

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Přehled dostupných náprav s nezávislým zavěšením kol o nosnosti vyšší
než 7 tun

Miroslav Pecina

Bakalářská práce

2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslav Pecina
Osobní číslo: D11431
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Přehled dostupných náprav s nezávislým zavěšením o nosnosti vyšší než 7 tun
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Druhy náprav
3. Porovnání jednotlivých druhů náprav
4. Dostupné nápravy s nezávislým zavěšením kol s nosností nad 7 tun
5. Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.

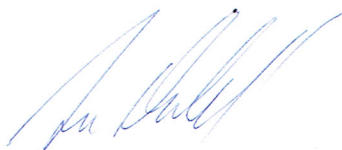
VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, 229 s. ISBN 80-719-4503-X

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Pokorný, Ph.D.

Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: 25. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 29. května 2015



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2015

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Jeseníku dne 26. 05. 2015

Miroslav Pecina

Poděkování

Za cenné informace, konzultace a rady při zpracování bakalářské práce děkuji mému odbornému konzultantovi z firmy TATRA TRUCKS a.s Kopřivnice, panu Ing. Radomíru Smolkovi a vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Janu Pokornému, PhD.

Dále bych rád velice poděkoval svým rodičům a kamarádům za podporu při studiích.

Anotace a klíčová slova

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením přehledu dostupných náprav s nezávislým zavěšením kol a nosností 7 tun. V první části práce jsou popsány jednotlivé druhy náprav a také zpracováno porovnání jejich vlastností. Ve druhé části následuje samotný přehled náprav včetně dostupných technických parametrů daných náprav.

Klíčová slova

náprava, nezávislé zavěšení, přehled, technické údaje, výška překážky, naklápění karoserie

Title

Overview of available axles with independent suspension carrying capacity of more than 7 tons.

Annotation

This bachelor's thesis focuses on creation of an overview of available axles with independent suspension carrying capacity of more than 7 tons. In the first part several kinds of axles are described and their comparison is made. In the second part follows the overview of axles including their available technical data.

Keywords

axle, independent suspension, overview, technical data, obstacle height, body roll

OBSAH

0	Úvod.....	8
1	Typy náprav	9
1.1	Principy jednotlivých systémů zavěšení.....	11
1.1.1	Tuhé nápravy.....	11
1.1.2	Nezávislé zavěšení kol (výkyvné nápravy).....	13
2	Porovnání jednotlivých druhů náprav.....	16
2.1	Schopnost kol neztratit kontakt s povrchem při přejíždění střídavých nerovností.....	16
2.2	Maximální výška překážky (nerovnosti).....	19
2.2.1	Výsledky.....	21
2.3	Naklápění karoserie	23
2.3.1	Tuhá náprava	24
2.3.2	Kyvadlové polonápravy	25
2.3.3	Lichoběžníkové a rovnoběžníkové nápravy	26
2.3.4	Výsledky.....	27
3	Přehled dostupných náprav s nezávislým zavěšením kol o nosnosti vyšší než 7 tun.....	30
3.1	Dana.....	30
3.2	ZF.....	32
3.3	AxleTech	36
3.4	Timoney.....	39
3.5	Oshkosh	41
3.6	Voith	43
3.7	Hendrickson.....	44
3.8	Reyco Granning.....	46
3.9	Meritor	49
3.10	Tatra.....	52
4	Závěr	54

0 ÚVOD

Mezi základní úkoly této práce patří vytvořit základní přehled náprav použitelných v nákladních vozidlech, které svou nosností vyšší než 7 tun splňují podmínku použitelnosti zejména pro nákladní vozy kategorií N2, N2G, N3 a N3G a shrnout vlastnosti jednotlivých druhů nápravových systémů.

Nápravy vozidla jsou nedílnou součástí podvozku vozidla, vhodným výběrem náprav použitých na vozidle, lze docílit optimálního komfortu jízdy ve všech režimech jízdy, pro které bylo vozidla konstruováno. Užitím vyspělého systému odpružení a stabilizačního systému, lze vylepšit některé parametry, například průchodnost terénem, jízdní vlastnosti při jízdě obloukem nebo zvýšit užitečnou hmotnost automobilu.

V dnešní době většina výrobců automobilů používá nápravy a odpružení dodávané specializovanými výrobci. Výrobce vozidla, který vyvíjí svůj vlastní systém nezávislého zavěšení je méně obvyklý úkaz. Nejen proto jsem se rozhodl zpracovat přehled dostupných náprav s nezávislým zavěšením kol, které jsou použitelné především v nákladní dopravě.

