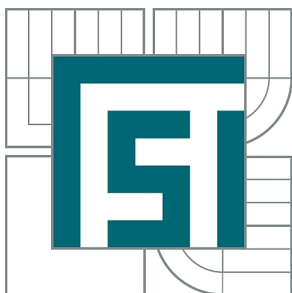


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ÚHLOVÉ KYVADLOVÉ NÁPRAVY OSOBNÍCH VOZIDEL

PASSENGER CAR SEMI-TRAILING ARM SUSPENSIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMAN SVAČINA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HEJTMÁNEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Svačina

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:

Úhlové kyvadlové nápravy osobních vozidel

v anglickém jazyce:

Passenger Car Semi-Trailing Arm Suspensions

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování komplexního přehledu úhlových kyvadlových náprav užívaných v konstrukci osobních automobilů zejména se zaměřením na moderní trendy užívané v oblasti konstrukce kyvadlového zavěšení kol.

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracování analýzy kinematiky a dynamiky kyvadlové úhlové nápravy
2. Definování jednotlivých parametrů geometrie kol na nápravě a možnost jejich nastavení
3. Vytvoření detailního popisu jednotlivých variant kyvadlových náprav
4. Srovnání úhlové nápravy s ostatními typy zavěšení kol
5. Shrnutí moderních trendů a vývoj v oblasti kyvadlových náprav

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK,F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-239-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [2] VLK,F. Diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-239-7064-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [3] REIMPELL, Jornsén, STOLL, Helmut, BETZLER, Jürgen. The Automotive Chassis: Engineering Principles. [s.l.]: SAE International, 2001. 444 s. ISBN 0768006570.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Hejtmánek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 6.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce obsahuje rozbor kinematiky úhlové kyvadlové nápravy a její vliv na jízdní vlastnosti. Dále se práce zabývá konstrukcí této nápravy. Je zpracován přehled vybraných konstrukčních řešení s popisem. Poslední část je zaměřena na další typy náprav, u každé z těchto náprav je porovnání s úhlovou kyvadlovou nápravou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úhlová kyvadlová náprava, zavěšení, náprava, konstrukce

ABSTRACT

Bachelor thesis contains kinematics analysis of semi-trailing arm axle and her effect on driving properties. Further is work conversant by design of this axle. Summary with description of chosen design is made. The last part is focused on other types of axles, each of these axles is compared with semi-trailing arm axle.

KEYWORDS

Semi-trailing arm suspensions, suspension, axle, design



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVACHINA, R. *Úhlové kyvadlové nápravy osobních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hejtmánek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 22. května 2013

.....

Roman Svačina



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Hejtmánkovi za cenné rady a odborné vedení při vypracování bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Zavěšení.....	10
1.1 Úkol zavěšení.....	10
1.2 Kinematika úhlové kyvadlové nápravy	11
1.2.1 Úhel sbíhavosti	12
1.2.2 Úhel odklonu kola	13
1.2.3 Výška středu klopení	15
1.2.4 Rozchod kol.....	15
2 Úhlové kyvadlové nápravy	16
2.1 Konstrukční řešení úhlových kyvadlových náprav	19
2.1.1 Náprava Opel Omega (1998).....	19
2.1.2 Náprava Škoda Garde	20
2.1.3 Náprava Volkswagen.....	21
2.1.4 Náprava Porsche	23
2.1.5 Náprava fiat	24
2.1.6 Náprava Mercedes	26
2.1.7 Náprava BMW.....	27
2.1.8 Náprava Ford	27
2.2 Vývoj úhlové kyvadlové nápravy	28
3 Další typy zavěšení kol.....	30
3.1 Tuhá náprava.....	30
3.2 Lichoběžníková náprava	31
3.3 Náprava MacPherson	32
3.4 Kliková náprava	34
3.5 Kliková náprava s torzním propojovacím prvkem.....	35
3.6 Víceprvková náprava	36
Závěr	38
Seznam použitých symbolů	41



ÚVOD

Automobil je dnes nejpoužívanější dopravní prostředek. Jsou tedy na něho kladeny velké nároky na bezpečnost jízdy a komfort. Oba tyto požadavky ovlivňuje zavěšení kol. Komfort je ovlivněn schopností zavěšení zachycovat rázy vzniklé nerovnostmi vozovky. Na bezpečnost jízdy je kladen větší důraz, proto se konstruktéři stále snaží zdokonalit konstrukce zavěšení kol, ty mají totiž velký vliv na jízdní vlastnosti. Konstrukce by měla zajišťovat stálý styk co největší plochy pneumatiky s vozovkou, obzvlášť při náklonu vozila způsobeného průjezdem zatáčky, který má tendenci tuto plochu snižovat. Na geometrii zavěšení závisí i životnost pneumatik.

První kapitola je o rozdělení druhů zavěšení a následně je rozebrána geometrie úhlové kyvadlové nápravy, její změny a vliv těchto změn na chování vozidla.

V druhé kapitole je představena úhlová kyvadlová náprava, jsou zde rozebrány její vybrané konstrukční řešení a v závěru je shrnut její vývoj.

V poslední kapitole jsou vypsány zbylé typy zavěšení, jejich stručná charakteristika konstrukce a jejich jízdní vlastnosti, které jsou porovnány s úhlovou kyvadlovou nápravou.



1 ZAVĚŠENÍ

Zavěšení kol se často plete s pojmem náprava. Zavěšení je konstrukční způsob spojení kol s rámem auta nebo samonosnou karoserií. Pod pojmem náprava si ovšem musíme představit celek více funkčních prvků: zavěšení kol, uložení kola, brzda, odpružení a řídicí nebo hnací ústrojí.[1]

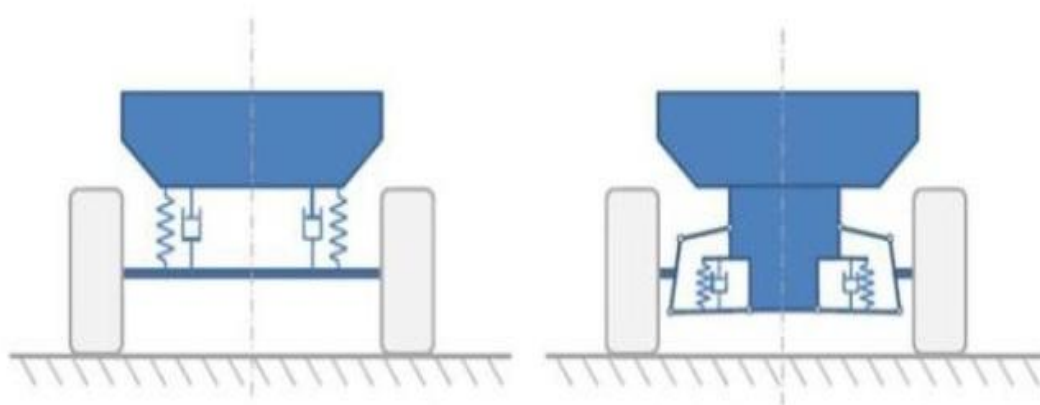
1.1 ÚKOL ZAVĚŠENÍ

Velice důležitá pro jízdní vlastnosti, bezpečnost jízdy a jízdní komfort je kinematika pohybu kola vůči karoserii automobilu. Zavěšení umožňuje [1],[4]:

- svislý relativní pohyb kola vůči karoserii
 - potřebný z hlediska propuštění
- vedení kola
 - eliminace nežádoucích pohybů (boční posuv a naklápění kola) na přijatelnou hodnotu
- přenos sil a momentů mezi kolem a karoserií
 - svislé síly zatížení vozidla
 - podélné síly hnací a brzdě
 - příčné síly (odstředivá) od zatáčení
 - moment brzdě a hnací

Zavěšení kol dělíme podle konstrukce na 2 druhy [1],[4]:

- závislé zavěšení (tuhá náprava)
 - Je nejstarší a přesto stále využívaný druh zavěšení kol. Tyto nápravy jsou konstrukčně jednoduché to se projevuje i na jejich menších cenách. Kola mají stejnou osu otáčení a jsou upevněna na společném nosníku, tudíž jejich poloha je stále stejná, při propuštění jednoho kola se to projeví i na druhém.
- nezávislé zavěšení
 - U tohoto zavěšení máme více konstrukčních řešení. Každé kolo je zavěšeno samostatně a má svou vlastní osu otáčení. Při propuštění jednoho se neprojeví žádné změny na druhém. Toto řešení umožňuje snížení váhy neodpružených hmot a v případě zadních poháněných náprav můžeme diferenciál upevnit na karoserii.



obr. 1 Schéma zavěšení kol závislé (vlevo) a nezávislé (vpravo) [4]

Druhy nezávislých zavěšení používaných v současnosti [1]:

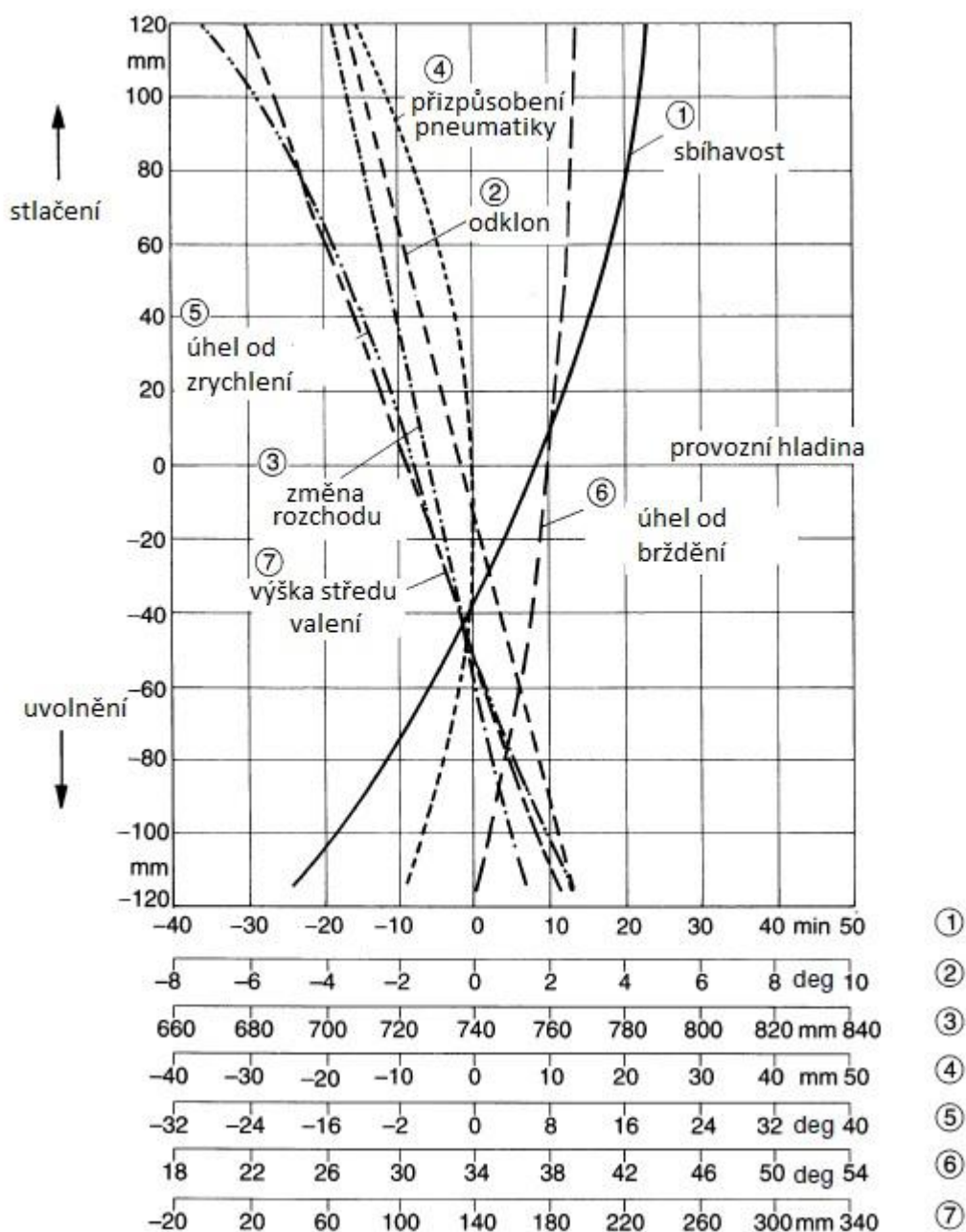
- universální náprava
 - víceprvková (zavěšení na více (až pěti i více) ramenech)
- na přední nápravě
 - náprava MacPherson (teleskopická vzpěra a spodní trojúhelníkové rameno)
 - lichoběžníková náprava (dvě příčné trojúhelníkové ramena)
- na zadní nápravě
 - kliková náprava (podélné rameno s příčnou osou kývání)
 - kyvadlová úhlová náprava (trojúhelníkové rameno se šikmou osou kývání)
 - torzní kliková náprava (spřažená náprava)

1.2 KINEMATIKA ÚHLOVÉ KYVADLOVÉ NÁPRAVY

Tato náprava je zadní, proto některé pohyby, které umožňuje přední náprava nebudou rozebrány. U úhlové kyvadlové nápravy v průběhu zdvihu kola (dolního/horního) dochází ke změně:

- rozchodu kol
- rozvoru kol
- sbíhavosti
- odklonu kola

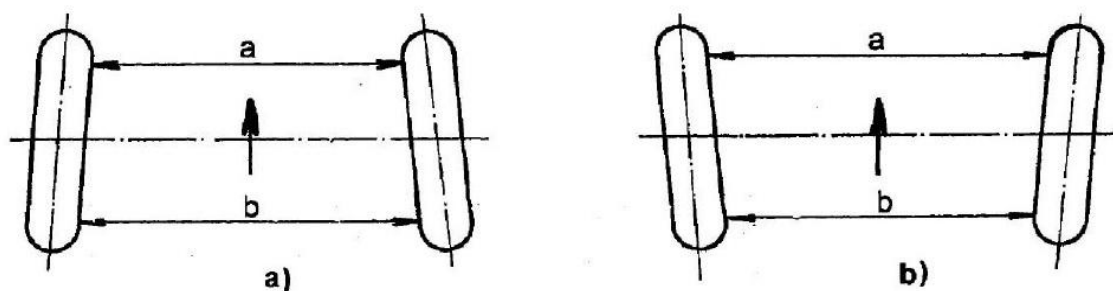
Na následujícím obrázku uvidíme kinematiku úhlové kyvadlové nápravy vozu Opel Omega (1996), toto měření ukázalo změny v hodnotách parametrů jednoho kola. Větší nedotáčivosti bylo dosaženo přidáním stabilizátorů a zmenšením vzdálenosti středu klopení od těžiště, což příznivě snižuje dynamické zatížení kol vlivem naklonění karoserie. [3]



obr. 2 Kinematika úhlové kyvadlové nápravy Opel Omega (1996) [3]

