžovými bloky (vlevo) a listovým perem [8]

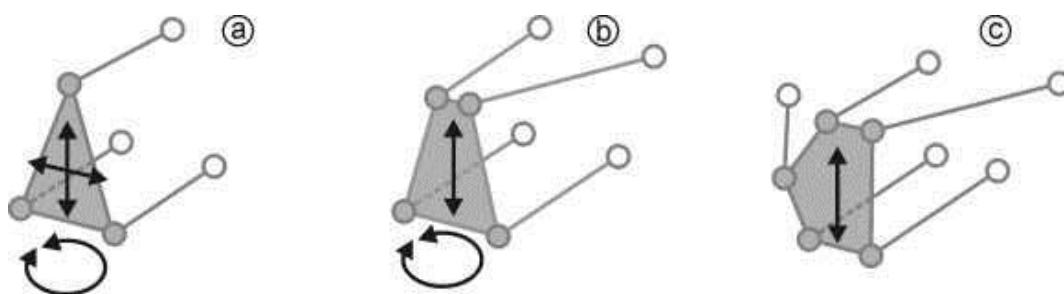
Dříve hojně používaná listová pera našla své uplatnění i u tohoto typu nápravy. Pero bylo loženo příčně a mohlo zcela nahrazovat spodní či vrchní rameno. Toto řešení donedávna využívala společnost Chevrolet jako zadní nápravu svých vozů Corvette. Z důvodu úspory hmotnosti bylo použito listové pero z kompozitního materiálu.

3.3 VÍCEPRVKOVÁ NÁPRAVA

Víceprvková náprava vznikla modifikací lichoběžníkové nápravy a v současnosti se jedná o nejvíce složitý systém zavěšení v osobních automobilech. I přes svou složitost ovšem vyniká svými vlastnostmi nad jednoduššími systémy.

KINEMATIKA

Kinematické vlastnosti víceprvkové nápravy závisí na počtu použitých ramen a na vlastním konstrukčním řešení. Tyto faktory se často liší a každá společnost většinou používá jedinečnou konstrukci. Z toho důvodu není všeobecně definovat přesnou kinematiku tohoto systému. Nicméně můžeme určit vedení kola v závislosti na počtu použitých ramen (uvažujeme jednoduchá ramena s kulovými klouby na obou koncích).



Obr. 24 Kinematické schéma víceprvkové nápravy [5]

- 3 ramena, je umožněn podélný, vertikální posuv a rotace kolem svislé osy (3 stupně volnosti)
- 4 ramena, umožněn vertikální posuv kola a rotace kolem svislé osy (2 stupně volnosti)
- 5 ramen, umožněn pouze vertikální posuv kola, nejpřesnější vedení (1 stupeň volnosti)

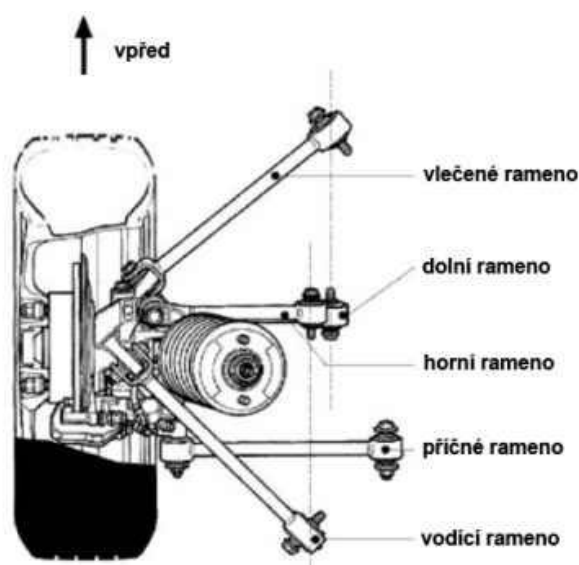
Jak je patrné z obrázku, zavěšení s pěti rameny zabezpečuje nejkvalitnější vedení kola, nicméně toho lze využít jen u zadní nápravy. U předních, řídicích náprav, se používají systémy se třemi či čtyřmi rameny, které umožňují řídicí pohyby kol. Zadní víceprvkové nápravy mohou zase při správné konstrukci umožnit tzv. pasivní řízení. V závislosti na zatížení (např. při průjezdu zatáčkou) se mění úhel sbíhavosti kol.



KONSTRUKCE

K zavěšení se používají jednoduchá přímá či trojúhelníková ramena. Tyto ramena mohou být příčná, podélná či dokonce šikmo ložena (v horizontální i vertikální rovině). Cílem konstrukce je co nejlepší oddělení podélných a příčných sil působících na kolo od sil svislých. Díky nezávislosti ramen lze taktéž dosáhnout rozdílných tuhostí zavěšení v příčném a podélném směru, tímto se dramaticky zlepší jízdní komfort a jízdní vlastnosti.

Vlastní konstrukce se velmi liší napříč automobilovým průmyslem. Téměř každá automobilka (koncern) používá odlišnou, vlastní konstrukci. Principiálně ovšem lze rozlišit funkci jednotlivých ramen. Na dalším obrázku je víceprvkové zavěšení s pěti rameny, každé rameno je loženo tak, aby přenášelo jen osově síly. Podélné síly od vozovky jsou zachyceny vlečným a vodícím ramenem. Příčné síly jsou zachyceny příčnými rameny různých délek (viz obr. 25: dolní, horní a příčné rameno). Tato konstrukce taktéž zabezpečuje pohyb kola po trajektorii blížící se přímce, čímž je omezeno klopení karoserie při brždění a akceleraci.



Obr. 25 Zadní víceprvková náprava vozu Honda Accord [5]

Odpružení a často i tlumení bývá uloženo na nosném, většinou příčném rameni. Toto rameno je zatěžováno vyšší silou než ostatní, proto může být vyrobeno z oceli (ostatní ramena bývají vyrobena z hliníkových slitin) a má mnohem mohutnější konstrukci.



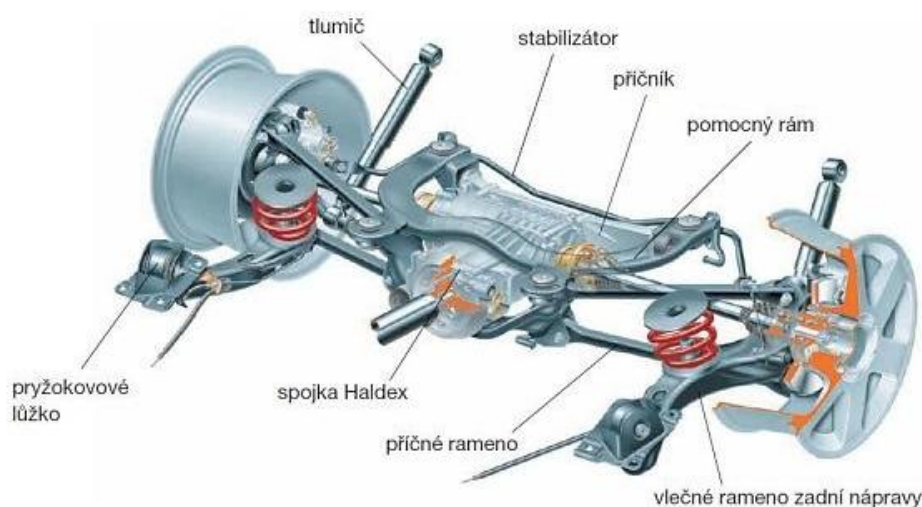
Obr. 26 Zadní víceprvková náprava vozu BMW řady 1 s pomocným rámem [6]



Velmi často se pro uložení ramen nápravy používá pomocného rámu, tzv. nápravnice. Tento rám velmi usnadňuje instalaci nápravy do vozidla a taktéž díky své konstrukci zvyšuje tuhost celého zavěšení. Ke karoserii vozidla může být uložen pomocí kovopryžových pouzder.