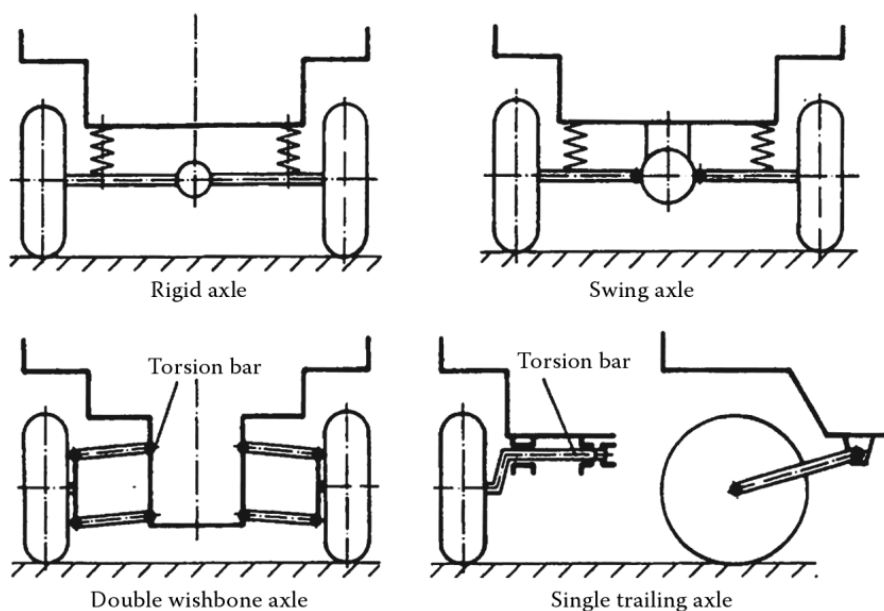
1 TYPY NÁPRAV

Nápravy spolu s pérováním, kolovými brzdami a koly s pneumatikami patří do skupiny podvozků automobilů nazývaných podvěsy. Do předních podvěsů zahrnujeme ještě rejdové ústrojí. Podvěs musí přenášet všechny síly od vozovky (resp. od kola) do rámu automobilu.^[1]

Náprava je ta část podvozku automobilu, jejímž prostřednictvím jsou dvě protilehlá kola dvoustopého automobilu zavěšena na jeho nosné konstrukci nebo na nosných částech podvěsu. Tato konstrukce musí umožňovat přesné a dostatečně pevné vedení všech kol a musí zabezpečit přenos všech sil automobilu na nápravu.

Úkolem odpružení kol je nést tíhu vozidla, oddělit nápravy od rámu či karoserie, tak aby nedocházelo k přenosu vibrací a rázů na posádku a přepravovaný náklad při přejíždění nerovností terénu.^[2]

Náprava má být dost pevná a přitom co nejlehčí, protože patří k neodpruženým hmotám. Velikost setrvačných sil působících na nápravu při jízdě v nerovném terénu se zvyšuje úměrně s její hmotností. Proto má velká hmotnost nápravy nepříznivý vliv na jízdni vlastnosti automobilu.



Obrázek 1 - Základní typy náprav používané v užitkových vozidlech (*rigid axle* – tuhá náprava; *swing axle* – kyvadlová náprava; *double wishbone axle* – rovnoběžníková náprava; *single trailing axle* – vlečená kliková náprava; *torsion bar* – zkrutná tyč) [3]