1.2.1 ÚHEL SBÍHAVOSTI

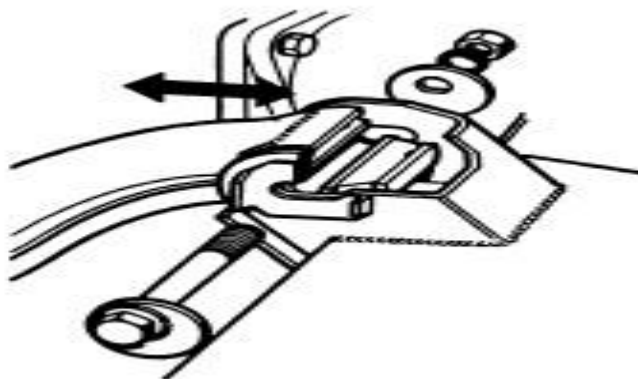
Úhel sbíhavosti δ je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky. Je-li přední část kola přikloněna k podélné ose vozidla jedná se o sbíhavost, je-li naopak odkloněna jedná se o rozbíhavost. Při vyšších hodnotách obou z těchto variant dochází k rychlému opotřebení pneumatik [1]



obr.3 Úhel sbíhavosti: a) sbíhavost b) rozbíhavost [1]

Úhlová kyvadlová náprava má občas možnost nastavovat (měnit) sbíhavost natočením osy jednoho kloubu ramene. Na poháněných zadních nápravách je obzvlášť důležité, aby byla co nejvíce tuhá, aby se zabránilo elastokinematickým změnám odklonu kol a sbíhavosti. Proto 3-4 pryžové bloky, které spojují pomocný rám a diferenciál s karoserií musí být navrženy tak, aby vstřebaly co nejvíce vibrací od pneumatik. [3]

Šestihranné šrouby s excentrickými podložkami, které přichází do styku s bočními límcí držáku na nápravnici a mají za úkol uchytit rameno kyvadlové úhlové nápravy a jejich pomocí se dá nastavovat úhel sbíhavosti a odklonu u automobilu ford.

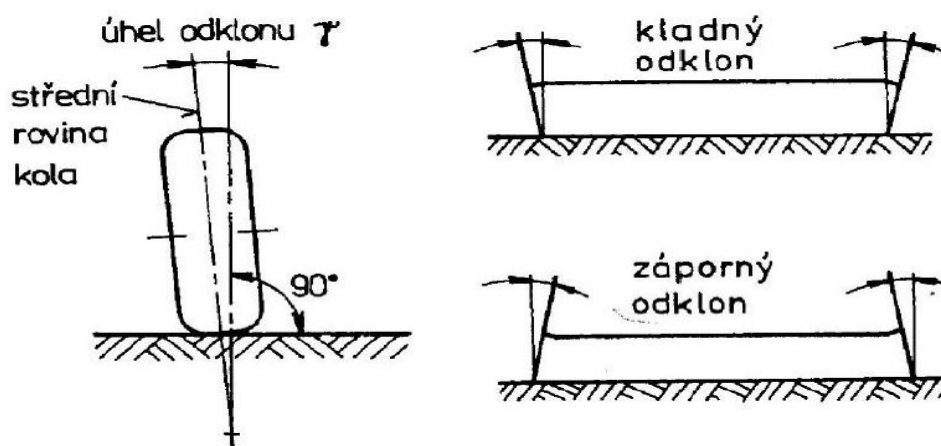


obr.4 Šestihranný šroub s excentrickou podložkou [3]

1.2.2 ÚHEL ODKLONU KOLA

Úhel odklonu kola γ je naklonění střední roviny vůči svislé ose kola. Za kladný odklon se považuje, když se kolo vrchem naklání ven z auta a za záporný odklon se považuje, když se kolo vrchem naklání dovnitř auta. Ke změnám úhlu na úhlových kyvadlových nápravách dochází při propružení a zatačení [5] :

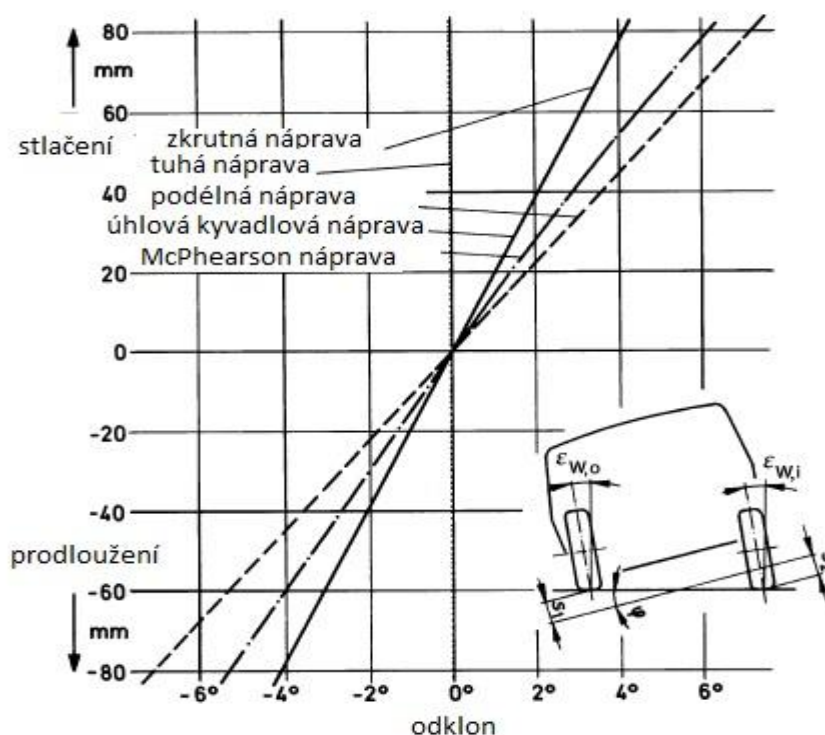
- odlehčení - odklon kola se zvětšuje, tím se krátí styčná plocha pneumatiky a dochází k opotřebení vnější strany.
- stlačení - odklon kola se zmenšuje, tím dochází k opotřebení pneumatiky z vnitřní strany



obr.5 Odklon kola [1]

Stávající možnosti nastavení umožňují menší tolerance. Na úhlové kyvadlové nápravě se vyskytovaly příliš negativní hodnoty odklonu při plném naložení automobilu. Vytvářel se příliš záporný odklon, který trvale zatěžoval vnitřní stranu pneumatiky, to mohlo vést až k jejímu poškození s následnou ztrátou kontroly nad řízením. To byl důvod, proč pro osobní automobily výrobci snížili změnu odklonu kola na této nápravě pomocí úhlu kyvadlového ramene nápravy.

Změna odklonu různých druhů náprav v případě zatáčení (s výjimkou tuhé nápravy), kdy vnější kolo jde do pozitivního náklonu a vnitřní kolo se dostává do negativního u všech nastaveních.



obr.6 Odklony náprav [3]

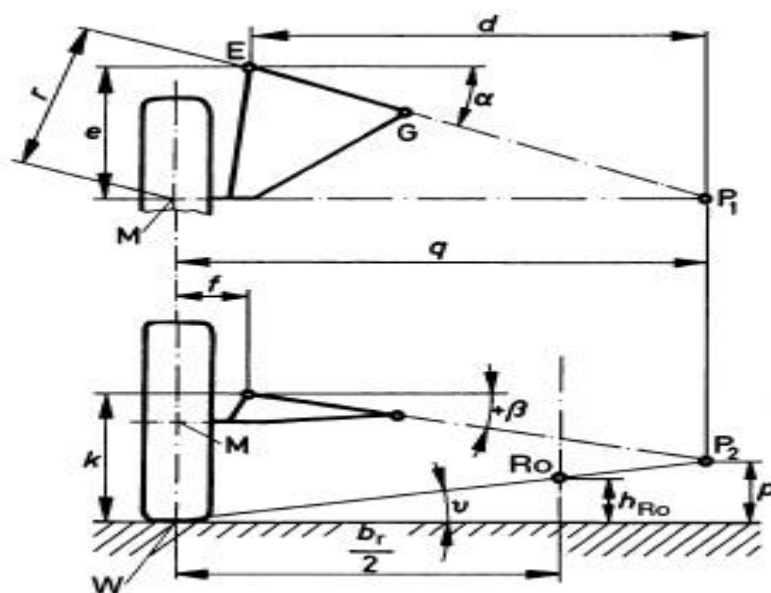


1.2.3 VÝŠKA STŘEDU KLOPENÍ

Snižováním středu klopení příznivě snižujeme dynamické zatížení kol, tím lze dosáhnout větších bočních sil na zadní nápravě, což vede k větší nedotáčivosti

V případě úhlové kyvadlové nápravy lze pohyb převést na rotaci ramene vůči prostorové ose otáčení EG. Bod u kterého prodloužení osy otáčení protíná svislou rovinu středu otáčení kola nám dává bod (pól rotace) $P_1=P_2$. Střed klopení R_0 je pak umístěn na průsečnici spojnice pólů rotace a středu kola s střední rovinou vozidla.

Pro jeho zjištění prvně musíme nakreslit půdorys včetně úhlu α , prodloužením osy EG až se protne s osou kola máme P_1 , ten zavedeme svisle dolů do pohledu zezadu a vznikne bod P_2 . Ten potom spojíme se středem kola W a za pomoci úhlu ν jsme schopni spočítat výšku. ta samozřejmě souvisí s tím jak auto zatížíme. [3]



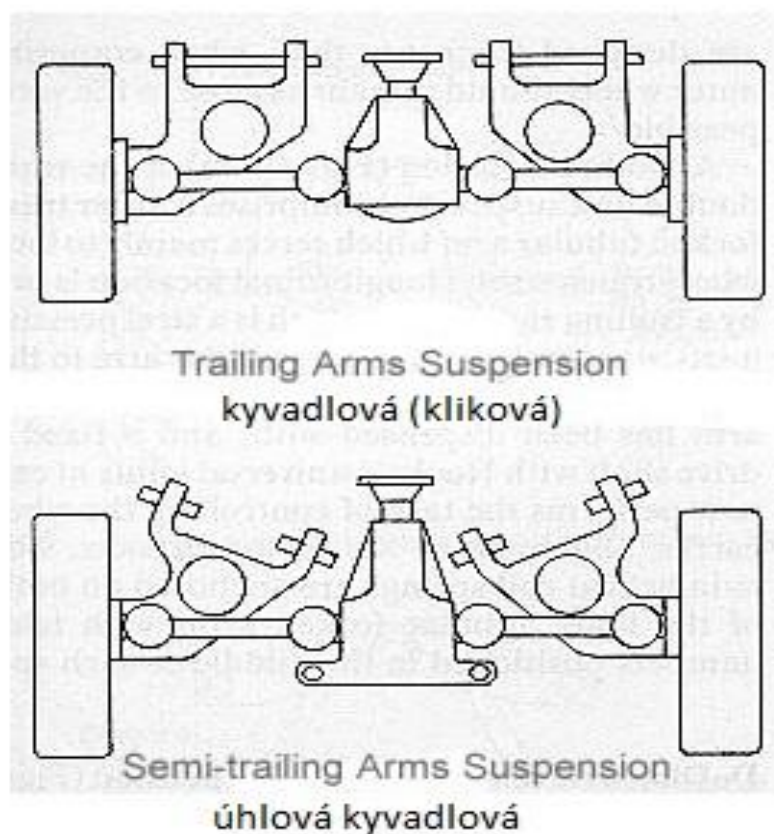
obr. 7 Výška středu valení [3]

1.2.4 ROZCHOD KOL

Rozchod kol je u úhlové kyvadlové nápravy proměnlivý. Proto v případě zadní hnací nápravy musíme zajistit u hnací hřídele kompenzaci délky. Délka se mění do kladných i záporných hodnot od základního nastavení. Při stlačení (njetí na hrb) se rozchod kol zmenšuje a při roztažení (vpadnutí do díry nebo nadnesení vozidla) se rozchod kol zvětšuje. [3]

2 ÚHLOVÉ KYVADLOVÉ NÁPRAVY

kyvadlová úhlová náprava se používá výhradně jako zadní náprava, nelze ji použít jako přední řídicí nápravu. Najdeme ji na autech poháněných přední nápravou, na autech s pohonem na všechny kola a hlavně jako zadní hnanou nápravu. Tato náprava byla odvozena z kyvadlové (klikové) nápravy, která měla výborné vlastnosti držení pneumatiky na vozovce při vyrovnávání nerovností na vozovce ve svislém směru (díry, výstupky), ale při náklonu karosérie vlivem projíždění zatáčky nebyla schopna vyrovnat úhel mezi autem a vozovkou, to se projevovalo nedoléhavostí celého povrchu pláště, což mělo za následek zhoršené jízdní vlastnosti při průjezd zatáčkou. [6]



obr.8 Kyvadlová (kliková) a úhlová kyvadlová náprava [7]

Na obrázku je vidět základní rozdíl, který je patrný už z názvu úhlová kyvadlová náprava. Osa kývání ramene je v půdorysu šikmá. V česku hlavně mezi majiteli starších škodovek je pro toto zavěšení kol hodně rozšířený název "šikmý závěs". Většinou je osa kývání šikmá i v nárysu. Úhel v půdorysu α bývá mezi 10-25° a úhel v nárysu β okolo 5°. Tyto úhly jsou lépe znázorněny na obrázku 7.