POUŽITÍ

Víceprvkový závěs má mnoho výhod. Vedle výborného vedení kola, vyniká taktéž tlumením vibrací od vozovky a tím i výborným jízdním komfortem. Dalšími výhodami jsou vysoká prostorová účinnost a nízká hmotnost. Na rozdíl od nápravy MacPherson taktéž vyniká nízkým ložiskovým třením v tlumící jednotce. Pro konstruktéry je velkou výhodou možnost změnit konstrukci jednoho ramene bez nutnosti změny ostatních.



Obr. 27 Zadní víceprvková náprava vozu Škoda Octavia 4x4 [5]

Díky své konstrukční variabilitě má taktéž široké možnosti použití. Je jí možné použít jako:

- Přední hnaná či hnací náprava
- Zadní hnaná i hnací náprava

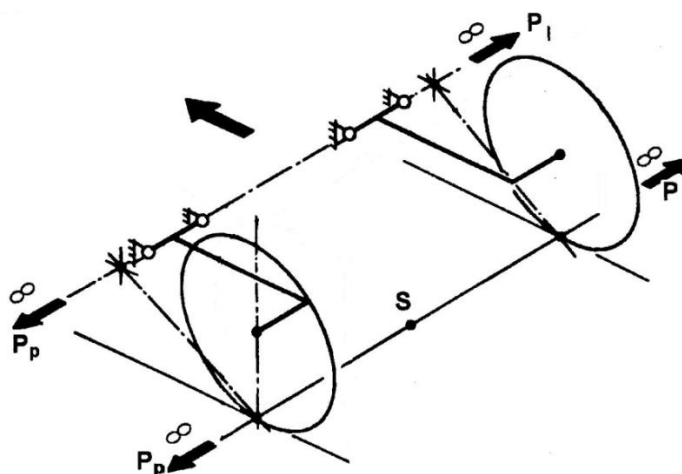
Vzhledem k náročné konstrukci má taktéž několik nevýhod. Jsou to především vysoké výrobní náklady a náročná údržba. V našich podmínkách se taktéž setkáváme s nižší životností jednotlivých ramen, především jejich pryžových lůžek. Následná výměna ramen je finančně více náročná, než je tomu např. u nápravy typu MacPherson. Z těchto důvodů se víceprvkový závěs téměř výhradně používá u vozů vyšších tříd či u sportovních vozů.

3.4 KLIKOVÁ NÁPRAVA

Kliková náprava je jeden z konstrukčně nejjednodušších způsobů zavěšení kol osobních automobilů. V dnešní době se velmi hojně používá zejména u vozů nižších tříd jako zadní hnaná náprava.

KINEMATIKA

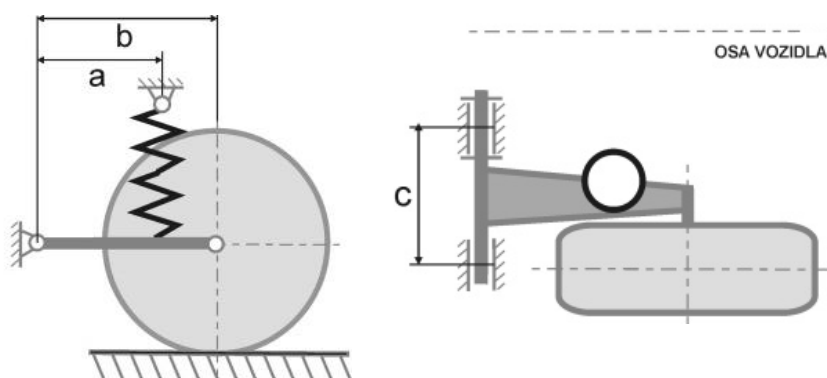
Vzhledem ke konstrukci nápravy se při propružení mění jen rozvor vozu, odklon kola zůstává nezměněn. Okamžité středy klopení kol leží v nekonečnu a střed klopení nápravy se nachází v rovině vozovky. Z tohoto důvodu se karoserie více naklání během průjezdu zatáčkou. Střed klonění nápravy leží na ose kývání ramen nápravy.



Obr. 28 Kinematické schéma klikové nápravy (izometrický pohled) [2]

KONSTRUKCE

Kliková náprava je tvořena podélnými rameny s příčnou osou kývání, která jsou uložena v pryžových ložiscích. Z důvodu minimalizace sil působících na toto uložení, přenosu vibrací a hluku do karoserie je vhodné zvolit konstrukční řešení s pružinou co nejbližší nad stopou pneumatiky (vzdálenost a se blíží vzdálenosti b). Pokud je rameno nápravy uloženo ve dvou ložiscích, je vhodné, aby byla vzdálenost mezi nimi co největší v zájmu minimalizace zatížení vznikajících v uložení při působení příčných sil od vozovky. [5]

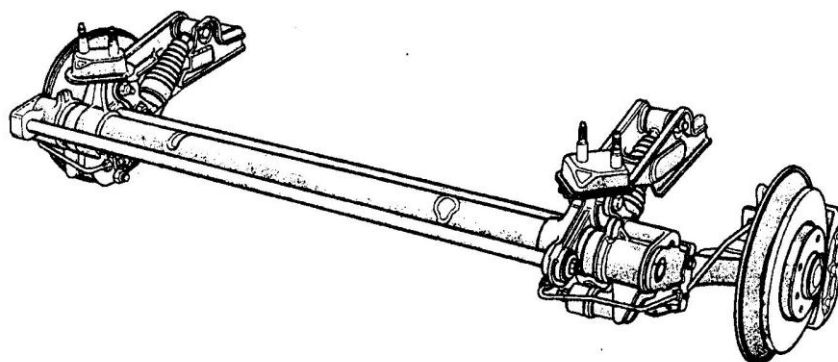


Obr. 29 Náčrt konstrukce klikové nápravy, boční pohled (vlevo) a pohled shora [5]

V některých případech mohou být ramena spojena příčnou torzní pružinou (stabilizátorem), která se podílí na tuhosti nápravy. Tato pružina se postupem času začala nahrazovat torzní příčkou, spojující obě ramena, takové konstrukční řešení je označováno za tzv. spřaženou klikovou nápravu (viz dále). [5]

POUŽITÍ

Tento typ nápravy se převážně používá jako hnaná zadní náprava ale lze ji použít i jako nápravu hnací. Její velkou výhodou je jednoduchá konstrukce a nízké nároky na prostor. Při použití této nápravy je možné zachovat nízkou podlahu úložného prostoru automobilu, což z ní dělá ideální nápravu pro použití ve vozech typu kombi či hatchback. Díky nízkým nákladům na výrobu i údržbu nalezne své uplatnění i ve vozech nižší třídy a to především ve své modifikované podobě se spřaženými rameny.