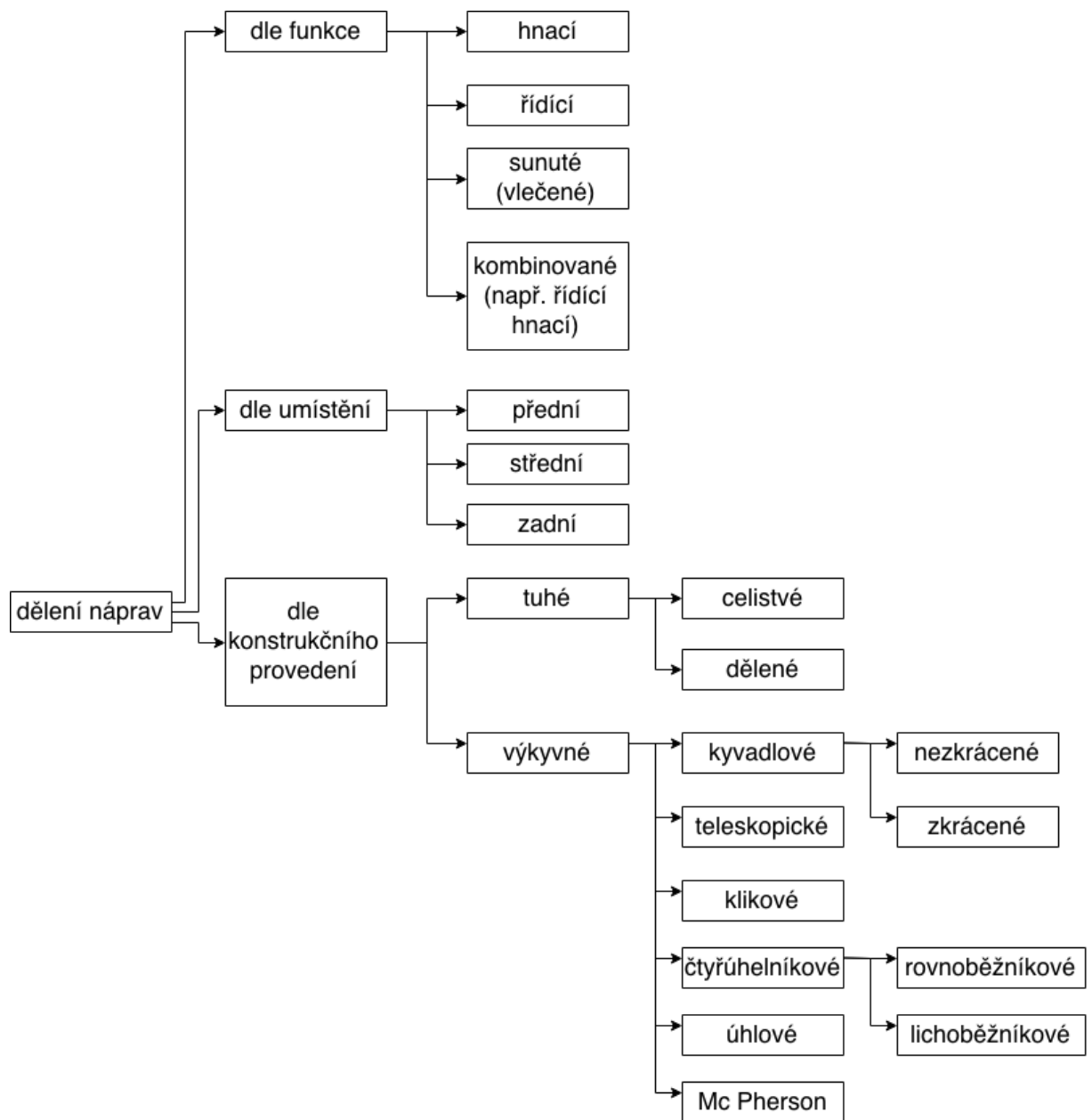


Schéma rozdělení náprav poskytuje základní přehled dostupných typů náprav. Pro použití v nákladních a terénních automobilech se však hodí pouze několik konstrukčních řešení.

Nejčastěji se u nákladních vozidel můžeme setkat se zavěšením kol pomocí tuhých náprav. Pokud je na nákladním vozidle použito nezávislého zavěšení kol, jedná se nejčastěji o řešení pomocí kyvadlových polonáprav, nebo lichoběžníkových ramen.

1.1 Principy jednotlivých systémů zavěšení

Vzhledem k mechanickým vztahům mezi koly, zavěšením, odpružením a rámem, jsou systémy zavěšení kol děleny na dvě hlavní skupiny: tuhé nápravy a nezávislé zavěšení kol.

1.1.1 Tuhé nápravy

Nejstarším, avšak dodnes používaným a nejvíce rozšířeným druhem zavěšení kol u nákladních vozidel, je zavěšení pomocí nápravy tuhé. Tento systém zavěšení kol se sestává pouze z jednoho typu nápravy a to nápravy tuhé. Tuhé nápravy dělíme podle celistvosti na nápravy s celistvou, nebo dělenou nápravnicí.

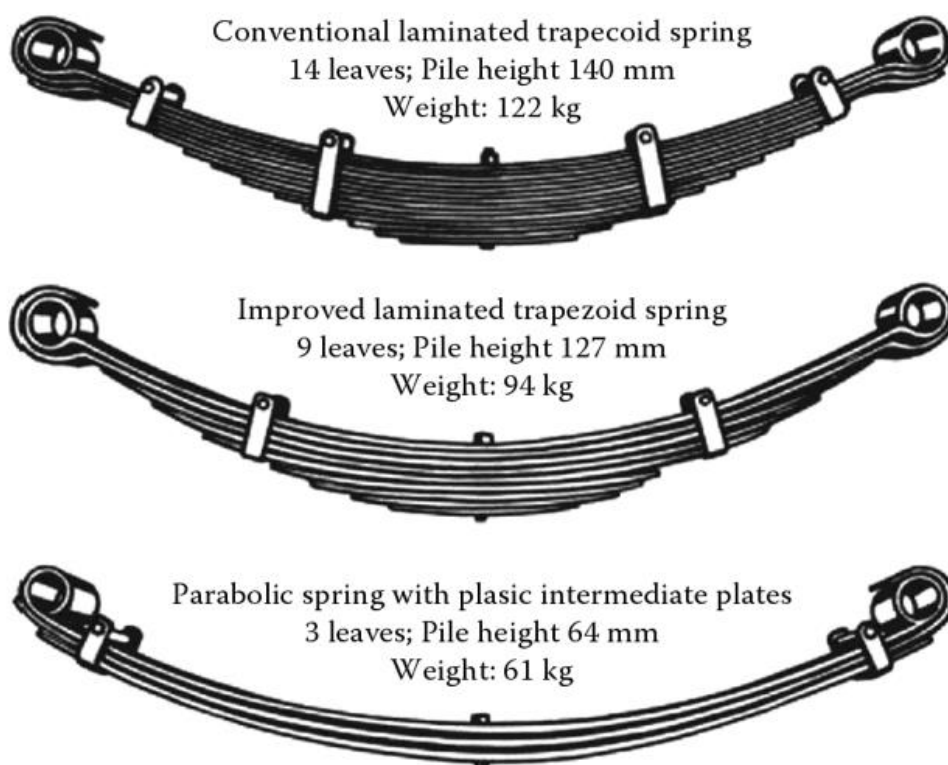
Použití tuhých náprav je velmi široké, od řídicích, přes hnané až po sunuté (vlečené). Tuhé nápravy jsou charakteristické spojením obou kol do jednoho celku pomocí pevného nosníku. Mezi výhody tuhých náprav patří levná výroba, mechanická odolnost a z toho plynoucí možnost vyššího zatížení. Také jednoduchost samotné nápravy je v náročných provozech velmi výhodná. Tuhé nápravy mohou být použity bez zásadnějších úprav a jejich rozšířenost je jejich velkou výhodou. I jejich spojení s karoserií nebo rámem vozidla je levnější a méně náročné na samotný návrh spojení. Náklady spojené s kontrolami a servisem tuhých náprav jsou nižší než u nezávislého zavěšení kol, protože tuhé nápravy jsou konstrukčně jednodušší.