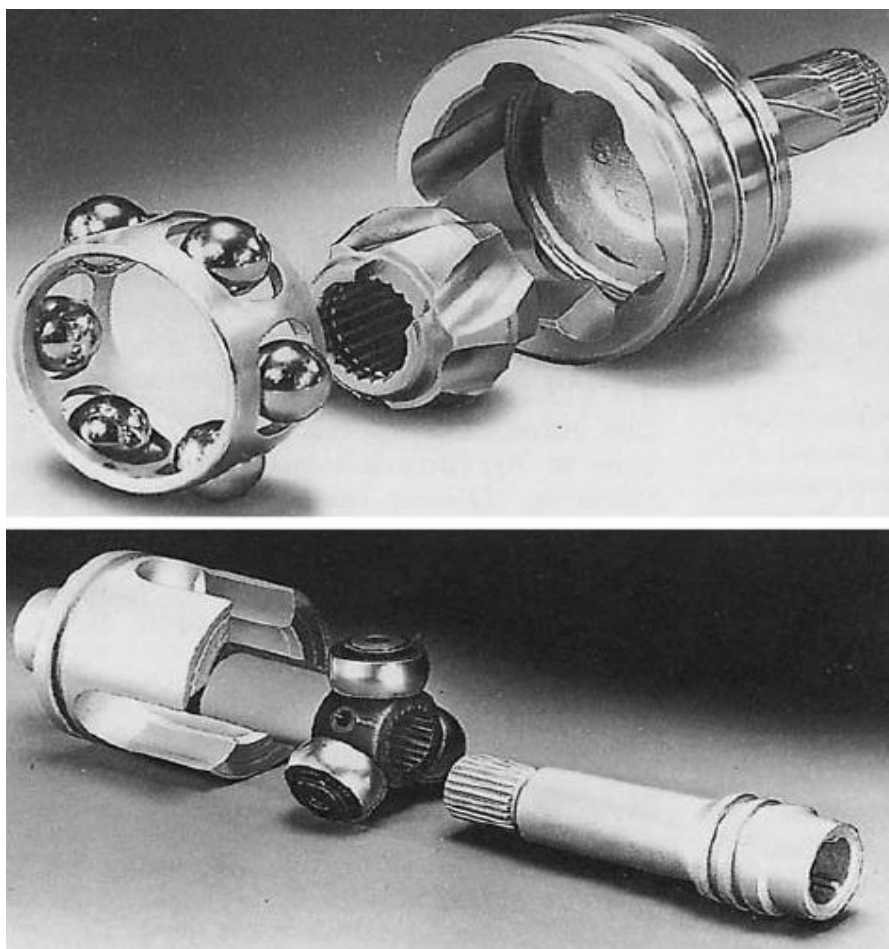
Hodnoty těchto úhlů ovlivňují jízdní vlastnosti vozidla. Pomocí délky ramena a změnou těchto úhlů měníme kinematickou charakteristiku, která pozitivně ovlivňuje:



- výšku středu klopení
- změnu odklonu
- změnu sbíhavosti
- polohu otáčivého ramene

Úpravou velikostí úhlů α a β se změní hodnoty odklonu a sbíhavosti, což může mít za následek snížení či zvýšení nedotáčivosti auta.

Při propružení kolo vykonává prostorový pohyb, jehož důsledkem dochází ke změnám rozchodu a geometrie. U poháněných náprav tento problém je řešen pomocí složeného hřídele s úhlovou pohyblivostí a délkovou kompenzací. Přesněji řečeno pomocí homokinetických kloubů na koncích hřídele. Na obrázku budou 2 druhy těchto kloubů od firmy GKN Automotive. V horní půlce obrázku je kloub "posuvně kulový" umožňuje ohýbací úhly až 22° a posuvy až 45mm, síly jsou přenášeny pomocí 6 kuliček posouvajících se v drážkách. Ve spodní půlce kloub "cylindrický", který umožňuje úhly až 25° a posuvy až 55mm a síla je přenášena přes 3 cylindricky opracované drážky pomocí 3 válců s jehličkovými ložisky na pryžo-kovovém stativu. [3]



obr. 9 Homokinetické klouby [3]



Základní částí úhlové kyvadlové nápravy je výkyvné rozvidlené rameno, které nejčastěji připomíná tvar písmene V. Toto rameno bývá nejčastěji připevněno k pomocnému rámu, který nese taky diferenciál, někdy i převodovku a pomocí úchytů v karoserii může pomáhat nést i motor v případě motoru v zadní části vozidla. Tento pomocný rám je uchycen k samonosné karoserii pomocí pryžových bloků, které mají zároveň tlumit chvění přenášené od kol na karoserii.

Tyto ramena můžeme podle konstrukce rozdělit do dvou základních skupin. Na prvním obrázku je rameno jednodílné. Na druhém obrázku je rameno vícedílné, tyto díly mohou být svařeny nebo spojeny pomocí šroubových spojů.



obr.10 Jednodílné rameno [8]



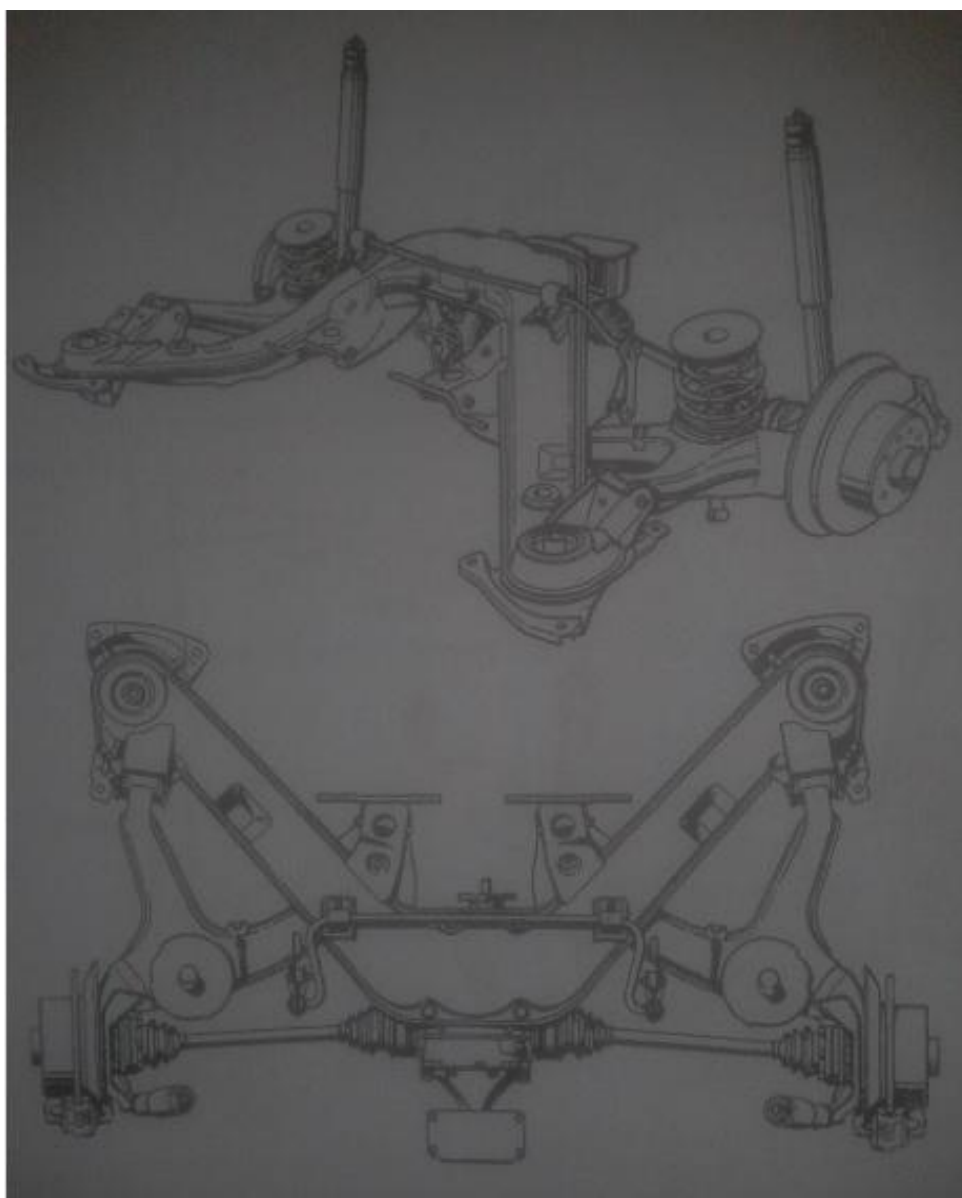
obr.11 Dvoudílné rameno [9]



2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ÚHLOVÝCH KYVADLOVÝCH NÁPRAV

2.1.1 NÁPRAVA OPEL OMEGA (1998)

Na obrázku je zadní poháněná kyvadlová úhlová náprava. Aby mohl být zavazadlový prostor s rovnou podlahou a došlo tak ke zvětšení jeho objemu, jsou soudečkovité pružiny posunuté dopředu. Tlumiče jsou umístěny za osou otáčení kol, což prodloužilo délku ramene a to společně s délkou jejich zdvihu zmenšuje jejich namáhání. Nadměrnému samořízení je zabráňováno co nejtužším uložením kyvného ramene v pomocném rámu (nápravnici) tvaru V. Na pomocném rámu je zavěšena i rozvodovka a pomocný stabilizátor. Celá konstrukce je připevněna ke karoserii pryžovými silentbloky, které zachycují vibrace od pneumatik a zamezují natačení nápravnice ve svislém směru. Uložení ramen musí zachycovat hnací a brzdné momenty. [1]



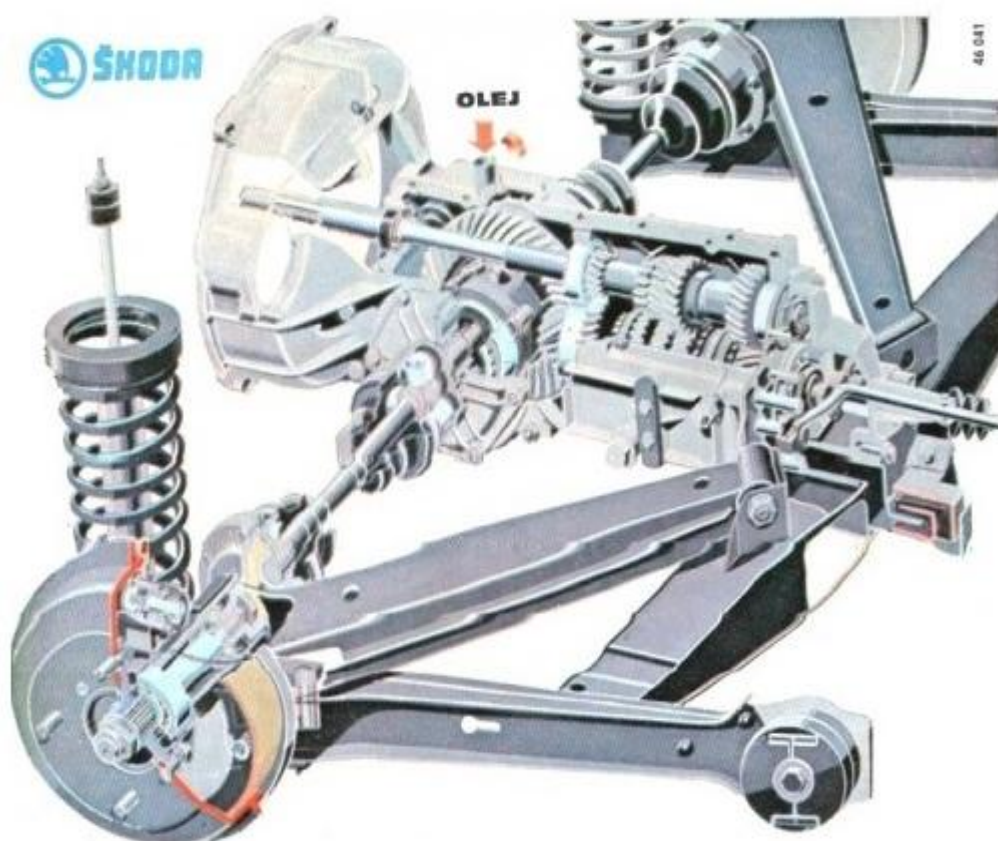
obr.12 Náprava Opel Omega [1]



2.1.2 NÁPRAVA ŠKODA GARDE

Škoda 100, 120 měla zadní hnanou nápravu kyvadlovou. Tyto modely měly velký sklon k přetáčivosti, k níž přispíval i velký odklon kol. To se konstruktérům nelíbilo a snažili se to potlačit, podařilo se jim to vyřešit v roce 1982. V tomto roce byl první sériový vůz s úhlovou kyvadlovou nápravou Škoda Garde. Přidáním vzpěrného ramena bylo vedení kola přesnější v průběhu celého zdvihu. To napomohlo snížit přetáčivé chování, nebo dokonce dosáhnout nedotáčivých vlastností. V jedné studii konstruktéři prohlásili že jízdní vlastnosti Škody Garde překonaly i model Škoda Favorit. [6]

Tato náprava nemá moc robustní pomocný rám, i když je na něm připevněna převodovka i diferenciál. Na rámu je uchycena jedna část ramene pomoci excentrického šroubu, druhá je mimo rám. Pružina a v jejím středu tlumič je uložen za osou otáčení, na nápravě se nenachází žádný podpurný stabilizátor a o délkovou kompenzaci hřídele se stará cylindrický kloub.



obr. 13 Náprava Škoda Garde [6]



2.1.3 NÁPRAVA VOLKSWAGEN

Jako první typ je nepoháněná náprava VW Sharan. U tohoto většího auta výrobci hodnotili jízdní vlastnosti této nápravy jako dostatečné pro účely vozidla a vzhledem k nižším nákladům vůči víceprvkové nápravě je stále používána.