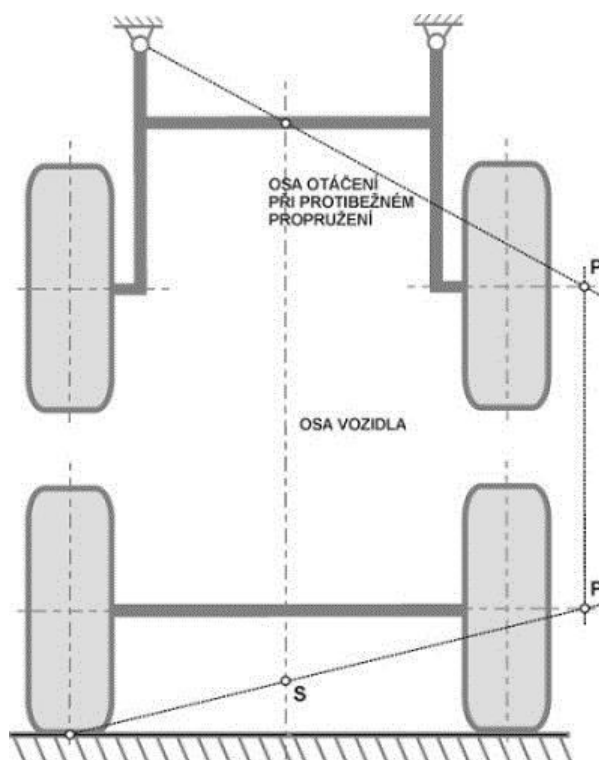
Obr. 30 Zadní náprava vozu Citroën ZX, odpružení je realizováno zkrutnými tyčemi [2]

3.5 KLIKOVÁ NÁPRAVA SE SPŘAŽENÝMI RAMENY

Jak již tento název napovídá, náprava vychází z klikové nápravy. Konstrukce se liší použitím torzní příčky mezi rameny na místo zkrutného stabilizátoru.

KINEMATIKA

Z kinematického hlediska se nachází na pomezí mezi klikovou a tuhou nápravou (mezi nezávislým a závislým zavěšením). Na rozdíl od klasické klikové nápravy leží střed klopení nápravy nad rovinou vozovky. Střed klonění nápravy je stejný jako v předchozím případě.



Obr. 31 Kinematické schéma klikové nápravy se spřaženými rameny [5]

Vzhledem k odlišné konstrukci než u klasické klikové nápravy se tato náprava chová různě při propružení kola. Během stejného propružení obou kol nápravy se mění jen rozvor vozu, nicméně během protiběžném propružení či propružení jen jednoho kola nápravy se výrazně mění odklon kola.



KONSTRUKCE

Náprava se skládá ze dvou vlečných ramen spojených torzní příčkou. Tato příčka se chová jako torzní stabilizátor a zároveň zachycuje příčné síly přenášené od vozovky. Vlastní náprava je připevněna ke karoserii pomocí kovopryžových lůžek. Toto připojení umožňuje při správné konstrukci dobré samo říditelné vlastnosti nápravy. Nevýhodou této konstrukce je vysoké smykové zatížení svarů spojující ramena a torzní příčku při protiběžném propružení čímž je omezeno maximální zatížení nápravy.



Obr. 32 Kliková náprava se spřaženými rameny [23]

POUŽITÍ

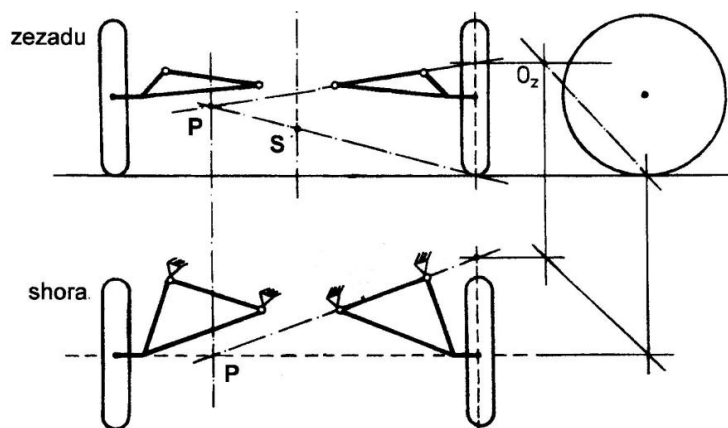
Kliková náprava se spřaženými rameny vyniká svou jednoduchou konstrukcí, nízkými výrobními náklady a jednoduchou montáží. Minimální prostorové nároky neomezují zavazadlový prostor, to z ní činí ideální nápravu pro vozy typu hatchback a combi. Tato náprava má taktéž relativně dobré jízdní vlastnosti a hojně se používá jako zadní náprava vozů nižší a nižší střední třídy. Nápravu ovšem není možné použít jako hnací.

3.6 KYVADLOVÁ NÁPRAVA

Taktéž nazývána šikmo vlečená náprava, úhlová náprava nebo šikmý závěs. Tyto názvy získala díky své konstrukci, osa kývání ramene je v půdorysu a často i v narysu šikmá, což má za následek samořízení nápravy při propružení, a nedotáčivý efekt na vůz.

KINEMATIKA

Okamžitý pól klopení kola P je dán průsečíkem osy otáčení kola a osy kývání ramene. [2] Vzdálenost pólu klopení P od kola je poměrně velký, téměř stejný jako rozchod kol, díky tomuto se při propružení mění rozchod a odklon kol jen nepatrně.



Obr. 33 Kinematické schéma kyvadlové nápravy [5]

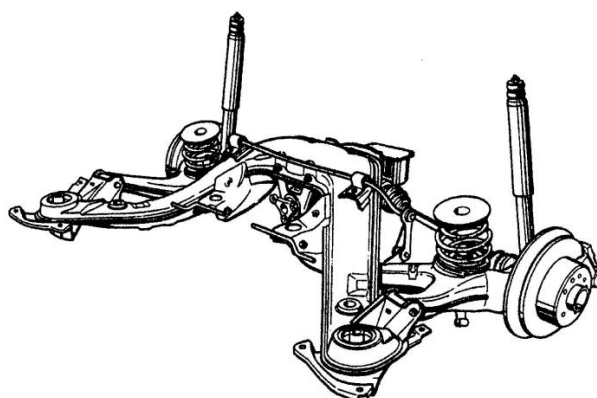


KONSTRUKCE

Tato náprava má podobný základ jako kliková náprava ale na rozdíl od ní má šikmou osu kývání. Kola jsou uchycena pomocí vidlicových ramen a kovopryžových lůžek k nápravnici.

POUŽITÍ

Náprava neumožňuje natáčení kol, proto se používá jen jako zadní náprava a to především hnací. V minulosti tohoto systému využívala např. automobilka BMW ve vozech řady 3 (vozy e30 a e36 compact), či automobilka Opel. V dnešní době se s ní již téměř nesetkáme, nahradila ji víceprvková náprava.