Naopak mezi nevýhody patří značná hmotnost samotné nápravy a neměnná vzájemná poloha obou kol dané nápravy, která způsobuje při přejezdu nerovnosti jedním kolem, částečné vychýlení druhého kola dané nápravy. Nicméně tato nevýhoda v podobě pevné vazby mezi koly, se může stát výhodou, např. při vytrvalostních závodech typu Rallye Paříž-Dakar, kdy u vozidla rozhoduje i stabilita při doskoku. A právě zde získává výhodu tuhá náprava a její neměnná poloha kol vůči sobě, protože během letu se kyvadlové nápravy vyvěsí do dolní polohy a při doskoku, kdy dochází ke stlačení odpružení, dojde také příčnému posuvu kol na obou stranách vozidla. Tento posun způsobuje obtíže především v terénu, protože některé z kol se dotkne země dříve a naruší směrovou stabilitu vozidla. ^[4]

Pro odpružení tuhých náprav se používá nejčastěji listových per nebo vinutých pružin, popřípadě vzduchových pružin. U těžkých nákladních vozidel jsou častěji využívány listové pružiny. Listové pružiny se sestávají z několika listů, které mají různou délku. Tyto pružiny jsou schopny nápravu vést, jak v příčném tak i v podélném směru. Tím odpadá nutnost dalších

táhel a ramen, která by musela zajišťovat právě ono vedení nápravy v příčném a podélném směru, a z toho plynoucí nižší hmotnost celé nápravové jednotky.

Protože jsou do listových pružin přenášeny síly od reakčních momentů, vznikajících při brzdění či akceleraci, statického zatížení a síly vyvozené terénem, musí být listová pružina dostatečně tuhá. Tato tuhost má však za následek relativně krátkou dráhu odpružení. Potřebné progresivity odpružení lze u listových pružin dosáhnout přidáním další, menší, listové pružiny. U silničních vozidel mohou být nápravy uloženy na listové pružině, ale u terénních vozidel je častější uložení nápravy pod listovou pružinou, z důvodu vyšší světlé výšky. V minulosti prošly listové pružiny značným vývojem, byly představeny nové konstrukce a materiály, např. parabolická listová pružina s malým počtem listů. V případě této pružiny je množství listů redukováno a je navýšena síla jednotlivých listů. Toto vytváří možnost sestavit pružiny o 30 - 50 % lehčí v porovnání s konvenční listovou pružinou.



Obrázek 2 - Porovnání hmotnosti, počtu listů a tloušťky listových pružin, při konstantní výsledné tuhosti [3]

Také možnost použít kompozitní materiály, především kevlar s vlákny laminovanými na délku, by mohl přinést úsporu váhy až 30% v případě parabolických listových pružin nebo 50% v případě konvenčních listových pružin.

Z důvodu vysoké tuhosti listových pružin je pro optimální délku dráhy odpružení třeba použít vinutých pružin. Mezi jejich výhody patří nízká hmotnost, nulová údržba, absence suchého tření (u listových pružin vzniká mezi jednotlivými listy) a jednoduchost uložení. Pomocí tohoto typu pružin, může být dosaženo progresivní charakteristiky odpružení jednodušeji než u listových pružin. Nevýhodou řešení odpružení pomocí vinutých pružin je fakt, že je nutné zajistit přenos příčných a podélných sil pomocí táhel. Tato soustava táhel navyšuje hmotnost nápravové jednotky a v případě potřeby progresivního odpružení částečně snižuje výhodu použití vinutých pružin místo progresivních listových per.^[5]

1.1.2 Nezávislé zavěšení kol (výkyvné nápravy)

Systémy nezávislého zavěšení kol jsou charakteristické absencí prvku, který by spojoval jednotlivá kola nápravy a vytvářel mezi nimi mechanickou vazbu. Společným znakem všech systémů nezávislého zavěšení je uchycení každého z kol nezávisle pomocí závěsu na nosnou konstrukci. Vychýlení jednoho z kol druhé kolo neovlivní. Hmotnost nezávislého zavěšení je zpravidla nižší než u řešení pomocí tuhých náprav. Také hmotnost neodpružených hmot je nižší, především pak u hnací nápravy, kdy je rozvodovka pevně spojena s odpruženou částí vozidla.

Kyvadlové polonápravy

Vzácné, ale velmi elegantní je zavěšení kol pomocí kyvadlových polonáprav, které je často používáno v kombinaci s centrální nosnou rourou.

Systém kyvadlových polonáprav v kombinaci s centrální nosnou rourou aktuálně používá pouze firma TATRA TRUCKS a.s Kopřivnice pro všechna svá vozidla kategorie N3 a N3G o celkové hmotnosti nad 16 tun, a to jak pro civilní, tak i vojenská vozidla. V minulosti pak byl tento systém použit u vozidel typu Halfinger a Pinzgauer – speciály s nosností 1,5 tuny

vyvinuté primárně pro armádní službu. Centrální nosná roura redukuje dodatečné namáhání a kroucení karoserie vznikající jízdou přes nerovný terén.