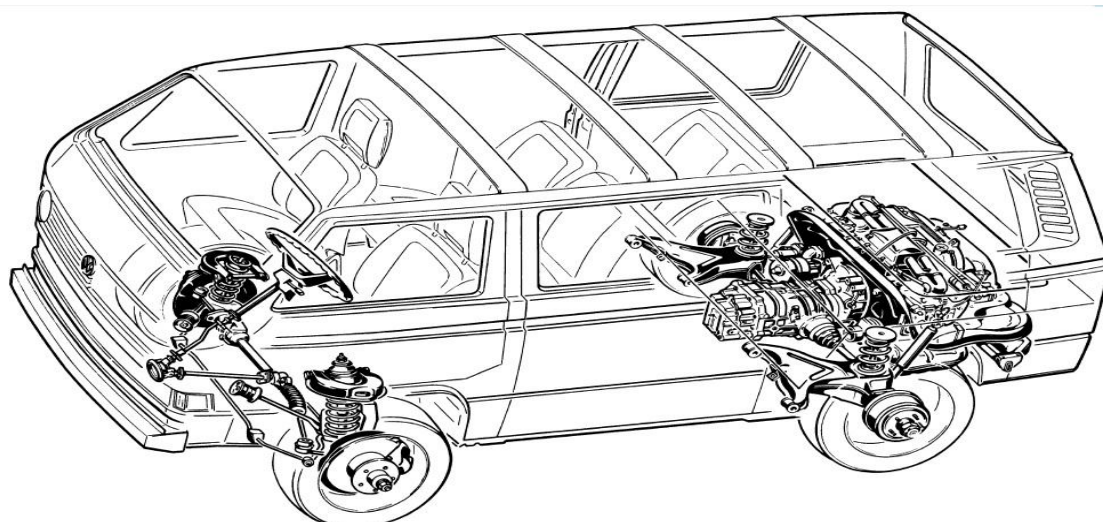
Rám má 3 body na přichycení ke karoserii. Jeho základem je robustní tyč připomínající torzní tyč. Uprostřed je přichyceno rameno, které zajišťuje trojúhelníkový tvar rámu pro lepší stabilitu. Výkyvné rameno přichyceno na rámu se soudečkovitou pružinou umístěnou více v-
předu pro lepší tvar zavazadlového prostoru a tlumičem opět za osou kola.



obr.14 Náprava VW Sharan [10]

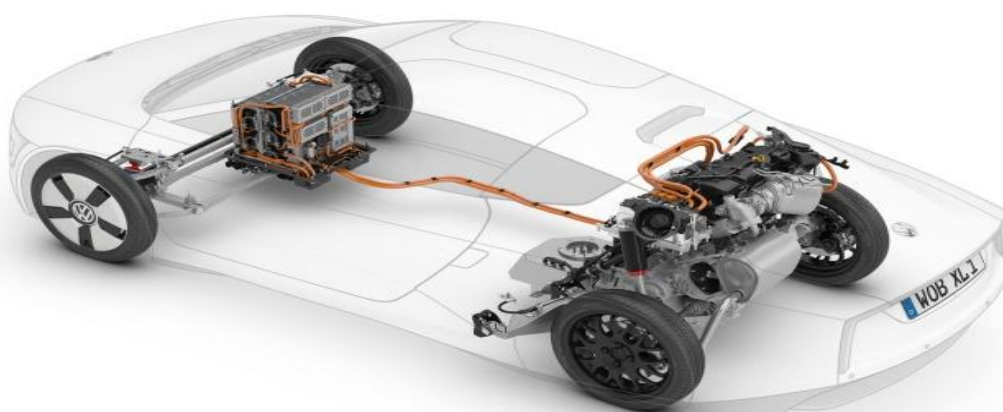
Druhá náprava od VW je ze starého modelu Transporter T3. Byl to poslední Transporter, který měl poháněnou zadní nápravu a motor uložený vzadu. Následující model T4 měl poháněnou přední nápravu a motor byl přemístěn do přední části auta. Tím se rozšířil už tak velký nákladový prostor.

Tento rám musíme brát jako celek i s rámem pro motor. Jeden bez druhého by byl málo stabilní. Jedna jeho část, která není na obrázku vidět kvůli zobrazení úchyty ramen je příčný nosník, na kterém jsou uchycena ramena, převodovka a diferenciál, který přechází až na motor a ten je uchycen pomocí dalšího rámu. Soudečkovitá pružina je umístěna přesně nad osu kola a tlumič je až za osou zakloněný dozadu. [3]



obr.15 Náprava VW transporter [3]

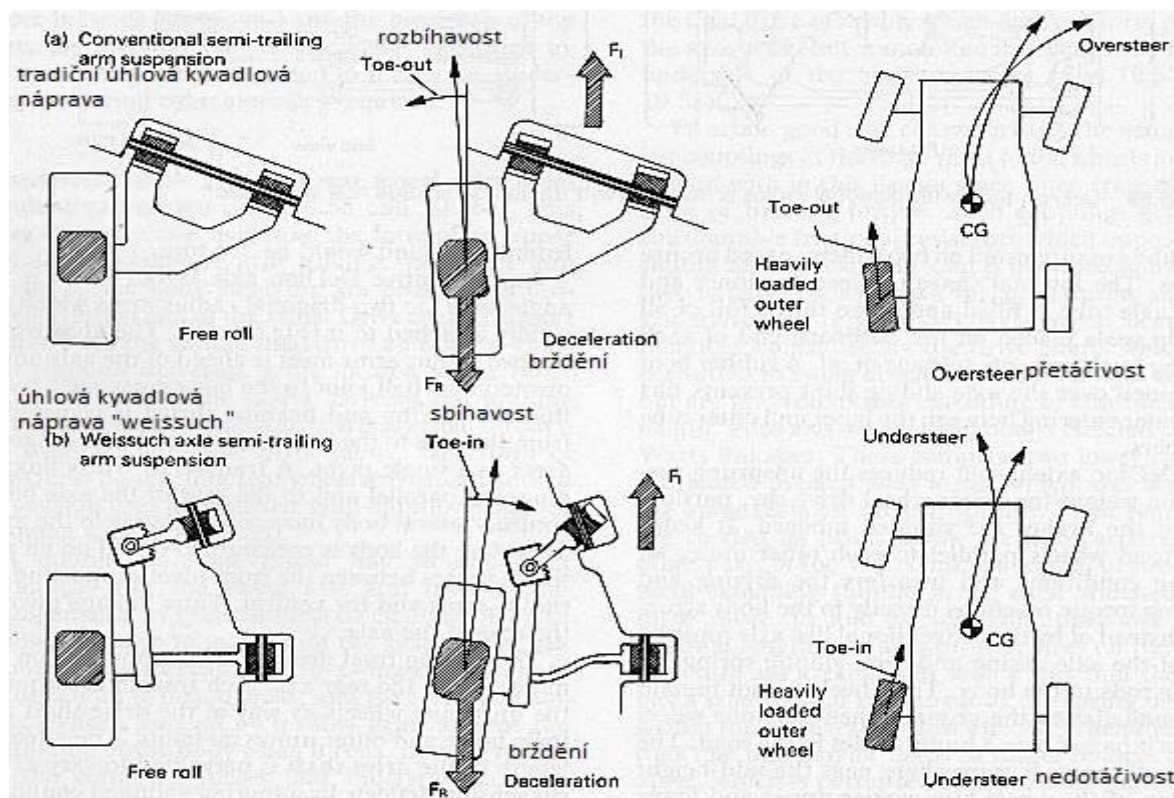
Automobilka Volkswagen vyvíjí hybridní vozidlo XL 1, které by mělo přijít na trh v roce 2014. Jedná se o menší vozidlo pro dvě osoby s motorem uloženým v zadní části. Konstrukteři kvůli většímu dojezdu na baterie museli hmotnost snížit jak jen to bylo konstrukčně možné. Vozidlo má poháněnou zadní úhlovou kyvadlovou nápravu. Její ramena, která jsou odlita z litiny, nemají pomocnou konstrukci, aby vozidlo nebylo těžší, jsou uchycena pomocí pryžových ložisek v úchytném členu, který je připevněn ke karoserii. Na obrázku není přesně vidět uložení tlumiče, ten je připevněn zevnitř ramene a poloha je téměř shodná s osou kola.



obr.16 Volkswagen XL 1 [11]

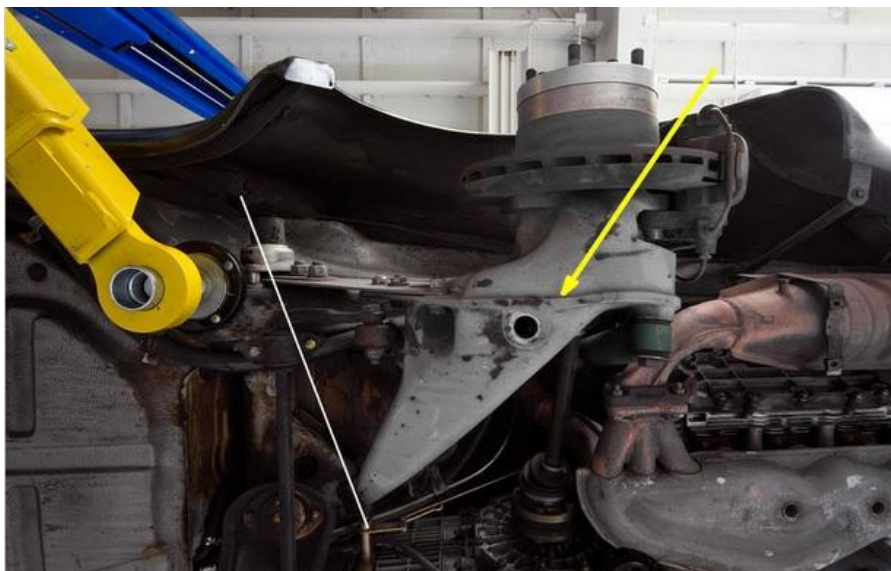
2.1.4 NÁPRAVA PORSCHE

Tato náprava byla montována do prvních modelu Porsche 911, které byly předvedeny v 70. letech. V té době tato náprava patřila mezi technickou špičku mezi zadními nápravami co se jízdních vlastností týče. Proto i Porsche využilo výborných parametrů a tato náprava se objevovala až do 90. let, kdy ji plně nahradila víceprvková náprava. Porsche s příchodem modelu 928 vyšlo s novou technickou pomůckou s názvem "weissuch". Jednalo se o rozdělení jednoho ramene na 2 části spojené otočným kloubem. Tato úprava měla za úkol při brždění změnit rozbíhavost na sbíhavost což mělo za následek, že z přetáčivosti bylo chování vozidla upraveno na lehkou nedotáčivost (při brždění). [7]



obr.17 Technologie weissuch [7]

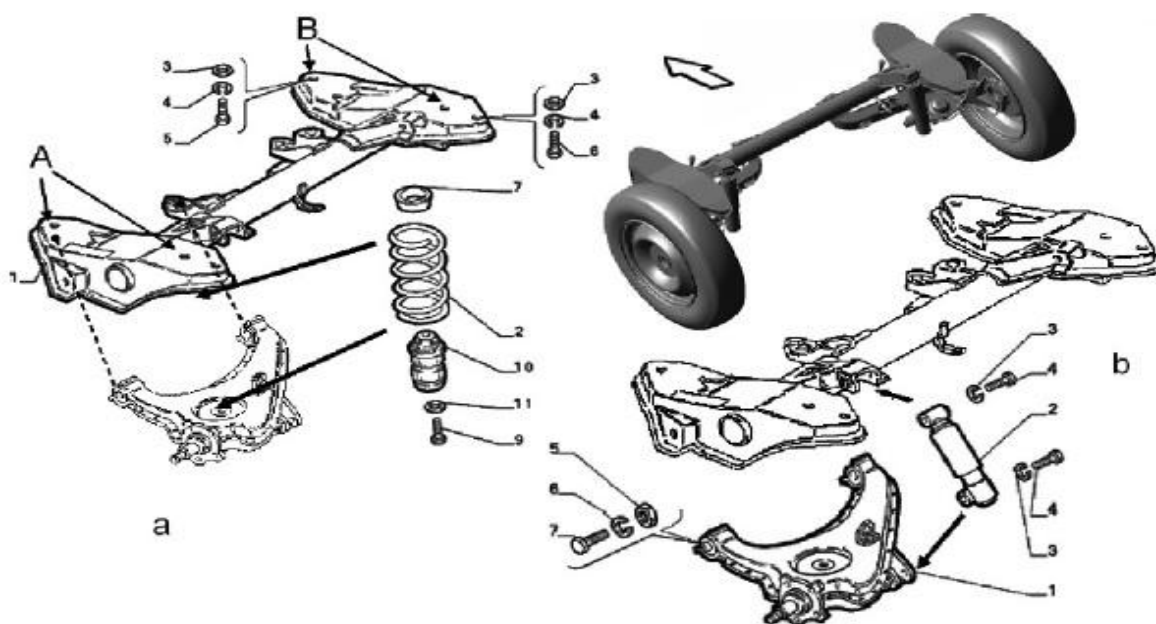
Na obrázku je zadní poháněná náprava Porsche 911 z roku 1985. Bílou čarou je naznačena osa otáčení. Žlutá šipka ukazuje hlavní část ramene, která určuje polohu a odolává brzděným a zrychlujícím momentům. Toto rameno zajišťuje i funkci torzní pružiny náprava neobsahuje vinutou pružinu. Uložení je přímo na karoserii, tudíž hodně závisí na tuhosti odlitku jenž musí vstřebat síly o které se u jiných variant stará pomocný rám. Hlavní část ramene je uchycena vedle převodovky a část, která se dá nastavovat je na otočném středu. Je vidět i vícečlenný stabilizátor a tlumič, který je opět za osou otáčení pro jeho menší zatížení. Při úplném průvěsu jako je na obrázku se tlumič dotýká výfukového potrubí. K této krajní situaci při jízdě nejspíše nedojde, ale do velké blízkosti se dostane a sáláním velkého tepla od potrubí může omezovat jeho schopnost tlumení. [12]



obr.18 Náprava Porsche 911 (1985) [12]