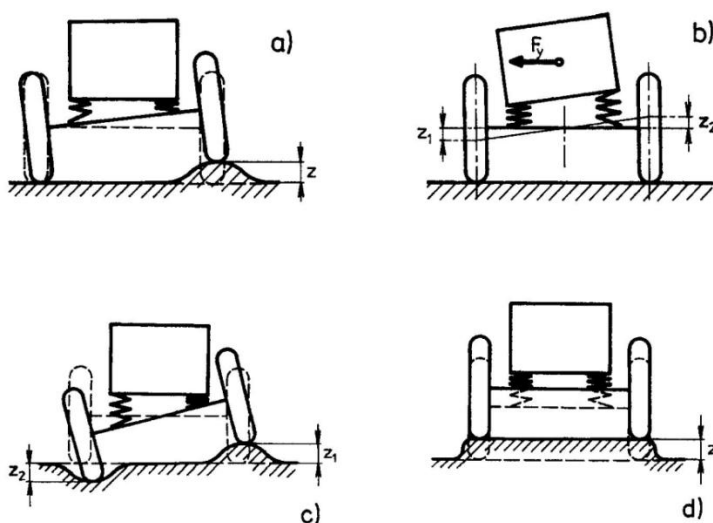


Obr. 34 zadní kyvadlová náprava vozu Opel Omega 1998 [2]

3.7 TUHÁ NÁPRAVA

Jedná se o konstrukčně velmi jednoduchou a levnou nápravu, dříve dokonce hojně používanou i jako přední řízená náprava. Především v USA byla během minulého století velmi oblíbená. Tato náprava je příkladem závislého zavěšení, obě kola jsou spolu pevně spojena a při pro pružení se nemění jejich rozchod a vzájemné postavení.

KINEMATIKA

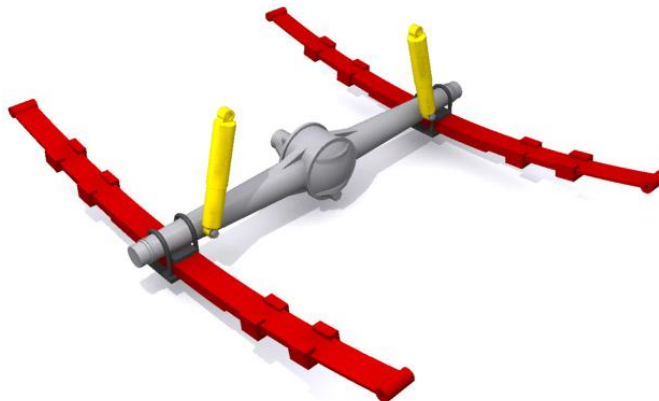


Obr. 35 Schéma chování tuhé nápravy při pro pružení jednoho kola (a), náklonu karoserie při průjezdu zatáčkou (b), protiběžném pro pružení obou kol (c) a stejnoběžném pro pružení (d).[2]



Vzhledem ke konstrukci nápravy je pevně dána vzájemná poloha kol nápravy za každých okolností. Nicméně vlivem jednostranného odpružení se mění odklon obou kol vůči vozovce. Vlastní kinematika nápravy závisí na druhu použitého vedení mostu nápravy.

KONSTRUKCE

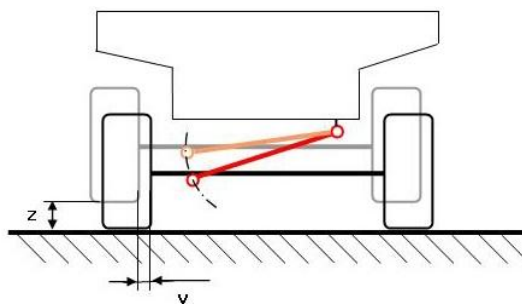


Obr. 36 Zadní tuhá náprava zavěšena na listových perech. [8]

Původní konstrukce spočívala v mostu nápravy, včetně rozvodovky, uloženém na podélných listových perech připojených ke karoserii či rámu automobilu. Listová pera mimo odpružení zajišťovali i vedení nápravy. Dnes se většinou setkáme s variantou, kde jsou listová pera nahrazena vinutými pružinami. Toto konstrukční řešení ovšem nastolilo další problém, vinuté pružiny přenesou velmi malé, téměř žádné příčné síly, na rozdíl od listových per. Z tohoto důvodu je nutno použít dodatečné vedení.

VEDENÍ PANHARDSKOU TYČÍ

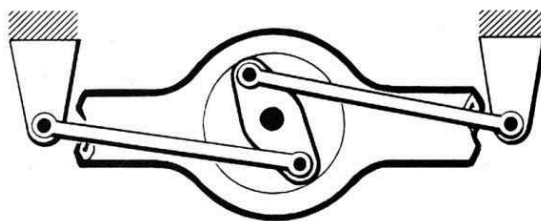
Jedná se o příčně ložené rameno, spojující most nápravy s rámem či karoserií vozidla, její funkcí je vedení nápravy v příčném směru. Nevýhodou této konstrukce je boční posuv nápravy vůči vozu během propružení což má za následek zhoršení jízdního komfortu. Tento jev se dá ovlivnit konstrukcí vlastní panhardské tyče, která by měla být co nejdelší a ložena vodorovně. [5]



Obr. 37 Schéma panhardské tyče při propružení nápravy [5]

VEDENÍ WATTOVÝM PŘÍMOVODEM

Wattův přímovod je označen po svém vynálezci Jamesi Wattovi. Vlastní konstrukce není neobvyklá, používá se i v jiných oborech než je automobilový průmysl. Hlavním úkolem Wattova přímovodu je generace trajektorie co nejlépe se blížící přímce, touto trajektorií je myšlena dráha, kterou opisuje střed otočného členu přímovodu. [5]



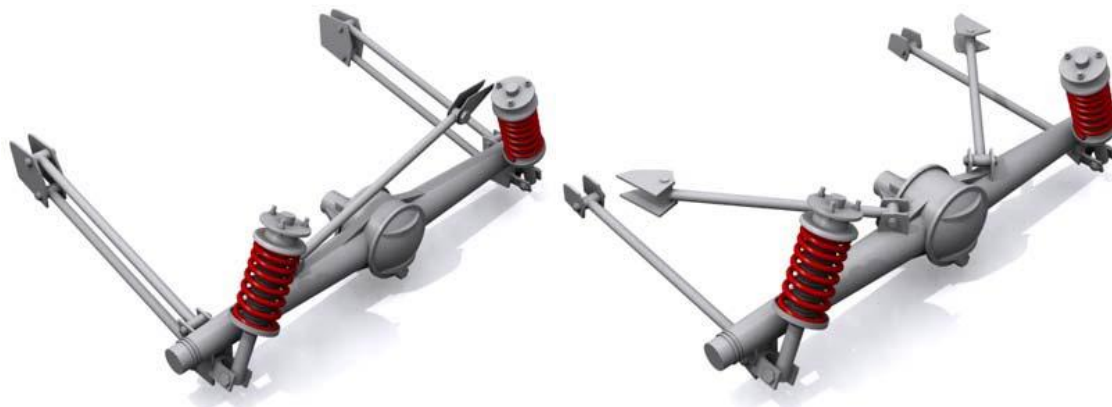
Obr. 38 Schéma Wattova přímovodu [5]

Při vedení tuhé nápravy je střed otočného členu přímovodu uložen na mostu nápravy a je rameno spojen s karoserií či rámem vozidla. Toto spojení zajišťuje tuhé, příčné vedení nápravy, ale zároveň eliminuje boční pohyb, který se projevuje při použití panhardské tyče.