V případě řešení společnosti Pinzgauer jsou klouby umístěny ve skříní diferenciálu. Hřídele kol jsou spojeny s ozubenými koly diferenciálu. Toto řešení umožňuje výkyv ± 15 stupňů.

Výhody odpružení pomocí kyvadlových polonáprav v kombinaci s nosnou rourou:

- malé neodpružené hmoty
- nízká hmotnost rámu (centrální roury)
- absence křížových kloubů, resp. spojovacích hřídelí (kardanů)
- elegantní konstrukční řešení
- vysoká ochrana hnacího traktu proti poškození při jízdě v terénu

Na druhou stranu se jedná o ojedinělé řešení. Pro konstrukci a sestavení nemůže být použito mnoho univerzálních dílů, vše je potřeba vyrábět na míru konkrétnímu konstrukčnímu řešení. Světlá výška, při použití mechanického odpružení, se mění podle aktuálního zatížení. Řešením tohoto problému je použití pneumatického systému, který udržuje stálou světlou výšku nezávisle na zatížení jednotlivých náprav.

Lichoběžníková (rovnoběžníková) náprava

Běžným typem nezávislého zavěšení kol je zavěšení pomocí dvojice ramen, častěji tvořících při průmětu do nárysné roviny lichoběžník, odtud název lichoběžníková náprava. Pokud jsou ramena stejné délky, jedná se o rovnoběžníkovou nápravu. Toto řešení však není příliš časté, především z důvodu prostorové náročnosti, nebo nutného zkrácení spodního ramena, což se podepisuje na omezeném maximálním vertikálním vychýlení kola.

Výhodou lichoběžníkových náprav jsou menší zástavbové rozměry samotné nápravy. Nevýhodou pak nižší odolnost v těžkém terénu a z toho plynoucí vyšší náročnost údržby (více otočných čepů, silentbloků atd.).

Odpružení může být řešeno vinutými pružinami, zkrutnými tyčemi, nebo vzduchovými vaky. Netradiční návrhem odpružení se vyznačuje německý vůz Iltis. Horní příčné táhlo je zároveň i pružným elementem.

Kliková náprava

Zavěšení kol pomocí klikových polonáprav má původ u přípojných silničních vozidel. Odpružení většinou zajišťuje zkrutná tyč, která je namontována napříč vozidlem a každá polonáprava může mít vlastní. Z tohoto důvodu často dochází k rozdílnému rozvoru na levé a pravé straně vozidla, popř. k přesazení rozvoru o určitou hodnotu na jedné či druhé straně vozidla. Tento typ odpružení neumožňuje zatáčení kol. Proto může být použit pouze u neřiditelných náprav nebo smykem řízených vozidel a strojů.

Příkladem kombinace různých druhů odpružení na jednotlivém vozidle může být obrněný transportér PANDUR, který na prvních dvou nápravách používá dvojité lichoběžníkové ramena, právě z důvodu říditelnosti a na zbylých nápravách používá klikové ústrojí pro jednotlivá kola.

Kliková náprava již dále nebude v této práci uváděna, protože nemožnost řízení kol značně komplikuje použití v nákladních vozidlech.

2 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ NÁPRAV [2]

Protože jsou oba systémy zavěšení kol v praxi úspěšně používány, je důležité stanovení jejich výhod a nevýhod. Systémy zavěšení kol jsou zkoušeny tak, aby se prokázaly tyto vlastnosti:

- schopnost kol neztratit kontakt s povrchem při přejíždění střídavých nerovností,
- naklápění karoserie při průjezdu zatáčkou či po svahu,
- ovladatelnost jednotlivých kol a jejich zatáčení,
- ekonomie provozu, praktické a konstrukční souvztažnosti,
- celková výška a konstrukce podvěsu