2.1.5 NÁPRAVA FIAT

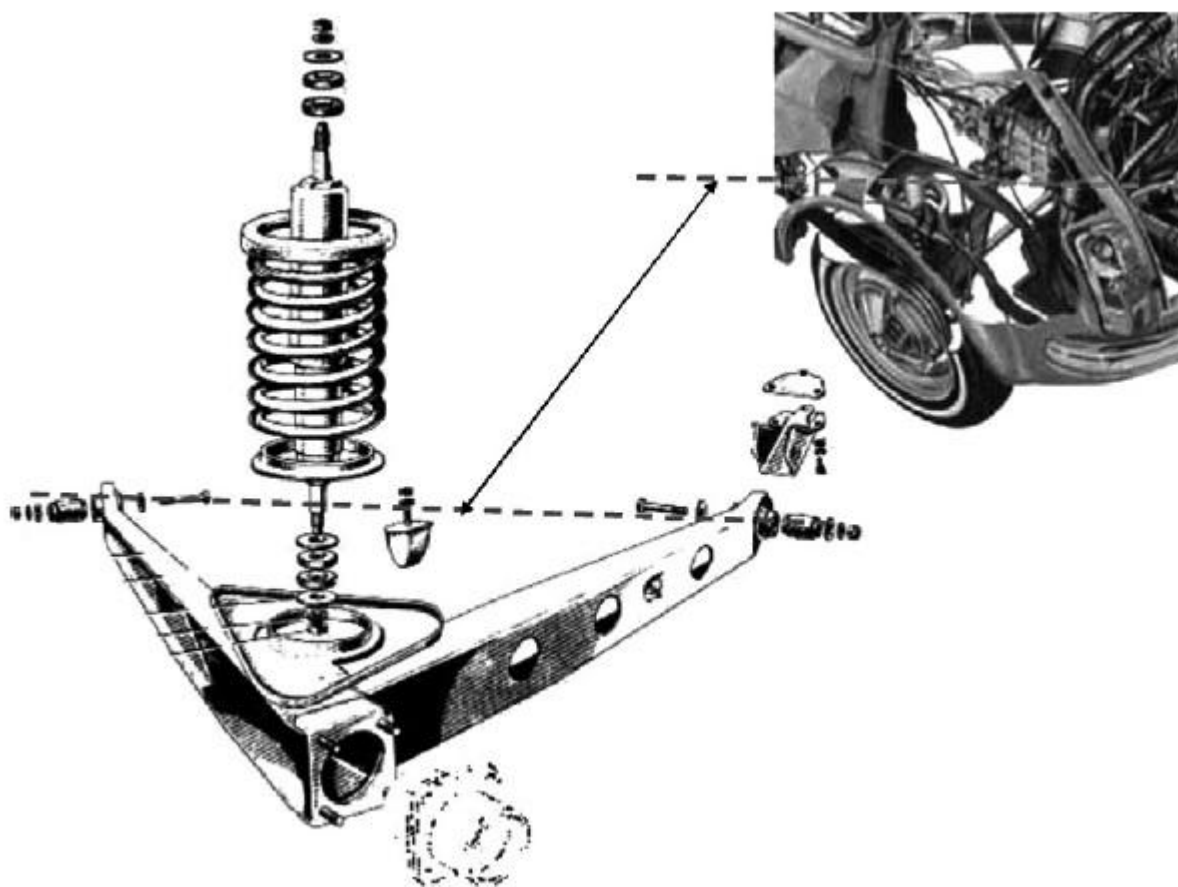
Vozy Fiat využívaly úhlovou kyvadlovou nápravu často u svých menších vozidel jako je Fiat 500. Díky její velikostně nenáročné konstrukci a dobrým jízdním vlastnostem. Tato náprava samozřejmě byla i u větších modelů například Fiat 850 Coupe. Do práce byly vybrány dvě nápravy, obě jsou z menšího vozidla jedna je hnaná druhá hnací.



obr.19 Hnaná náprava vozu Fiat [13]



Na obrázku je zadní hnaná náprava vozu Fiat. Pomocný rám je vyroben z válcové trubky s dvěma ocelovými lisovanými pouzdry na jejich koncích. Rameno je také vyrobeno ze dvou lisovaných částí svařených k sobě. Tento obrázek také ukazuje pozici vinuté pružiny a pružiny dorazu (2 a 10 ve schématu *a*) a tlumiče (2 ve schématu *b*). Pomocí lisovaných pouzder se celá konstrukce připevní ke karoserii. Tlumiče jsou z jedné strany upevněny v úchytech, které jsou přivařeny na válcové trubce a z druhé strany v úchytu na rameni. Na rameni je úchyt za osou kola, čímž je tlumič méně namáhán. Vinutá pružina s pružinou dorazovou je uchycena na šroubech mezi ramenem a pouzdrům. Ramena jsou za pomoci pryžových ložisek upevněna vnitřní částí v uložení na trubce a vnější částí v lisovaném pouzdru.[13]



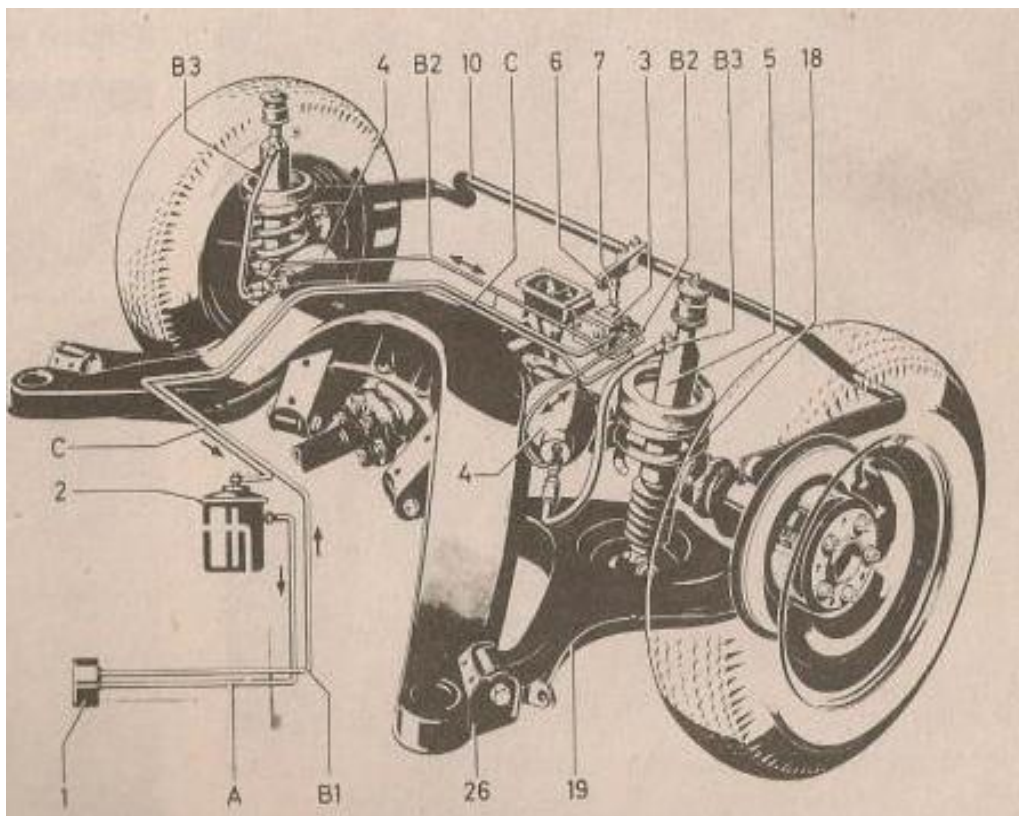
obr.20 Hnací náprava vozu Fiat [13]

Druhá znázorněná náprava je náprava hnací. Její konstrukce je jednodušší než u předchozí nápravy. Rameno je svařené ze dvou profilů, které mají na opačném konci otvory pro pryžové ložiska. Podélná část ramene je uchycena pomocí úchytu na karoserii (pod sedadly) a vykloněná část, která vede ke středu vozidla je uchycena na stejném rámu jako převodová skříň. Nad svarem profilů je přivařen trojúhelníkový vylisovaný plech, který vystředuje tlumič a vinutou pružinu. Tlumič je připevněn oproti minulé nápravě před osou kola, to způsobuje jeho větší namáhání. [13]



2.1.6 NÁPRAVA MERCEDES

Mercedes využil úhlovou kyvadlovou nápravu v řadě modelů i nejvyšší třídy. Například modely třídy S používaly tuto nápravu na modelech od roku 1972 do 1991, potom byla náprava nahrazena víceprvkovou nápravou. Jedním z posledních je užitkový vůz Mercedes Vito, který je stále běžně viděný v provozu. Konstrukční řešení se lehce liší model od modelu, ale základní části jsou velice podobné. Pro popis byla zvolena náprava modelu W 123.



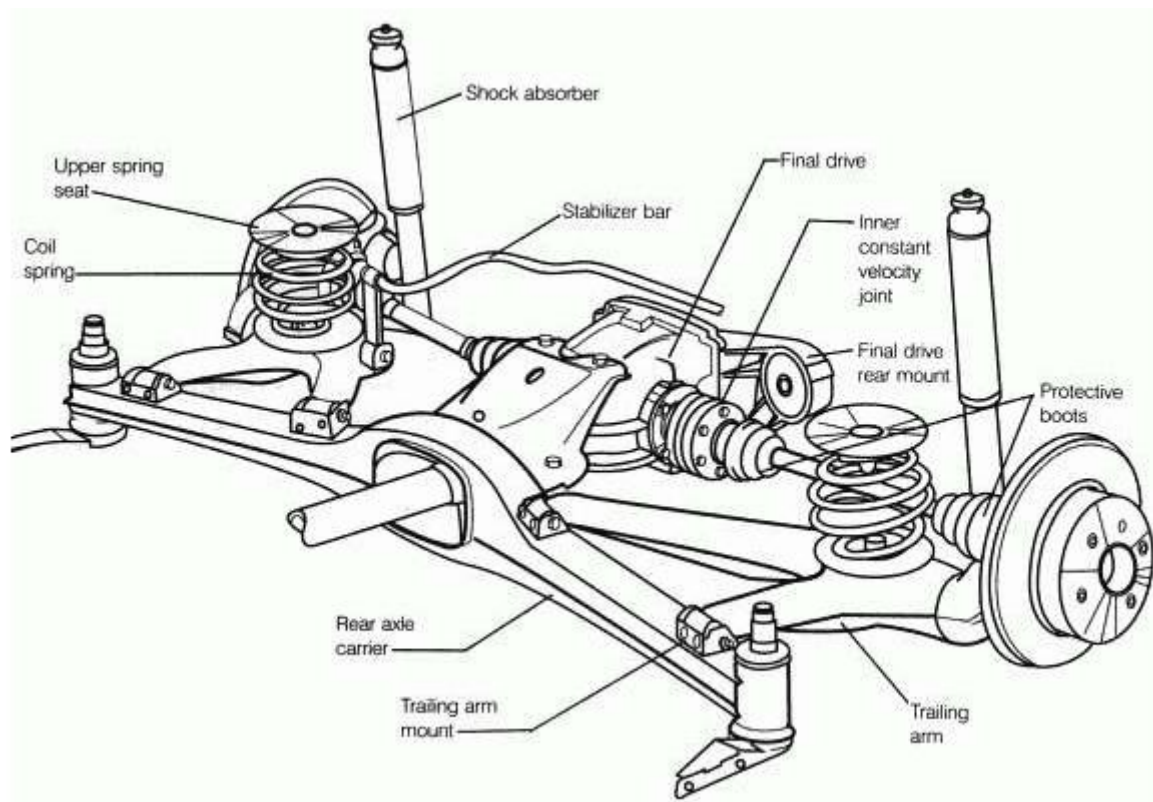
obr.21 Konstrukce nápravy modelu W 123 [14]

Na obrázku je vidět konstrukce nápravy modelu W 123. Tato konstrukce má pomocný rám, který je pomocí pryžových bloků upevněn ke karoserii a pomáhá tlumit vibrace. Tento rám z horního pohledu připomíná tvar písmene V a je velice podobný pomocnému rámu vozidla Opel Omega (popsanému výše). Na rám je společně s rameny připevněn diferenciál a vzduchové vedení. Ramena jsou uchyceny na rámu pomocí pryžových ložisek, uprostřed má kruhový otvor, který rameno odlehčí a zároveň je využit pro upevnění tlumiče, který má stejnou osu s vinutou pružinou. Pomyslné rameno tlumiče je kratší než rameno k ose kola a díky tomu na tlumič působí větší zatížení. Za koly je umístěn stabilizátor, který napomáhá jízdním vlastnostem při průjezdu zatáčkou. Pomocí vzduchového systému, který je naplňován čerpadlem je dosahováno přesnějšího a kontrolovanějšího pohybu kola a může se upravovat výška vozidla, tím měnit jízdní vlastnosti mezi sportovní nebo pohodlnou jízdou.



2.1.7 NÁPRAVA BMW

U automobilky BMW úhlová kyvadlová náprava v určitém období byla skoro na všech modelech, které BMW vyrábělo. Od trojkové řady až po řadu sedmičkovou, která je známá jako nejluxusnější řada od BMW. Nejznámější model s úhlovou kyvadlovou nápravou je BMW E 30, které jezdilo okruhové závody, rallye závody a dodnes si udrželo velkou popularitu mezi lidmi. Tato náprava se nachází i na sportovním modelu BMW Z3, model Z4 je vybaven už víceprvkovou nápravou. Jako ukázka konstrukčního řešení byla vybrána náprava modelu E30, tato náprava lehce modifikovaná byla taky na modelu Z3.

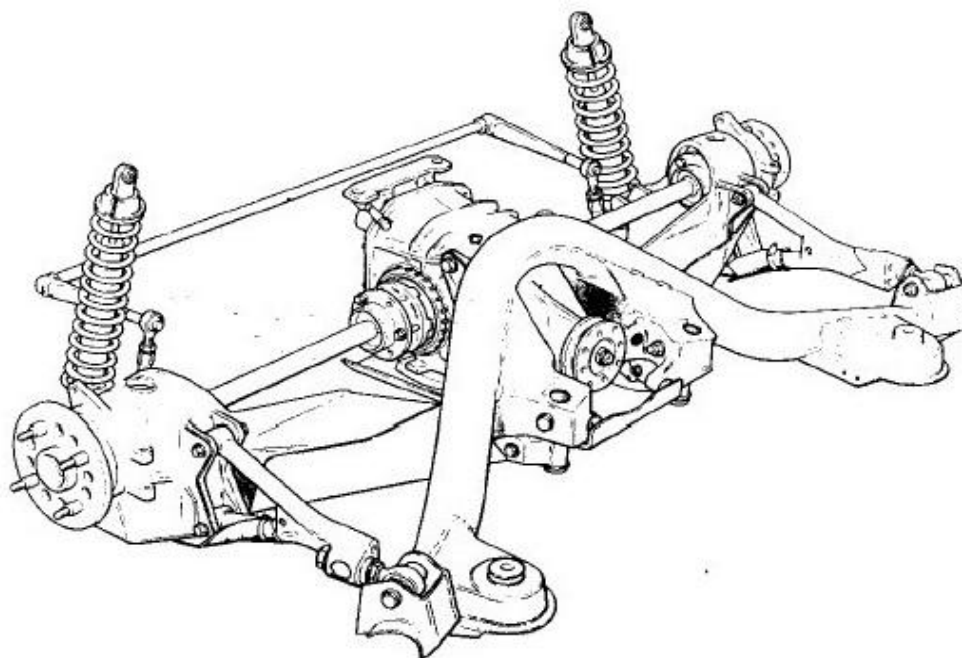


obr.22 Náprava BMW E30 [15]

Na obrázku je vidět zadní poháněná úhlová kyvadlová náprava, která má ramena upevněná pomocí pryžových ložisek na pomocném rámu. Pomocný rám, který je upevněn na dvou krajních bodech nese taky diferenciál, na jehož konci je druhá část rámu, která je opět připevněna ke karoserii. Soudečková pružina je umístěna před osou kola a tlumič naopak za osou, což způsobuje díky delšímu rameni jeho menší namáhání. Stabilizátor vedený nad diferenciálem je uchycený pomocí přídatných prvků na ramena.