PODÉLNÉ VEDENÍ NÁPRAVY

Wattův přímovod a Panhardská tyč slouží pouze k vedení v příčném směru a je nutné další vedení pro přenos podélných sil. K tomuto se používají jednoduchá podélná ramena. Můžeme se setkat s několika systémy podélného vedení:

- **Dvěma podélnými rameny** – Základní typ vedení dvěma jednoduchými podélnými rameny, výhodou je nízká hmotnost a jednoduchá konstrukce.
- **Čtyřmi podélnými rameny** – Toto vedení zachovává rovnoběžnost nápravy při pružení. Nevýhodou je ovšem zlehka vyšší hmotnost a složitost konstrukce.
- **Dvěma podélnými a dvěma šikmými rameny.** V tomto případě jsou použita dvě podélná ramena, která zachycují většinu podélných sil od vozovky. Další dvě ramena jsou šikmo ložená a umožňují zachycení i příčných sil. Tím odpadá nutnost dodatečného příčného vedení Panhardskou tyčí nebo Wattovým přímovodem.



Obr. 39 Vedení tuhé nápravy čtyřmi podélnými rameny a panhardskou tyčí (vlevo) a vedení nápravy pomocí dvou podélných a dvou šikmých ramen [8]

POUŽITÍ

Tuhou nápravu lze použít jako:

- Přední hnaná i hnací náprava
- Zadní hnaná i hnací náprava



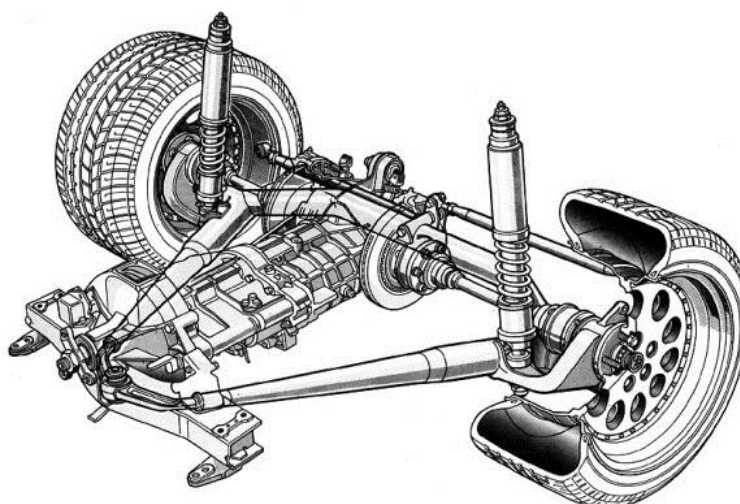
I přes svou, dnes již primitivní, konstrukci má tato náprava nesporné výhody. Její jednoduchá a tuhá konstrukce, bez čepů a kloubů, má za následek nízkou cenu a následně i jednoduchou údržbu. Právě díky tuhosti celé nápravy je stále používána v „čistokrevných“ offroad vozech, vozech určených pro vysoká zatížení (dodávkové vozy a vozy typu pickup) nebo také v extrémních motorsportech (např. rock crawling). Další výhodou je styk pneumatiky s vozovkou v celé šíři běhounu a neproměnný rozchod kol.

Hlavní nevýhodou je ovšem velmi vysoká neodpružená hmotnost, do které se počítá hmotnost mostu nápravy, rozvodovky (v případě poháněné nápravy), kol, brzd a částečně i hmotnost spojovacího hřídele, vodičích ramen, pružících a tlumících prvků. Další z nevýhod je velká náročnost na prostor pro pružení nápravy což má za následek vyšší stavbu a vyšší polohu těžiště vozu. Vedení kola je taktéž méně přesné než u nezávislého zavěšení.

3.8 NÁPRAVA DE DION

Tuto nápravu poprvé použil hrabě De Dion v roce 1896, od té doby našla své uplatnění jako zadní náprava osobních, ale i sportovních vozů. Tato náprava přejímá některé vlastnosti tuhé nápravy, to především tuhost a pevné spojení kol nápravy. Dnes se s ní setkáme jen zřídka.

KONSTRUKCE



Obr. 40 Zadní náprava typu De Dion vozu Alfa Romeo 75 [5]

Kola jsou spojena tuhým mostem, který je veden Wattovým přímovodem nebo pomocí Panhardské tyče, čímž jsou zachyceny příčné síly působící od vozovky. Podélné vedení nápravy je zajištěno párem šikmých ramen. Rozvodovka je na rozdíl od předchozí nápravy uložena na karoserii či rámu vozidla a krouticí moment je přenesen na kola pomocí kloubových hřídelů s proměnlivou délkou. Díky tomuto řešení se výrazně snížila neodpružená hmotnost. Tuto hmotnost lze dále snížit i umístěním kotoučových brzd na rozvodovku, namísto náboje kola.

POUŽITÍ

Tato náprava se používala jako zadní hnací náprava, mohli jsme se s ní setkat u sportovních vozů ale i u závodních vozů Formule 1. Oproti tuhé nápravě má mnohem nižší neodpruženou hmotnost při zachování tuhého spojení kol nápravy. V dnešní době se s ní ale již téměř nesetkáme.



4 NÁPRAVY V MOTORSPORTU

V motorsportu se používají stejné typy náprav, jako je tomu u osobních automobilů. Většinou ovšem mají velmi odlišnou konstrukci a jsou použity kvalitnější materiály s lepšími mechanickými vlastnostmi.

4.1 POŽADAVKY KLADENÉ NA NÁPRAVY V MOTORSPORTU

Nároky kladené na nápravu použitou u závodního automobilu jsou téměř zcela odlišné, než je tomu u osobního vozu. Často jsou závislé na typu automobilového sportu.

- **Přesné vedení kola** – Zejména u okruhových vozů jeden z nejdůležitějších parametrů. U vozů pro tratě s nezpevněným povrchem není tento požadavek prioritní.
- **Vysoká spolehlivost** – Nápravy závodních vozů musí snášet velmi vysoká zatížení během závodů, ale i tak musí mít vysokou životnost. V některých případech je předpisy redukován počet možných výměn náprav během sezony. Z tohoto důvodu je nutné, aby nápravy měly vyšší životnost než jen jeden závod.
- **Jednoduchá vyměnitelnost** – Prvky nápravy se musí dát vyměnit v nejkratším možném čase. Ať už se jedná o výměnu během závodu či mezi rychlostními zkouškami.
- **Nízká hmotnost** – V motorsportu je hmotnost vozu velmi důležitým aspektem, z tohoto důvodu musí mít náprava minimální odpruženou i neodpruženou hmotnost.
- **Předpisy** – Předpisy FIA často zasahují do konstrukce náprav závodních vozů. Tyto předpisy je nutné dodržet za každých okolností.

4.2 PŘÍKLADY KONSTRUKCE NÁPRAVY ZÁVODNÍHO VOZU

Vzhledem k rozsáhlosti tématu závodních vozů uvedu zde jen dva příklady ze širokého spektra oborů motorsportu.