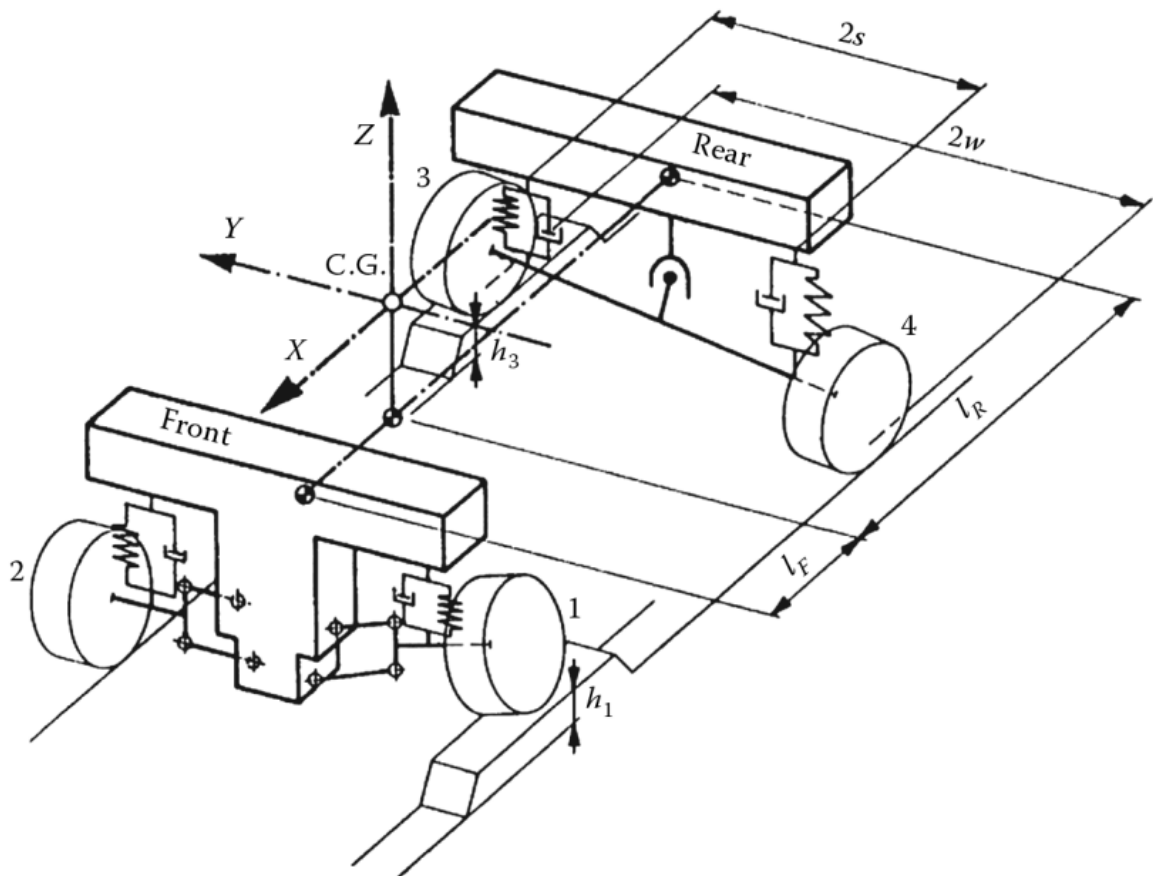
V kapitolách 2.1, 2.2 a 2.3 budou porovnány některé z vlastností odlišných typů náprav.

2.1 Schopnost kol neztratit kontakt s povrchem při přejíždění střídavých nerovností

Rozdíl mezi zatížením jednotlivých kol při překonávání překážky může být považován za jeden z prvků popisujících schopnost jízdy terénem. Stejně zatížení všech kol ukazuje na více rovnoměrné rozložení váhy a stejné schopnosti adheze všech kol. V případě nerovnoměrného přítlaku jednotlivých kol může docházet ke zvýšení jízdního odporu na více zatíženém kole a ke ztrátě trakce na kole méně zatíženém.

Rámy moderních terénních vozidel, které používají nezávislého zavěšení kol, jsou odolné vůči krutu, proto je důležité, aby co možná největší vyrovnání rozdílu v zatížení jednotlivých kol zajistilo právě zavěšení kol. Jiná situace panuje u vozidel s tuhými nápravami. Aby bylo dosaženo dostatečného zdvihu a předcházelo se ztrátě kontaktu kola s terénem, je u terénních aplikací vozidel s tuhými nápravami rám velmi krutově poddajný. Příkladem může být Tatra T810 vybavená portálovými tuhými nápravami.

Při samotném zkoumání schopností náprav jsou překážky (nerovnosti) umístěny diagonálně před kola dvou náprav. Po najetí na překážky jsou překážky zvyšovány až do okamžiku, kdy některé protilehlé kolo ztratí kontakt se zemí. Účelem tohoto zkoumání je nalézt vztah mezi výškou překážky a rozdíly zatížení kol pro jednotlivé typy náprav.



Obrázek 3 - Základní model pro porovnání schopnosti kol neztratit kontakt s povrchem [3]

Schopnost kol neztratit kontakt s povrchem při přejíždění střídavých nerovností je charakterizována součtem výšek obou překážek:

$$h = h_1 + h_3 \quad (1)$$

Rozdíl v zatížení kol před a po najetí na překážku je definován:

$$\Delta W_i = W_i - W_{i0} \quad (2)$$

kde: i ... index kola (1, 2, 3, 4)

o ... situace před najetím na překážku; vozidlo stojící na vodorovné ploše

Maximální schopnost kol neztratit kontakt s povrchem při přejíždění střídavých nerovností je dosažena při ztrátě kontaktu jednoho z kol s terénem.

$$\Delta W_i = -W_{i0} \quad (3)$$

Následující vztahy jsou platné pro všechny typy náprav:

- Součet zatížení jednotlivých kol je roven celkovému zatížení

$$\sum_{i=1}^4 W_i = W \quad (4)$$

- Rovnice popisující výpočet momentů vyvozovaných zatížením kol může být použita pro všechny typy náprav. Rozdíl momentů musí být vzhledem k vodorovné příčné ose procházející těžištěm vozidla roven 0.

$$(W_1 + W_2) * I_F = (W_3 + W_4) * I_R \quad (5)$$

Aby bylo možné porovnávat jednotlivé typy náprav mezi sebou, je nutno použít vyjádření stlačení pružiny při běžném zatížení.

$$\varphi_i = \frac{W_{i0}}{c_i} \quad (6)$$

Rozdíl v zatížení kol, může být vyjádřen jako funkce součtu výšky obou překážek, vlastností odpružení a geometrických vztahů v nápravě.