2.1.8 NÁPRAVA FORD

U automobilky Ford byla úhlová kyvadlová náprava nejvíce proslavena modely Ford Sierra a Ford Escort Cosworth.

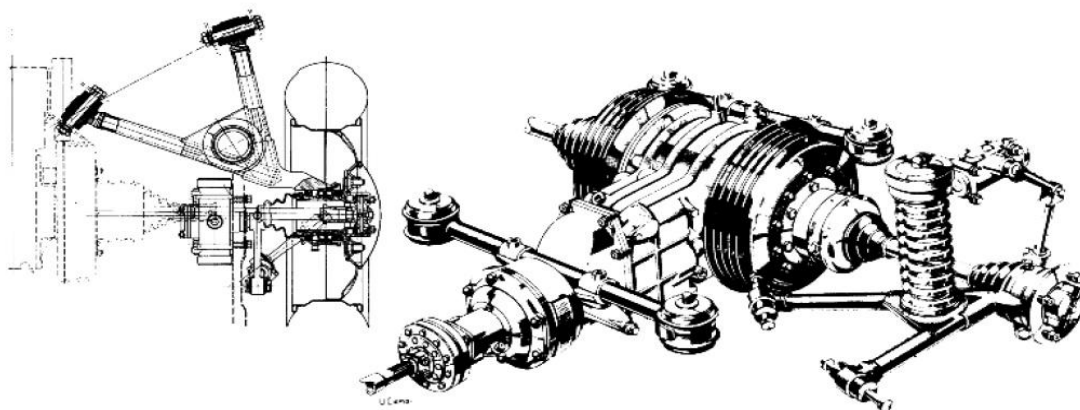


obr. 22 Náprava Ford Sierra [16]

Na obrázku je zadní poháněná úhlová kyvadlová náprava vozu Ford Sierra. Ramena, která jsou složená ze dvou částí, jsou společně s diferenciálem upevněna na pomocném rámu. Za uložení podélného ramene, které doplňuje hlavní nosnou část, je pohyblivá část, kterou můžeme ovlivnit geometrii. Tlumič má stejnou osu s vinutou pružinou a je upevněn za osou kola společně se stabilizátorem.

2.2 VÝVOJ ÚHLOVÉ KYVADLOVÉ NÁPRAVY

Úhlová kyvadlová náprava je konstrukční vylepšení klikové nápravy. První konstrukce této nápravy byla od automobilky Lancia v roce 1951. Tato konstrukce měla brzdy zabudované v diferenciální skříni. [17]



obr. 23 První úhlová kyvadlová náprava [17]



Poté postupně automobilky přicházely s výše rozebranými konstrukcemi a řadou dalších. Tato náprava byla využívána díky jejím dobrým jízdním vlastnostem a malé konstrukci i při poháněné variantě. V 70. a 80. letech úhlová kyvadlová náprava byla na většině luxusních a sportovních vozidlech. Poté ji pozvolna začala nahrazovat náprava víceprvková, která měla lepší vedení kola, ale v počátcích drahou výrobu. Dnes se úhlová kyvadlová náprava na nových vozidlech vyskytuje jen výjimečně.

Vývojem úhlové kyvadlové nápravy se dnes už žádná automobilka nezabývá jako v jejích počátcích. V nových autech zůstává základní konstrukce z předešlých modelů. Mění se pouze uložení, například pryžové ložiska, které se vyvíjí i pro současně používanější nápravy, a s vývojem nových materiálů s lepšími mechanickými vlastnostmi při menší váze taky materiály.

Dnes se vývoj specializuje na víceprvkové nápravy, které mají lepší vedení kola. Konstrukteři se snaží zlepšovat vedení kola, snižovat konstrukční obtížnost a s tím spojené nižší náklady na výrobu.

Na následujícím obrázku je zadní víceprvková náprava Mini Cooper S Countryman All 4, která je inspirována úhlovou kyvadlovou nápravou, vylepšenou přidáním rameny.



obr. 24 Víceprvková náprava Mini Cooper S Countryman All 4 [18]

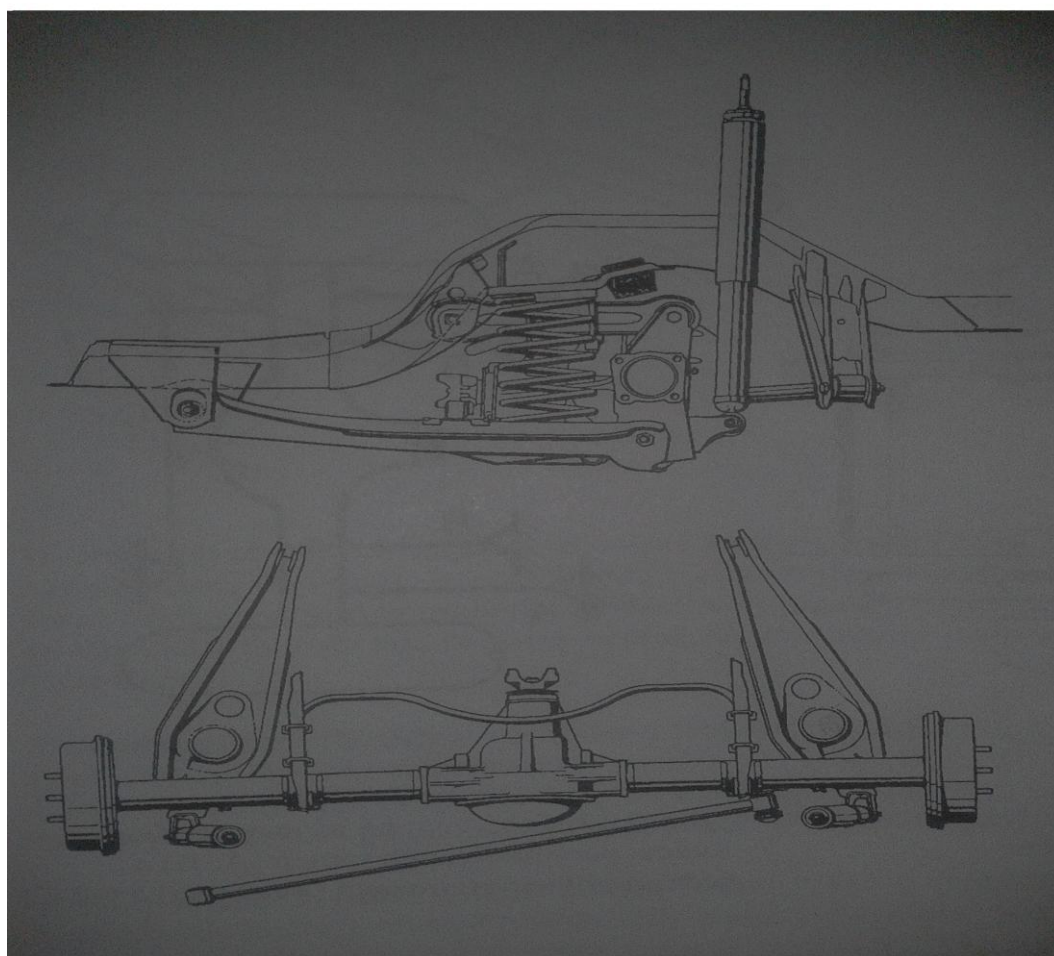


3 DALŠÍ TYPY ZAVĚŠENÍ KOL

3.1 TUHÁ NÁPRAVA

Tato náprava je nejstarší a v současnosti stále využívaná. Největší využití má dnes u nákladních automobilů, autobusů, přípojných vozidel, terénních a užitkových vozidel. U těchto velkých automobilů se o pružení starají nejčastěji listové pružiny. K odpružení tuhých náprav u osobních automobilů se listové pružiny používají jen výjimečně a to u SUV nebo terénních vozidel. Listové pružiny jsou nahrazovány vinutými pružinami a k vedení nápravy v podélném směru se od jejího počátku vynalezlo více způsobů, které mají rozlišnou stavbu, ale velice podobné jízdní vlastnosti. [1]

Na obrázku je zadní tuhá náprava Opel Record E, jejíž most je veden čtyřmi rameny v podélném směru a Panhardskou tyčí ve směru příčném. Na spodních ramenech jsou uloženy pružiny. Při propnutí mají tlumiče větší zdvih než kola díky uložení za nápravou, což zvyšuje účinek tlumení. [1]



obr.25 Zadní tuhá náprava Opel Record E [1]



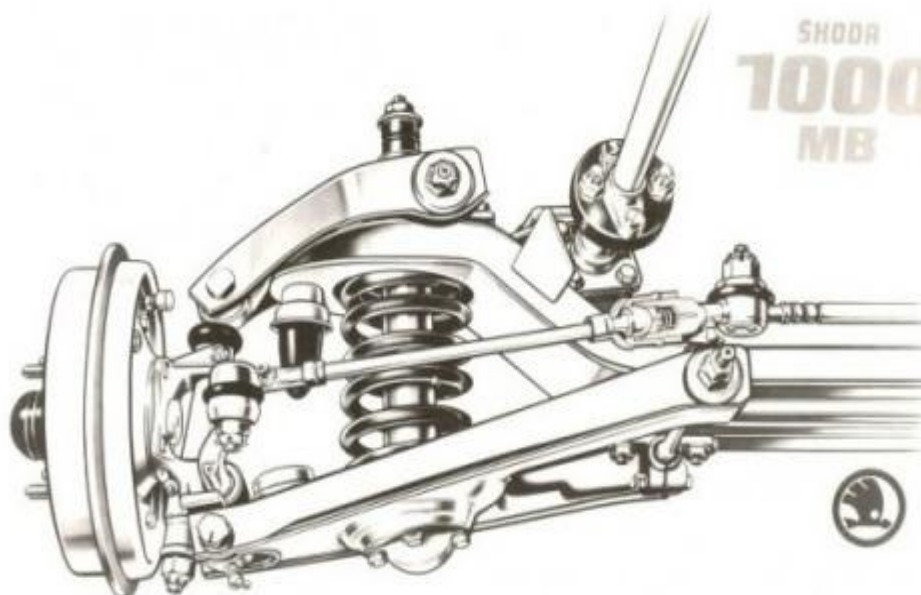
Srovnání:

U tuhé nápravy za výhody můžeme považovat jednoduchou konstrukci a s ní spojenou nízkou cenu. Co se týče jízdních vlastností u této nápravy nikdy nedojde ke změně rozchodu a vzájemnému odklonu kol.

Nevýhodou této nápravy je velká neodpružená hmotnost a při jednostranném pružení ztráta optimálního kontaktu pneumatiky s vozovkou, další problém nastává při klopení v zatáčce, které vyvolává samořízení. [1]

3.2 LICHOBĚŽNÍKOVÁ NÁPRAVA

Je tvořena dvojicí příčných ramen umístěných nad sebou, které spolu s těhlicí vytvářejí lichoběžník při pohledu zepředu. Tak vznikl i název této nápravy. Horní rameno bývá kratší a obvykle jsou trojúhelníkového tvaru. Jedná se o nápravu nezávislou, která může být přední i zadní. Na obrázku je přední řízená náprava na které jde krásně vidět tento popis. [1]



obr.26 Lichoběžníková náprava [19]

Spodní rameno bývá robustnější, jelikož je více zatěžované. Ramena jsou v pryžových pouzdrech. Pružiny jsou uloženy na spodním ramenu z důvodu jeho menších úhlových změn. Díky tomu může být pružina pevně vetknuta do ramene. V případě uložení do horního ramene by musela být přichycena přes kloubový spoj, aby vlivem stlačení nevznikalo příliš velké vyboulení pružiny. [19]



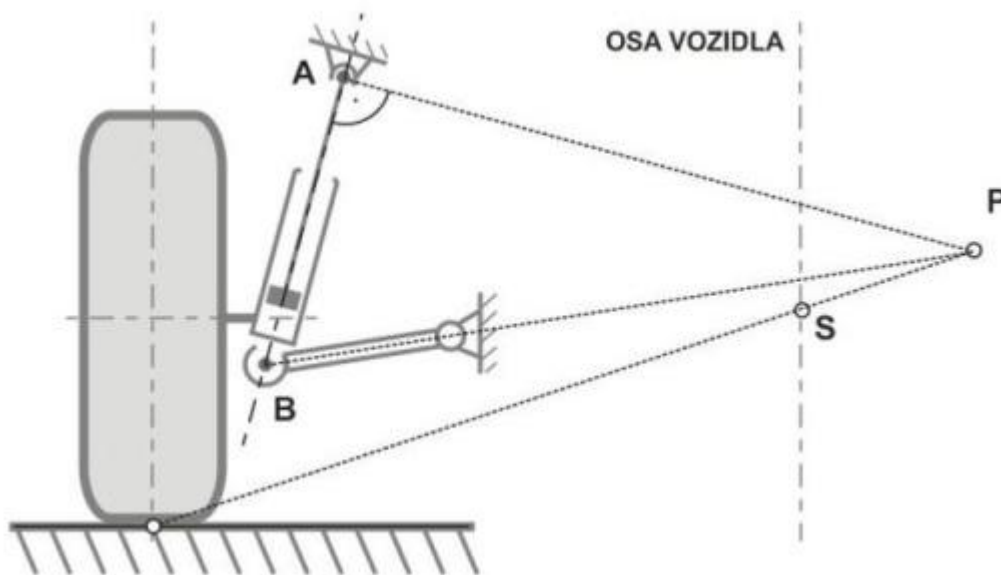
Srovnání:

při propružení mají tyto nápravy podobné změny v poloze kola. Dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti i změně rozchodu kol. U lichoběžníkové nápravy můžeme vhodnou geometrií tyto vlivy minimalizovat a dokonce při speciálním uložení ramen (dlouhá ramena) při malém propružení dokonce zamezit odklonu kola, což u úhlové kyvadlové nápravy nedokážeme. V případě zadní lichoběžníkové nápravy při pružení nedochází ke změně sbíhavosti, která by následně negativně ovlivnila jízdní vlastnosti.