4.2.1 NÁPRAVY VOZŮ PRO ZÁVODY TYPU RALLYE

U vozů pro soutěže typu rallye (WRC, kategorie S2000, atd.) se téměř výhradně používají nápravy typu MacPherson jak na přední tak i na zadní nápravě. Tato náprava se využívá zejména pro svou jednoduchou a robustní konstrukci, zajišťující snadnou vyměnitelnost a vysokou spolehlivost při jízdě na nezpevněném povrchu. I přes své negativní vlastnosti (méně přesné vedení kola) je nejlepším kompromisem pro tento typ závodních vozů.

KONSTRUKCE

Konstrukce náprav závodních vozů vychází z konstrukce nápravy pro osobní vozy. Vzhledem k vysokému zatížení je ovšem mnohem robustnější a často jsou použity kvalitnější materiály s lepším zpracováním (kované prvky) a lepšími mechanickými vlastnostmi (slitiny Titanu). Vzhledem k možnosti variace konstrukce napříč závodními vozy je zde jako příklad uvedena konstrukce náprav vozu Škoda Fabia WRC první generace.

Vlastní konstrukci lze rozdělit dle pozice nápravy a podle povrchu tratě:

- **Přední náprava** – Použita jsou klasická trojúhelníková ramena, uložena v pomocném rámu (nápravnicí).



- **Zadní náprava** – Na zadní nápravě je zavěšení zajištěno dvěma příčnými rameny a jedním vlečným ramenem. I v tomto případě jsou ramena uložena v pomocném rámu.
- **Asfaltový povrch** – Důraz je kladen na tuhost podvozku, z tohoto důvodu jsou použita titanová ramena. Je snížena světlá výška vozu na 80 mm a jsou použity pružiny s větší tuhostí.
- **Nezpevněný povrch (šotolina)** – Na nezpevněném povrchu je použito odpružení s nižší tuhostí a vyšší světlou výškou (240mm). Použita jsou méně tuhá ocelová ramena.



Obr. 41 Přední náprava (vlevo) a nastavování geometrie zadní nápravy vozu Škoda Fabia S2000 jezdce Romana Kresty [20]

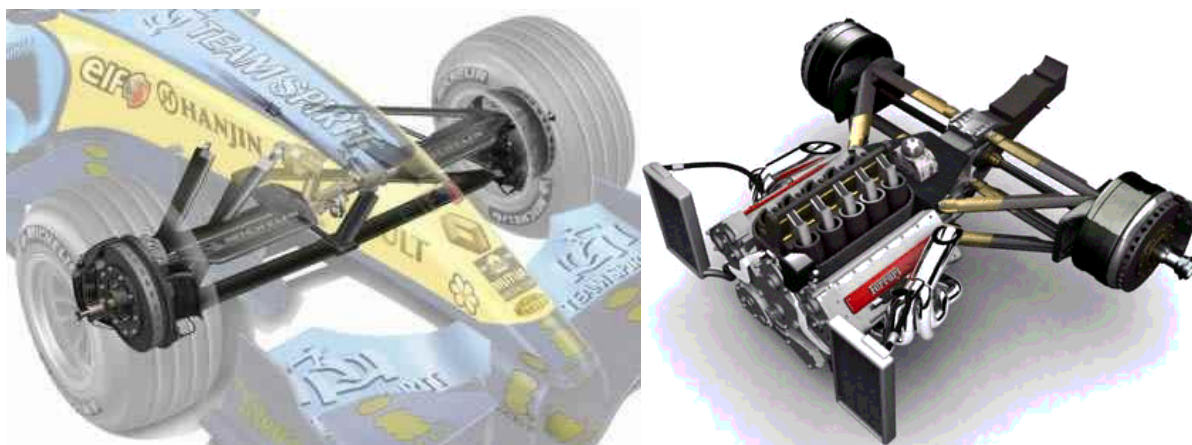
4.2.2 NÁPRAVY VOZU FORMULE 1

Vozy soutěže Formule 1 (taktéž označována jako F1) prošly za dobu své existence mnoha změnami. Tyto změny se dotkly i náprav těchto vozů. Dříve jsme se mohli setkat s mnoha variacemi lichoběžníkových náprav, včetně konstrukčních řešení, která připomínala víceprvkové zavěšení, či například zadní nápravou typu De Dion. V dnešní době se používají lichoběžníkové přední i zadní nápravy.

KONSTRUKCE

Lichoběžníkové nápravy vozů Formule 1 vycházejí z principu klasické lichoběžníkové nápravy. Zavěšení je realizováno dvěma trojúhelníkovými rameny, přičemž se můžeme setkat s předními spodními rameny spojenými v jeden pružný celek. Vlastní ramena jsou vyrobena z kompozitního materiálu vyztuženého uhlíkovými vlákny a mají aerodynamicky tvarovaný „kapkovitý“ profil. K šasi vozu či k převodovce, v případě zadní nápravy, jsou ramena uložena pomocí pružných ocelových úchyťů. Díky tomuto řešení je vedení kola mnohem přesnější než v případě použití kovopryžových lůžek. Zajímavostí je, že kolo je k vozu taktéž připojeno dvěma ocelovými lany s vysokou pevností. Jedná se o bezpečnostní opatření, aby nedocházelo k oddělení kola od vozu při kolizi.

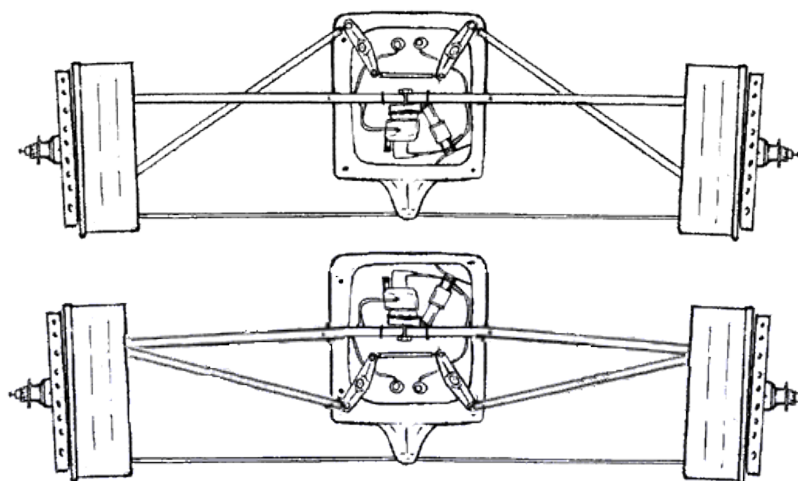
Odpružení je realizováno systémy pushrod nebo pullrod (viz níže) a torzními tyčemi, které umožňují kompaktnější zástavbu celého systému odpružení. Tlumení je zajištěno tlumičem pro každé kolo. Občas se používá třetí dodatečný tlumič s pružinou, spojující levé a pravé kolo stejné nápravy. Tento systém dále omezuje horizontální kmitání vozu a zamezuje kontaktu vozu s vozovkou v důsledku přílišného přitlaku během maximální rychlosti.



Obr. 42 Přední a zadní lichoběžníková náprava vozu F1 [21]

Vozy F1 prochází neustálým vývojem a jejich nápravy nejsou výjimkou. Vlastní konstrukce nápravy se příliš nemění, ale použité prvky se mohou měnit téměř „ze dne na den“ a každá stáj používá jiné technologie a konstrukce.