3.3 NÁPRAVA MACPHERSON

Tato náprava je dnes nejčastěji používanou u osobních automobilů. První konstrukční řešení bylo ve čtyřicátých letech minulého století a název je podle jména jejího konstruktéra Američana Earle Steele MacPhersona. [20]

Náprava MacPherson je odvozena z lichoběžníkové nápravy, horní rameno zde bylo nahrazeno posuvným vedením. Tím získáme přídavný prostor pro motor nebo zavazadlový prostor. Tato náprava se používá jako přední řídící, ale může být taky jako zadní. Spodní rameno nápravy bývá nejčastěji trojúhelníkové. Použijeme-li tuto nápravu jako přední řídící, kolo se řízení natáčí kolem obou ložisek teleskopické vzpěry, na obrázku znázorněno úsečkou AB, která tvoří rejdovou osu kola. [20]



obr.27 Znázornění kinematiky nápravy MacPherson [20]

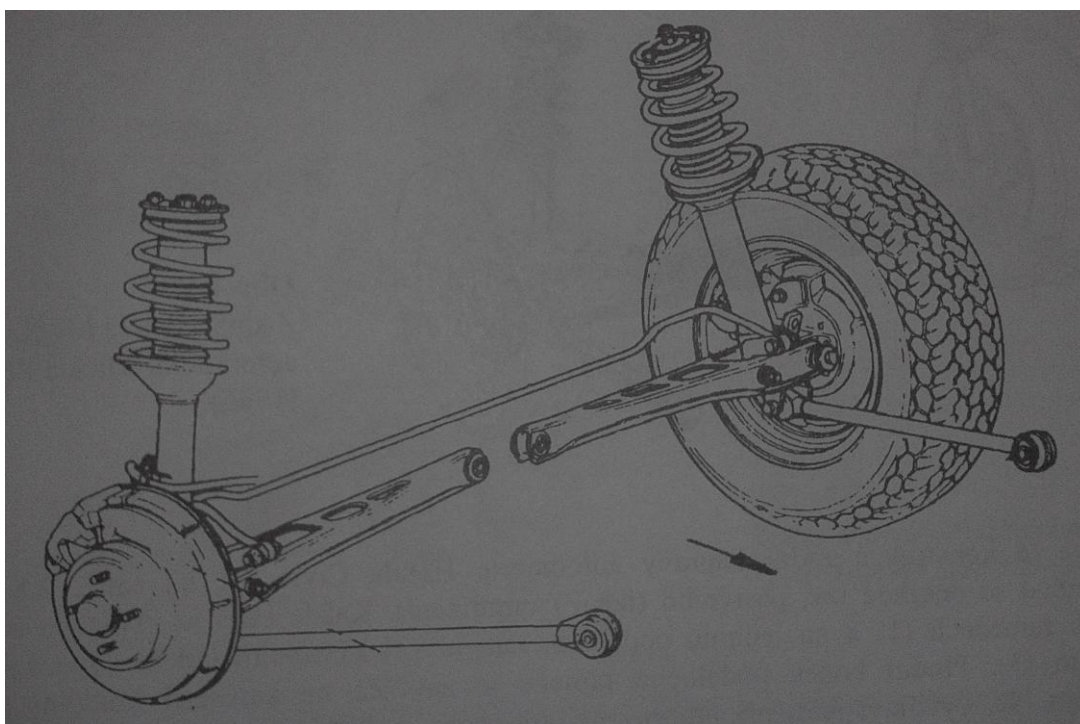
Vedení ve vzpěře je zpravidla konstruováno jako hydraulický tlumič. Toto řešení vyžaduje mnohem tužší a pevnější konstrukci tlumiče. Kvůli většímu příčnému zatížení je pístnice mnohem silnější než u jiných typů tlumičů. Pružina bývá obvykle navinuta přímo na vodící trubku tlumiče. Na obrázku jsou také vidět kinematické body nápravy. Pól klopení kola P a



klopení karoserie S leží vždy nad rovinou vozovky. Při propružení nápravy a naklápění karoserie mění kolo hodnotu odklonu.

Pro zavěšení MacPherson u zadních náprav odpadá horní axiální valivé ložisko (neřízená kola). Příčná ramena mohou být velmi dlouhá (téměř k podélné ose vozidla), co má za následek menší změny sbíhavosti a odklonu kol, tvrdostí pryže a odpovídající (co největší) vzdáleností bodů upevnění příčný ramen na nosících kol, lze ovlivňovat samořízení. [1]

Na obrázku je zadní náprava vozu Honda Prelude. Umístění spodních příčných ramen přibližně ve výšce středů kol zvýší polohu středu klopení karoserie a dlouhými rameny zajistíme vylepšení kinematických vlastností uložení. Podélná ramena jsou mírně šikmá a náklon tlumičů zmírňuje jejich namáhání. [1]



obr.28 Zadní náprava MacPherson vozu Honda Prelude [1]

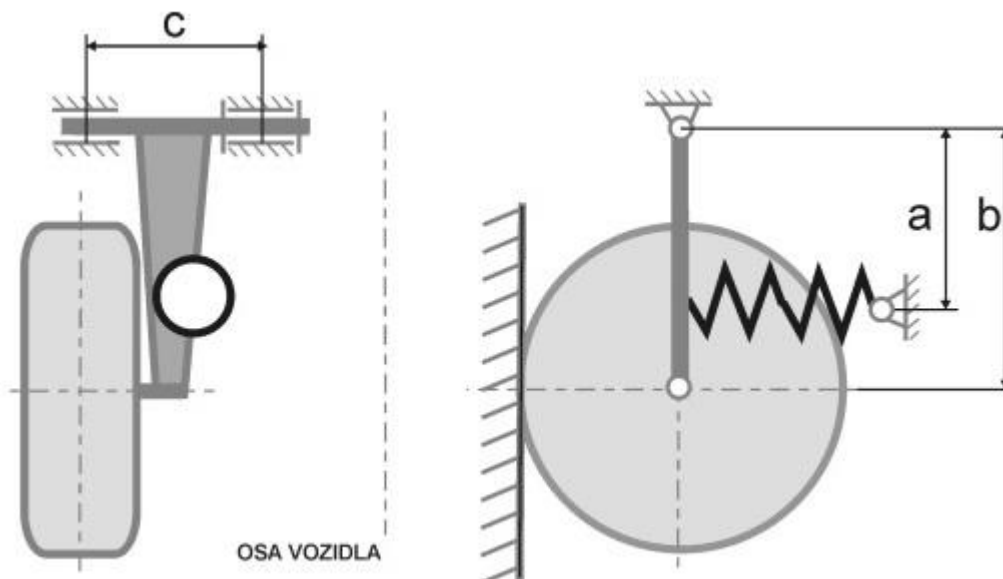
Srovnání:

U obou náprav můžeme vhodnou konstrukcí velkou mírou ovlivnit jízdní vlastnosti. Náprava MacPherson při průjezdu zatáčkou dochází k nedokonalému styku vnitřního kola s vozovkou, to je dáno konstrukcí, která dovolí pouze určitý odklon kola a při velkém náklonu může být nedostačující. V případě zadní nápravy je výhoda, že při propružení nedochází ke změně sbíhavosti oproti úhlové kyvadlové nápravě.



3.4 KLIKOVÁ NÁPRAVA

Kliková náprava má podélná ramena s příčnou (kolmou na ramena) osou kývání. Tento typ nápravy se dnes používá nejčastěji pro nepoháněné zadní nápravy. Náprava zabírá málo místa a je vhodná zejména pro automobily typu kombi nebo pro automobily se sklápěcími zadními sedadly. Části nápravy nezužují podlahu vozidla, která díky tomu může být položena velmi nízko.



obr.29 Kliková náprava [21]

Uložení je až na výjimky tvořeno pryžovými ložisky. Pro jejich menší namáhání a delší životnost jsou zvláště důležité 2 konstrukční opatření. Svislé zatížení ložisek snížíme tím, že vozidlové pružiny posuneme co nejbližší k bodu dotyku kola s vozovkou (nejlépe vzdálenost $b=a$). Vodorovné zatížení snížíme zvětšením vzdálenosti c . O tlumení se stará teleskopický tlumič s vinutou pružinou nebo použití krátké torzní tyče.[1]

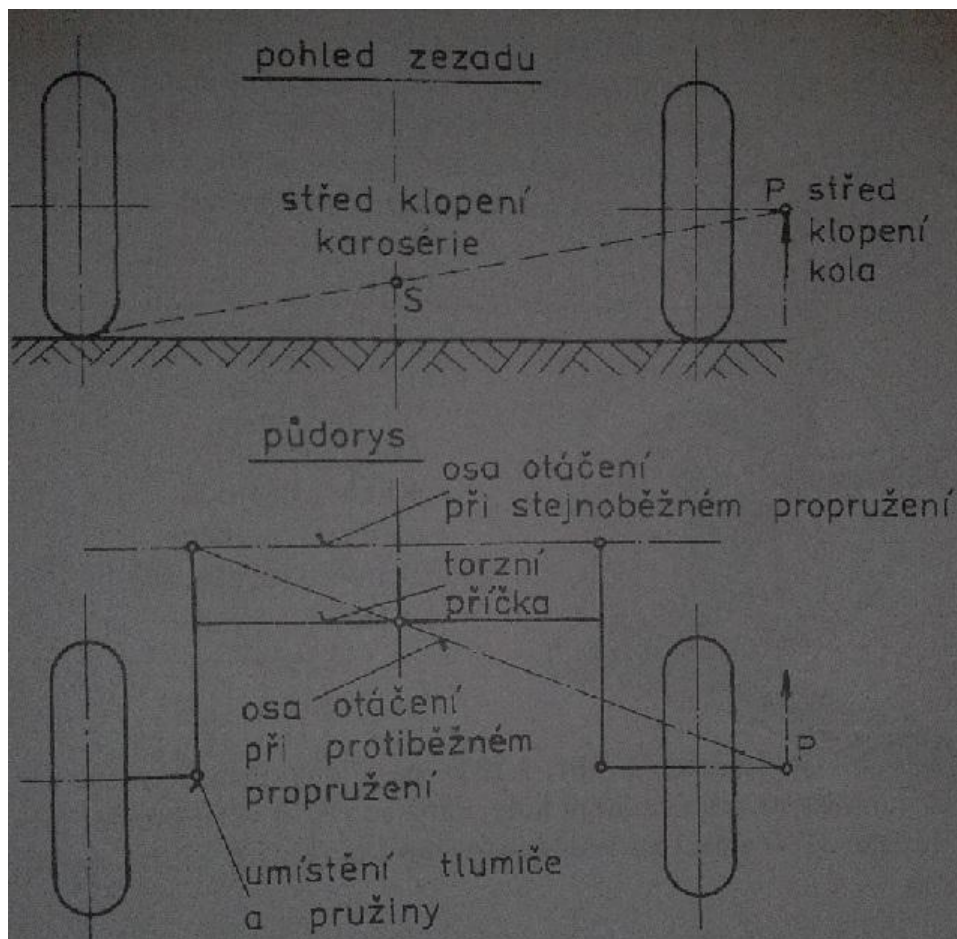
Střed klopení kola P leží u klikové nápravy v nekonečnu, to způsobuje, že střed klopení karoserie leží v rovině vozovky.[1]

Srovnání:

Kliková náprava má velice dobré chování při propuštění, kdy se mění pouze rozvor kol, ten na jízdní vlastnosti má sice významný vliv, ale změny hodnoty rozvoru jsou jen malé. Sbíhavost a odklon zůstávají beze změny. U úhlové kyvadlové dochází ke změně sbíhavosti i odklonu. Nevýhodou klikové nápravy je chování při průjezdu zatáčkou. Kolo má stálý nulový úhel se svislou rovinou vozu, ta ovšem při zatáčení mění svůj úhel s vozovkou. Tento úhel se projeví na styku pneumatiky s vozovkou a zmenší stykovou plochu, což negativně ovlivňuje průjezd zatáčkou.

3.5 KLIKOVÁ NÁPRAVA S TORZNÍM PROPOJOVACÍM PRVKEM

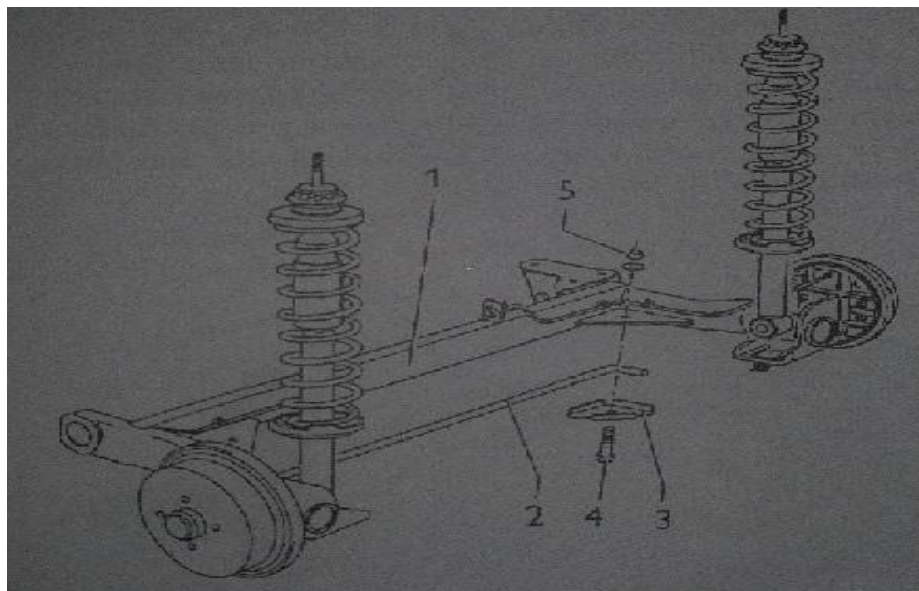
Kliková náprava s torzním propojovacím prvkem jinak nazývaná také "spřažená" kliková náprava je z kinematického hlediska přechodem mezi nápravou klikovou (nezávislým zavěšením) a nápravou tuhou (závislým zavěšením). Obě podélná ramena jsou navzájem propojeny ohybově tuhou příčkou, ta je však torzně měkká a slouží jako příčný stabilizátor. Příčka je většinou otevřená s průřezem tvaru U. [1]



obr.30 Schéma klikové nápravy s torzním propojovacím prvkem [1]

Na obrázku je vidět střed klopení karoserie S a střed klopení kola P. Kinematickou zajímavostí této nápravy je, že při stejnoběžném a protiběžném odpružení se mění okamžitá osa otáčení. Při stejnoběžném propružení se příčka nedeformuje, při protiběžném se zkrucuje, tím nahrazuje příčný stabilizátor. Při zkrácení podélných ramen na minimum nebo posunutí příčky do středů kol, by jsme získali vlastnosti tuhé nápravy. [1]

Na obrázku je znázorněna zadní náprava automobilu Škoda Felicia. Tvoří ji vlečená ramena spojená příčným torzním článkem. Na přední straně (podle směru jízdy) je přes pryžové pouzdra připevněna do nosičů, které jsou třemi šrouby spojeny s karoserií. Na opačné konci ramen z vnitřní strany je uchycena tlumící jednotka (tlumič a vinutá pružina) a ze strany venkovní jednotka pro uchycení kola. [1]



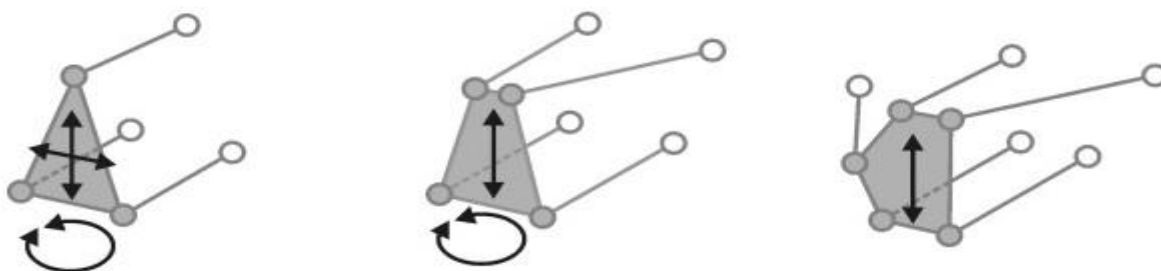
obr.31 Zadní náprava Škoda felicia [1]

Srovnání:

U klikové nápravy s torzním propojovacím prvkem dochází při stejnoběžném propnutí kol k mírnému odklonu kol podmíněnému tuhostí nápravy. Zda bude tento odklon menší než u úhlové kyvadlové nápravy záleží na jejím nastavení a velikosti tuhosti nápravy klikové s torzním propojovacím prvkem. Různoběžným propnutím při průjezdu zatáčkou vzniká odklon kola větší a nastane i změna sbíhavosti. Její nevýhodou je tendence k podporování přetáčivosti vlivem bočních sil.

3.6 VÍCEPRVKOVÁ NÁPRAVA

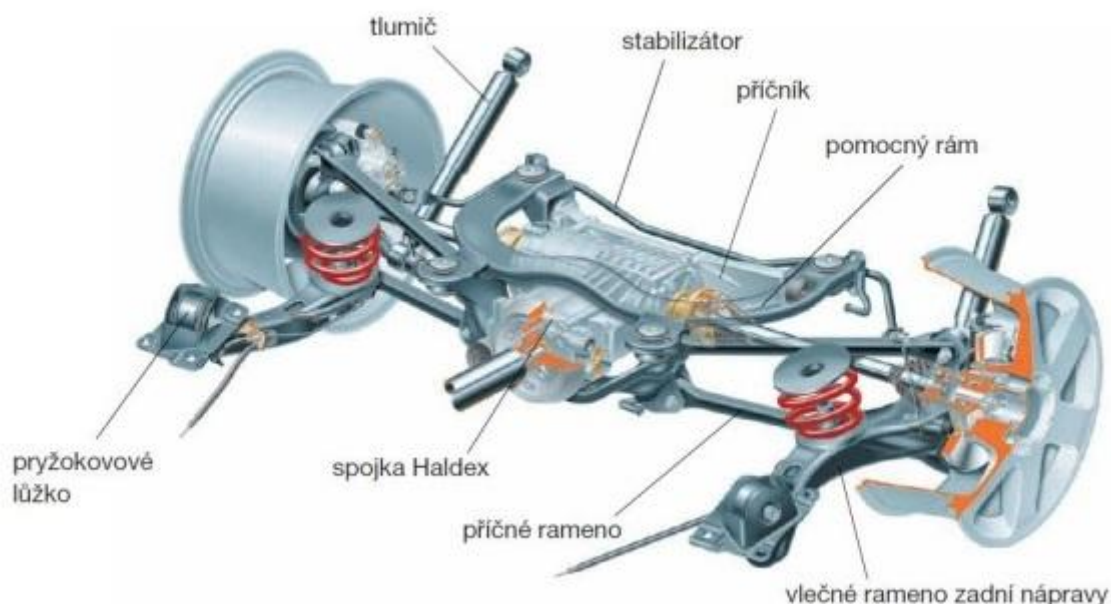
Víceprvková náprava představuje nezávislé zavěšení předních i zadních, nepoháněných i poháněných kol. Každé kolo je zavěšeno na více ramenech, nejméně musí být tři a nejlépe pět ramen. Tato náprava je považována za nejlepší konstrukční kompromis vedení kola. Počtem ramen a jejich polohou se dá docílit vysoké přesnosti vedení. [22]



obr.32 Vliv počtu ramen na kinematiku [22]



Jako příklad víceprvkové nápravy je zavěšení zadních kol Škody Octavia 4x4 na obrázku pod textem. Kola jsou zavěšena pomocí vlečných a příčných ramen. Tato konstrukce dovoluje oddělení příčných a podélných sil, přenášeny od kol do karoserie. V příčném směru je zavěšení velmi tuhé, což zlepšuje jízdní stabilitu v zatáčkách a v podélném směru poměrně poddajné, což přispívá k vyššímu cestovnímu komfortu. Svislé síly jsou zachyceny pružinou a tlumičem, které mohou být uloženy blízko kolům. Tím je méně omezován zavazadlový prostor. U zadní víceprvkové karoserie bývá obvykle (stejně jako u přední) přidavný torzní stabilizátor, který omezuje naklánění karoserie v zatáčkách. [22]



obr.33 Zadní víceprvková náprava Škoda Octavia 4x4 [22]

Srovnání:

Víceprvková náprava a její kinematika je dnes to nejlepší co nápravy automobilů nabízí. Jízdní vlastnosti se dají ovlivňovat každým ramenem. To ji ve srovnání s úhlovou kyvadlovou nápravou řadí do role favorita.



ZÁVĚR

Kinematika a s ní spojené změny geometrie u úhlové kyvadlové nápravy závisí na délce a poloze osy kývání ramene, která je dána jejím odchýlením od vodorovné polohy o konstruktéry zvolený úhel v nárysu i půdorysu. U této nápravy dochází v závislosti na pružení k geometrickým změnám odklonu kola, sbíhavosti, středu klopení a rozchodu kol, které ovlivňují jízdní vlastnosti. Odklon a sbíhavost způsobují přetáčivé a nedotáčivé chování automobilu, především přetáčivost způsobuje řidičům problémy. Snižováním výšky středu klopení příznivě ovlivníme chování nápravy, která má větší sklon k nedotáčivosti.

Dále jsem porovnával konstrukční řešení této nápravy, která může být hnaná nebo hnací. V případě hnací nápravy musí být zajištěna kompenzace délky hnací hřídele. To je zajištěno hřídelí, která má na svých koncích délkově kompenzační homokinetické klouby. Úhlové kyvadlové nápravy mají dva druhy konstrukcí. Jedna využívá pomocný rám, na kterém jsou upevněny ramena a obvykle i diferenciál. V druhém řešení jsou ramena upevněna přímo na samonosnou karoserii. Ramena můžeme rozdělit taky na dva základní druhy a to jednoduchá, obvykle odlitek a vícedílná, která mohou být svařena nebo spojena šrouby. Součástí konstrukcí je stabilizátor, který zlepšuje jízdní vlastnosti. Na namáhání a životnosti tlumiče má vliv jeho místo upevnění na ramenu. Je-li tlumič upevněn za osou otáčení kola a má tudíž delší rameno otáčení a je méně namáhaný než v případě uložení před osou.

První konstrukce této nápravy byla představena v roce 1951 automobilkou Lancia. Ostatní automobilky začaly vyvíjet své konstrukční řešení (vybrané popsány výše) a to díky dobrým vlastnostem vedení kola a malé konstrukční velikosti i v případě hnací nápravy. Začátkem 90. let tato náprava byla nahrazena víceprvkovou, která měla dokonalejší vedení kola.

V poslední části je přehled zbylých typů zavěšení. Při porovnávání náprav s úhlovou kyvadlovou nápravou se u každé nápravy našli její klady i zápory. Kliková náprava má špatné chování při průjezdu zatáčkou, ale při tlumení stejnoběžném kolo nemění sbíhavost ani odklon. Zadní náprava MacPherson nemění svou sbíhavost, ale při průjezdu zatáčkou může vnitřní kolo ztratit kontakt s vozovkou. U tuhé nápravy při vzájemném propružení nedochází ke změně sbíhavosti, ale propružením jednoho kola ztrácí ideální kontakt i druhé. Zadní lichoběžníková náprava má velkou konstrukci, ale nemění sbíhavost. Víceprvková náprava je dnes nejdokonalejší zavěšení kol, její nevýhodou bývala cena konstrukce, která je dnes už přijatelná.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-7064-X.
- [3] REIMPELL, JörnSEN, Helmut STOLL a Jürgen W BETZLER. *The automotive chassis: engineering principles : chassis and vehicle overall, wheel suspensions and types of drive, axle kinematics and elastokinematics, steering, springing, tyres, construction and calculations advice*. 2nd ed. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2001, x, 444 p. ISBN 0768006570.
- [4] SAIDL, Jan. Zavěšení kol. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/zaveseni-kol/>
- [5] SAIDL, Jan. Odklon kola. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/odklon-kola/>
- [6] SAJDL, Jan. Kyvadlová úhlová náprava. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/kyvadlova-uhlova-naprava/>
- [7] WAN, Mark. Independent Suspension: Trailing arm and Semi-trailing arm suspension. *Autozine.org* [online]. © 1998-2000 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/suspension/tech_suspension21.htm
- [8] Semi-trailing arm. *Forestmushrooms.com* [online]. 2008 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.forestmushrooms.com/colin/content/merkur/files/stas2-06-2008/stas2-06-2008.html>
- [9] Discussion on adjustable rose-jointed trailing arms. *S14.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.s14.net/forums/showthread.php?57386-Discussion-on-adjustable-rose-jointed-trailing-arms>
- [10] Semi-Trailing Arm Rear Axle: Technical glossary. *Volkswagen-grenada.com* [online]. © 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.volkswagen-grenada.com/vwcms/master_public/virtualmaster/en_gd/volkswagen_community/technology/technical_glossary/semi-trailing_arm.index.html
- [11] BREMNER, Richard. 2014 Volkswagen XL1 First Drive. *Edmunds.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.edmunds.com/car-reviews/features/2014-volkswagen-xl1-first-drive.html>
- [12] EDMUNDS, Dan. 1985 Porsche 911: Suspension Walkaround. *Edmunds.com* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.edmunds.com/car-reviews/track-tests/1985-porsche-911-suspension-walkaround.html>



- [13] GENTA, G a Lorenzo MORELLO. *The automotive chassis*. Dordrecht: Springer, c2009-, v. <1>. ISBN 97814020867312.
- [14] Changing rear suspension bushes. *Benzworld.org* [online]. ©2000 - 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.benzworld.org/forums/w123-e-ce-d-cd-td/1652682-240td-changing-rear-suspension-bushes.html>
- [15] BMW E30 M3 group A (1987). *Racingcars.wikidot.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://racingcars.wikidot.com/bmw-e30-m3>
- [16] Group a rear beam. *Passionford.com* [online]. 2005 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://passionford.com/forum/general-car-related-discussion/55036-group-a-rear-beam.html>
- [17] DIXON. *Suspension geometry and computation* [online]. Chichester, U.K.: Wiley, 2009 [cit. 2013-05-21]. ISBN 0470510218.
- [18] EDMUNDS, Dan. 2011 Mini Cooper S Countryman All4: Suspension Walkaround. *Edmunds.com* [online]. 2011 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.edmunds.com/car-reviews/track-tests/2011-mini-cooper-s-countryman-all4-suspension-walkaround.html>
- [19] SAJDL, Jan. Lichoběžníková náprava. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lichobeznikova-naprava/>
- [20] SAIDL, Jan. Náprava MacPherson (McPherson). *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>
- [21] SAIDL, Jan. Kliková náprava. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/klikova-naprava/>
- [22] SAIDL, Jan. Víceprvková náprava. *Autolexicon.net* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/viceprvkova-naprava/>



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	[-]	uchycení tlumiče
a	[mm]	vzdálenost mezi koly
a	[mm]	vzdálenost tlumiče a osy otáčení
AB	[mm]	osa teleskopické vzpěry
b	[mm]	vzdálenost mezi koly
$B_r/2$	[mm]	polovina šířky auta
d	[mm]	Vzdálenost pólu rotace a uložení ramene
e	[mm]	vzdálenost od osy kola k uložení ramene
EG	[mm]	osa otáčení
F_I	[N]	setrvačná síla
F_R	[N]	brzdná síla
h_{Ro}	[mm]	výška středu klopení
k	[mm]	výška uložení ramene
P	[-]	střed klopení kola
P	[mm]	výška pólu rotace
P_1	[-]	pól rotace
P_2	[-]	pól rotace
q	[mm]	Vzdálenost od středu kola k pólu rotace
R_o	[-]	střed klopení
S	[-]	střed klopení karoserie
W	[-]	bod středu kola
α	[°]	úhel odklonění v půdorysu
β	[°]	úhel odklonění v nárysu
γ	[°]	úhel odklonu
δ	[°]	úhel sbíhavosti