PUSHROD A PULLROD SYSTÉMY



Obr. 43 Systémy odpružení pushrod (nahore) a pullrod vozu F1 [21]

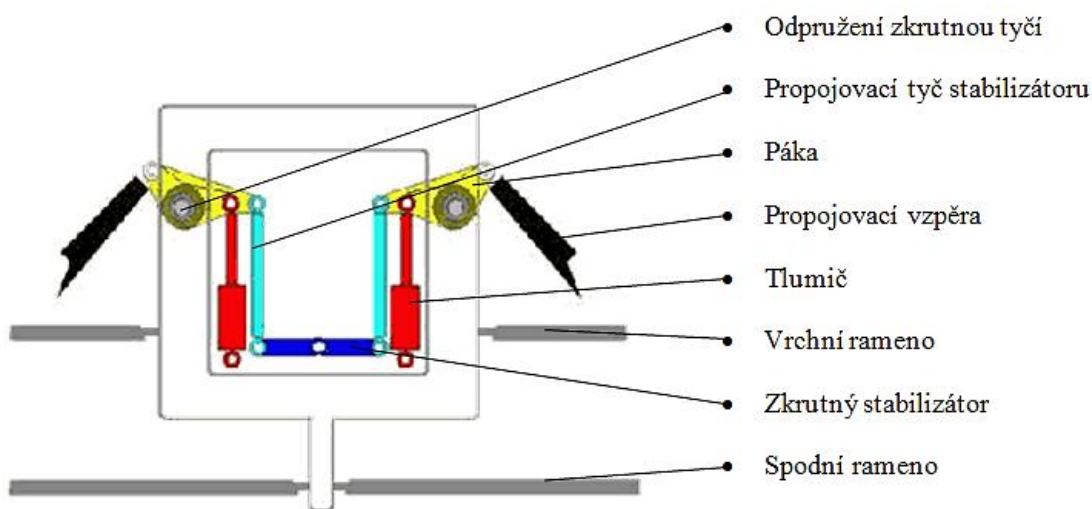
Systémy pushrod a pullrod se skládají z:

- **Propojovací vzpěry** – Přenášení vertikální pohyb kola na páky. Mohou být spojeny s těhlicí či ramenem, většinou kulovými klouby.
- **Páky** – Slouží k přenosu pohybu propojovací vzpěry na rotační pohyb kolem osy páky a následně na téměř přímočarý pohyb tlumiče, pružiny (pokud jsou použity vinuté pružiny) a propojovacích tyčí stabilizátoru.
- **Jednotky odpružení** – Pro odpružení mohou být použity vinuté pružiny či zkrutné tyče. V případě vinuté pružiny je pružina uložena na tlumiči (tzv. coil-over-oil unit). Při použití zkrutných tyčí je tyč souosá s otočnou osou páky a je k ní pevně připojena.
- **Tlumící jednotky** – Je připojena k ramenu páky. V některých případech jsou použity rotační tlumiče soustředné s otočnou osou páky.



- **Stabilizační jednotky** – Systémy push/pull rod vozů F1 používají zkrutné stabilizátory ve tvaru písmene „T“, připojené pomocí propojovacích tyčí k pákám. V závislosti na konstrukci delší části stabilizátoru je redukován stabilizační účinek.

Systémy push/pull rod mají obrovskou výhodu ve své variabilitě a možnosti velmi dobrého kompaktního uspořádání. Tyto systémy taktéž snižují neodpruženou hmotnost nápravy, díky přenosu hmotnosti odpružení a tlumičů k odpruženým hmotnostem. U vozů s odkrytými koly má taktéž lepší aerodynamické vlastnosti než klasické uspořádání.



Obr. 44 Schéma systému odpružení pushrod vozu F1 [21]

Odpružení pullrod má oproti systému pushrod ovšem nevýhodu v nároku na prostor ve spodní části vozu, zejména u přední nápravy vozů F1 se proto nepoužívá a dává se přednost lepšímu aerodynamickému tvaru přední části vozu. Další nevýhodou pullrod systému je obtížná dosažitelnost vhodného úhlu propojovací vzpěry v případě velké vzdálenosti kol od vozu.



Obr. 45 Kolo zadní lichoběžníkové nápravy vozu Lamborghini Aventador s pushrod odpružení [16]

Ve vozích formule 1 se tyto systémy používají od 70. let minulého století. V poslední době se s nimi setkáváme i v segmentu civilních vozů. Především v oblasti tzv. „track day cars“, tedy vozů určených především pro provoz na závodním okruhu nebo taktéž v oblasti luxusních sportovních vozů (např. Lamborghini Aventador).



5 INOVATIVNÍ TECHNOLOGIE V OBLASTI NÁPRAV

Mezi hlavní směry inovace zavěšení kol osobních automobilů patří snižování hmotnosti a zjednodušování celkové konstrukce nápravy. Jednou z možností jak tohoto dosáhnout je použití moderních materiálů. S hliníkovými slitinami se v automobilovém průmyslu setkáváme již několik desítek let. Poslední dobou se začínají používat i moderní kompozitní materiály a to zejména díky optimalizaci technologických postupů výroby a postupnému snižování finančních nákladů na použití těchto materiálů

KOMPOZITNÍ PRVKY NÁPRAV

Na mezinárodním autosalonu ve Frankfurtu v roce 2011 představila společnost ZF studii velmi lehké kompozitní nápravy. V tomto případě jsou kola vedena příčnou listovou pružinou, vyrobenou z kompozitu vyztuženého skelnými vlákny. Tato náprava slibuje úsporu hmotnosti 12 až 15% oproti adekvátní ocelové nápravě. Jak je patrné z obrázku (obr. 46 vlevo), náprava je založena na principu nápravy MacPherson. O vedení kola se vedle listové pružiny stará i dvojice podélných a dvojice příčných pomocných ramen. [16]



Obr. 46 Zadní náprava MacPherson s listovou kompozitní pružinou (vlevo) a modul přední nápravy MacPherson z kompozitu vyztuženým uhlíkovými vlákny [16],[19]

Další studií společnosti ZF je modul pro přední nápravu typu MacPherson. Modul je složen z těhlice a pláště tlumiče, které jsou vyrobeny jako jeden celek z CFRP, pružiny z polymeru vyztuženým skelnými vlákny a polymerového uložení pružiny. Nespornou výhodou tohoto řešení je úspora hmotnosti 3 až 4 kg oproti konvenčnímu systému. Podle společnosti ZF by ovšem měli být zachovány stejné výrobní náklady jako u konvenčního systému a to především díky nižšímu počtu dílů.

KOMPOZITNÍ PRUŽINY

Společnost Audi spolupracuje společně s italskou společností Sogefi na vývoji vinutých pružin z GFRP. Jádrem pružiny je tvořeno spletenými skelnými vlákny obalenými epoxidovou pryskyřicí. Na jádro jsou následně navinuta další vlákna ve vrstvách, přitom je střídán kladný a záporný úhel 45° natočení vůči podélné ose. Výsledná pružina má velmi vysokou odolnost vůči torzním kmitům. [16]



Obr. 47 Porovnání kompozitní pružiny společnosti AUDI s klasickou ocelovou pružinou [16]

Výhodou těchto pružin je nižší hmotnost o více než 40%, odolnost proti korozi a nižší energetické náklady na výrobu než u ocelových pružin, při zachování odolnosti vůči vnějším vlivům. [16]

ELEKTROMAGNETICKÉ AKTIVNÍ ODPRUŽENÍ SKF

Společnost SKF společně s Eindhovenskou technickou univerzitou vyvíjí systém odpružení bez standartního tlumiče, který je nahrazen lineárním elektromotorem.



Obr. 48 Vzpěra MacPherson společnosti SKF s lineárním motorem místo olejového tlumiče [17]

Hlavní výhodou elektromagnetického systému v porovnání s konvenčním hydraulickým či pneumatickým aktivním odpružením je velmi vysoká rychlost reakce. Celý systém je řízen pomocí palubního počítače, který získává informace z několika senzorů umístěných ve voze. Díky velmi rychlé reakční době, během které je systém schopen reagovat na změnu polohy kola (při přejíždění překážky), se zlepšil jízdní komfort až o 60% proti konvenčnímu systému. Další výhodou jsou vylepšené jízdní vlastnosti, při zatáčení se automobil méně naklání a je celkově více stabilní, čímž se zlepšila i aktivní bezpečnost. Celý systém zachovává rozměry konvenčního modulu odpružení McPherson. [17]

TWEEL

Název vznikl z anglických názvů pro pneumatiku (tire) a kolo (wheel). Klasická pneumatika je v tomto případě nahrazena flexibilními lamelami z polymeru, které se pružně deformují při zatížení a tím suplují pružící efekt pneumatiky. Výhodou tohoto řešení je možnost nastavení vertikální tuhosti „pneumatiky“ nezávisle na příčné, to má za následek až 5x větší příčnou tuhost než radiální pneumatika při zachování srovnatelného jízdního komfortu. Z ekonomického hlediska je výhodou nižší valivý odpor a hlavně není nutné po opotřebením měnit celou pneumatiku, pouze běhoun, který má 2x vyšší životnost než u běžných pneumatik. [17]



Obr. 49 Bez-vzduchové kolo Tweel společnosti Michelin [17]

Nevýhodou jsou ovšem vibrace při rychlostech nad 80 km/h, které způsobují dramatické zhoršení vlastností pneumatiky. Z tohoto důvodu je zatím možné využít koncept jen pro stroje s nižší konstrukční rychlostí, jako jsou elektrické invalidní vozíky, nebo elektrická „vozítka“ pro volný čas.

MICHELIN ACTIVE WHEEL SYSTEM

Tento systém integruje všechny komponenty běžné nápravy a pohonnou jednotku, která slouží i jako brzdový systém s možností regenerace elektrické energie do jednoho celku. Všechny tyto komponenty jsou integrovány do kola automobilu, čímž je ušetřen prostor vozu v oblasti kol a oblasti kde je běžně umístěn spalovací motor.



Obr. 50 Michelin Active wheel system [17]

Odpružení je zajištěno vinutou pružinou, která převážně slouží k nesení statického zatížení hmotností vozidla. Místo olejového tlumiče je použit přídavný elektromotor, který dává systému možnost aktivního řízení odpružení a taktéž regenerace elektrické energie při přejezdu překážek. Toto aktivní odpružení kontroluje i klopení a klonění karoserie. Systém taktéž obsahuje brzdový kotouč, sloužící jako přídavná a parkovací brzda. [17]



ZÁVĚR

V této práci jsem se snažil přiblížit vlastnosti a konstrukci jednotlivých typů náprav používaných u moderních osobních automobilů. Popsat jejich výhody, nevýhody, kde a proč se používají konkrétní typy náprav. Taktéž jsem se snažil přiblížit rozdíly mezi nápravami použitými u civilních a závodních vozů, konstrukci náprav vozů F1 a WRC. Tyto dva zástupce jsem vybral z důvodu osobní preference těchto odvětví motorsportu. Závody WRC a hlavně vozy účastníci se této soutěže mě vždy fascinovali svými někdy až téměř neskutečnými závodními výkony. Formule 1 pro změnu vyniká svou technologií, vozy F1 se vyvíjí snad ještě vyšší rychlostí, než se dokážou prohánět po závodním okruhu. Nicméně i technologii používanou u těchto vozů můžeme s odstupem času spatřit v civilním sektoru.

Během vypracovávání mé bakalářské práce jsem se dozvěděl mnoho zajímavých a pro mě nových informací. Tyto vědomosti bych chtěl v budoucnu uplatnit v mém dalším studiu i následném profesním životě.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Fabia II: konstrukce, technika, údržba*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 346 s. ISBN 978-80-247-2155-2.
- [2] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: konstrukce, technika, údržba*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [3] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 2. vyd. Brno: Avid, 2009, 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [4] MOTEJL, Vladimír. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. 3. vyd. Brno: Littera, 2004. ISBN 80-857-6324-9.
- [5] Autolexicon.net: ... náskok díky znalostem [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/>
- [6] BMW. *Vozy BMW: webové stránky BMW AG* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.bmw.cz/cz/cs/>
- [7] Autoevolution: automotive news & test drives [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com>
- [8] Car Bibles: The Car Suspension Bible [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: http://www.carbibles.com/suspension_bible.html
- [9] ČSN 30 0025. *Základní automobilové názvosloví. Základní části a ústrojí vozidel, příslušenství, výstroj a výbava. Definice základních pojmů*. 1967.
- [10] ČSN 30 0024. *Základní automobilové názvosloví. Druhy silničních vozidel. Definice základních pojmů*. 1981.
- [11] Pneumatikar.cz [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.pneumatikar.cz>
- [12] *Náhradní díly Škoda Octavia, Fabia, Favorit, Felicia, Roomster, Superb* online [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.skoda-dily.cz/online-obchod.html>
- [13] WHEELS | TSW Alloy Wheels [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.tsw.com/>
- [14] *Herzlich willkommen bei der CarPoint GmbH - Ihr Anbieter für englische Automobile und Oldtimer* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.carpoint.de/>
- [15] *Race, performance & street cars, engines, engine parts, trailers for sale* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.racingjunk.com/>
- [16] *Auta, testy, novinky, fotografie - AutoRevue.cz* [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/>



- [17] Gizmag | New and Emerging Technology News [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/>
- [18] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [19] WorldCarFans [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.worldcarfans.com/>
- [20] Aktuality : Roman Kresta: Officialní stránky Romana Kresty [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://cz.roman-kresta.com/>
- [21] Technical F1 Dictionary [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://f1-dictionary.110mb.com/>
- [22] Flickr: Photo Sharing [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/gordoncalder/4769650142/>
- [23] Auta 5P Automobilová encyklopedie [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://auta5p.eu/>
- [24] Toyota Kuwait: The Official Toyota Website for the State of Kuwait [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://toyota.com.kw/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

O_p		Okamžitý střed klonění přední nápravy
O_z		Okamžitý střed klonění zadní nápravy
O		Střed klonění karosérie
P		Pól klopení kola
S		Střed klopení karoserie
r	mm	Poloměr rejdu rejdového kola
γ	°	Úhel odklonu kola
σ	°	Záklon rejdové osy
n_k	mm	Závlek
τ	°	Záklon rejdové osy
δ_o	°	Úhel sbíhavosti
GFRP		Polymer vyztužený skelnými vlákny
CFRP		Polymer vyztužený uhlíkovými vlákny
FIA		Mezinárodní automobilová federace