Pro tuhou nápravu:

$$\frac{\Delta W_i}{W} = h \frac{I_F I_R S_F^2 S_R^2}{4W_F (I_F + I_R) (I_F S_R^2 w_F \varphi_F + 2I_R S_F^2 w_R \varphi_R)} \quad (7)$$

U tuhé nápravy záleží na poměru s/w , což je poměr vzájemné vzdálenosti prvků odpružení k rozchodu kol.

Pro nezávislé zavěšení kol:

$$\frac{\Delta W_i}{W} = h \frac{I_F I_R}{4(I_F + I_R)(I_F \varphi_F + I_R \varphi_R)} \quad (8)$$

Ze vztahu (8) vyplývá, že rozdíl v zatížení kol pro tento druh zavěšení je nezávislý na geometrických vztazích u tohoto typu nápravy.

Většinou je umístění pružících prvků podobné pro obě nápravy, rozchod kol pro obě nápravy shodný a proto, je pro lepší porozumění dobré zaměřit se na vztah s/w (bez rozlišení umístění).

Dopad rozložení tlaků na nápravu je více zjevný, pokud je do rovnice zaveden poměr I_F/I_R (podélná vzdálenost mezi nápravou (přední/zadní) a těžištěm).

Pro tuhou nápravu:

$$\frac{\Delta W_i}{W} = h \left(\frac{s}{w}\right)^2 \frac{I_R/I_F}{4 \left(\frac{I_F}{I_R} + 1\right) \left[\left(\frac{I_F}{I_R}\right) (\varphi_F + \varphi_R)\right]} \quad (9)$$

Pro nezávislé zavěšení kol:

$$\frac{\Delta W_i}{W} = h \frac{I_R/I_F}{4 \left(\frac{I_F}{I_R} + 1\right) \left[\left(\frac{I_F}{I_R}\right) (\varphi_F + \varphi_R)\right]} \quad (10)$$

2.2 Maximální výška překážky (nerovnosti)

Maximální výška překážky (nerovnosti) je dosažena, jestliže protilehlé kolo nápravy ztratí kontakt s povrchem při najetí kola na překážku. V tento okamžik platí, že zatížení kola je rovno 0.

$$\frac{\Delta W_i}{W} = -\frac{W_{i0}}{W} \quad (11)$$

$$\frac{W_{i0}}{W} = \frac{1}{2 \left(\frac{I_F}{I_R} + 1 \right)} \quad (12)$$

Vztah určující maximální výšku překážky pro tuhou nápravu:

$$h_{max} = \frac{2 \left[\left(\frac{I_F}{I_R} \right) (\varphi_F + \varphi_R) \right]}{\left(\frac{s}{w} \right)^2} \quad (13)$$

Po zjednodušení (za podmínky, že těžiště leží v polovině rozvoru a odpružení obou náprav má stejnou charakteristiku) dostáváme vztah:

$$h_{max} = \frac{4\varphi}{\left(\frac{s}{w} \right)^2} \quad (14)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že maximální výška překážky, kterou může za určitých předpokladů překonat vozidlo vybavené tuhými nápravami, roste se zvyšující se měkkostí odpružení. Naopak pokud je odpružení umístěno blízko kola (poměr $s/w \rightarrow 1$), výška překonatelné překážky klesá.

Vztah určující maximální výšku překážky pro nezávislé zavěšení kol:

$$h_{max} = 2 \left[\left(\frac{I_F}{I_R} \right) (\varphi_F + \varphi_R) \right] \quad (15)$$

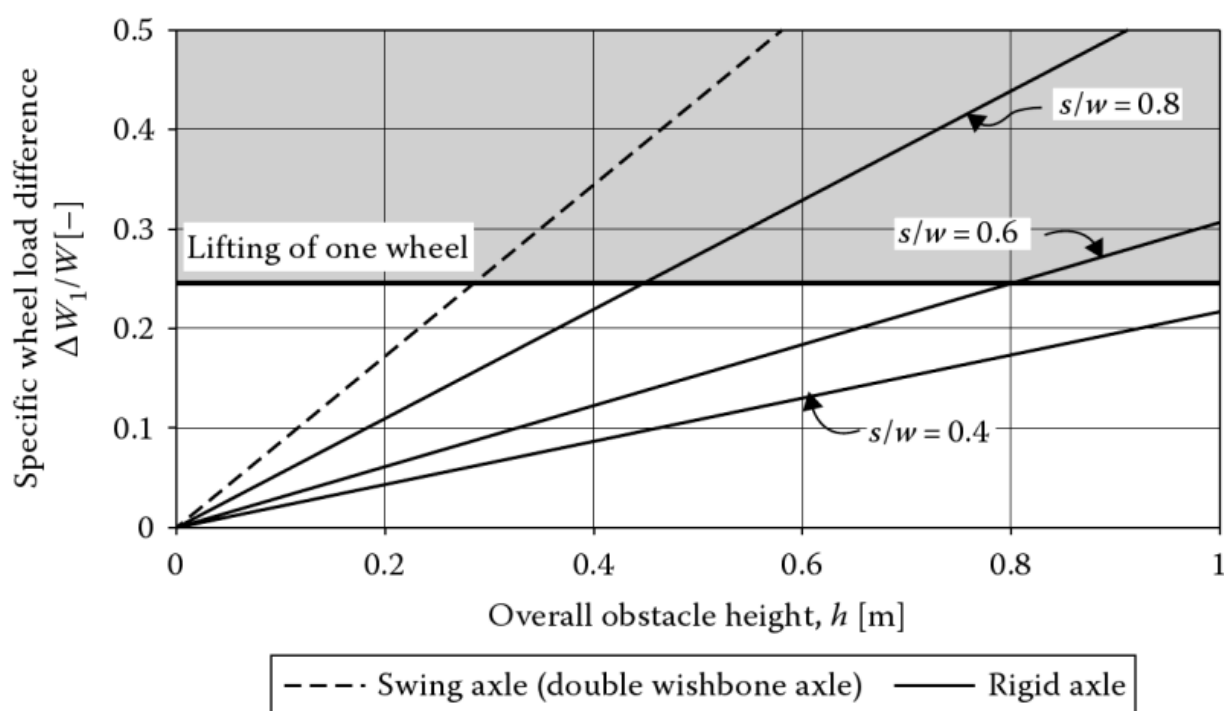
Po zjednodušení (za podmínky, že těžiště leží v polovině rozvoru a odpružení obou náprav má stejnou charakteristiku) dostáváme vztah:

$$h_{max} = 4\varphi \quad (16)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že maximální výška překážky, kterou může za určitých předpokladů překonat vozidlo vybavené nezávislým zavěšením kol, je přímo úměrná čtyřnásobku měkkosti odpružení.

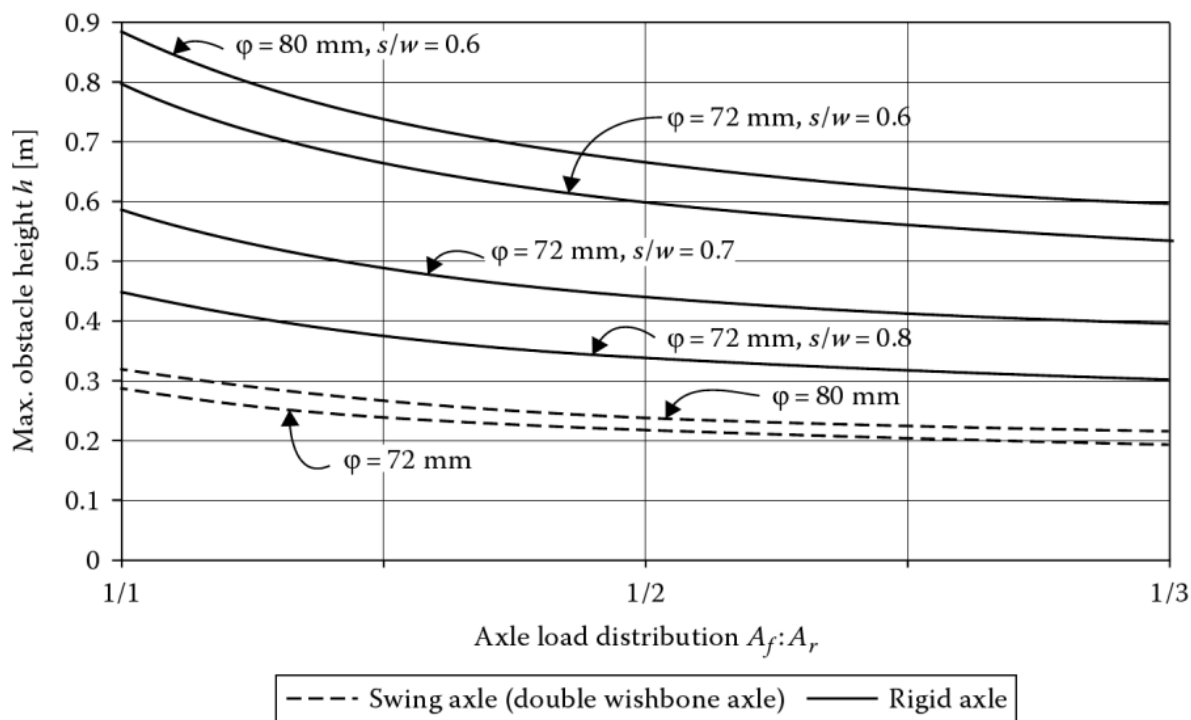
2.2.1 Výsledky

Nejllepší cestou jak ukázat schopnosti jednotlivých podvozků, je zanáest výsledky do grafu. Graf vyjadřuje závislost mezi zatížením kola a výškou překážky. V tomto grafu je uplatněna podmínka, že charakteristika pružení shodná pro přední i zadní nápravy a těžiště vozidla leží v polovině vzdálenosti náprav (rozvoru).



Obrázek 4 – Závislost mezi zatížením kola a výškou překážky (*specific wheel load difference* – rozdíl v zatížení kol; *overall obstacle height* – celková výška přeážky; *lifting of one wheel* – ztráta kontaktu kola s terénem) [3]

Je zřejmé, že hodnota rozdílu v zatížení kol je nižší pro tuhé nápravy, než pro nezávislé zavěšení kol. Rozdíl v zatížení kol tuhé nápravy závisí na geometrickém vztahu rozměru nápravy, který je charakterizován poměrem s/w . Z grafu lze vyčíst nepřímou úměru mezi poměrem s/w a maximální výškou překážky. Pro relevantní porovnání je dobré se zaměřit na poměr $s/w = 0,8$, který se vyskytuje nejčastěji.

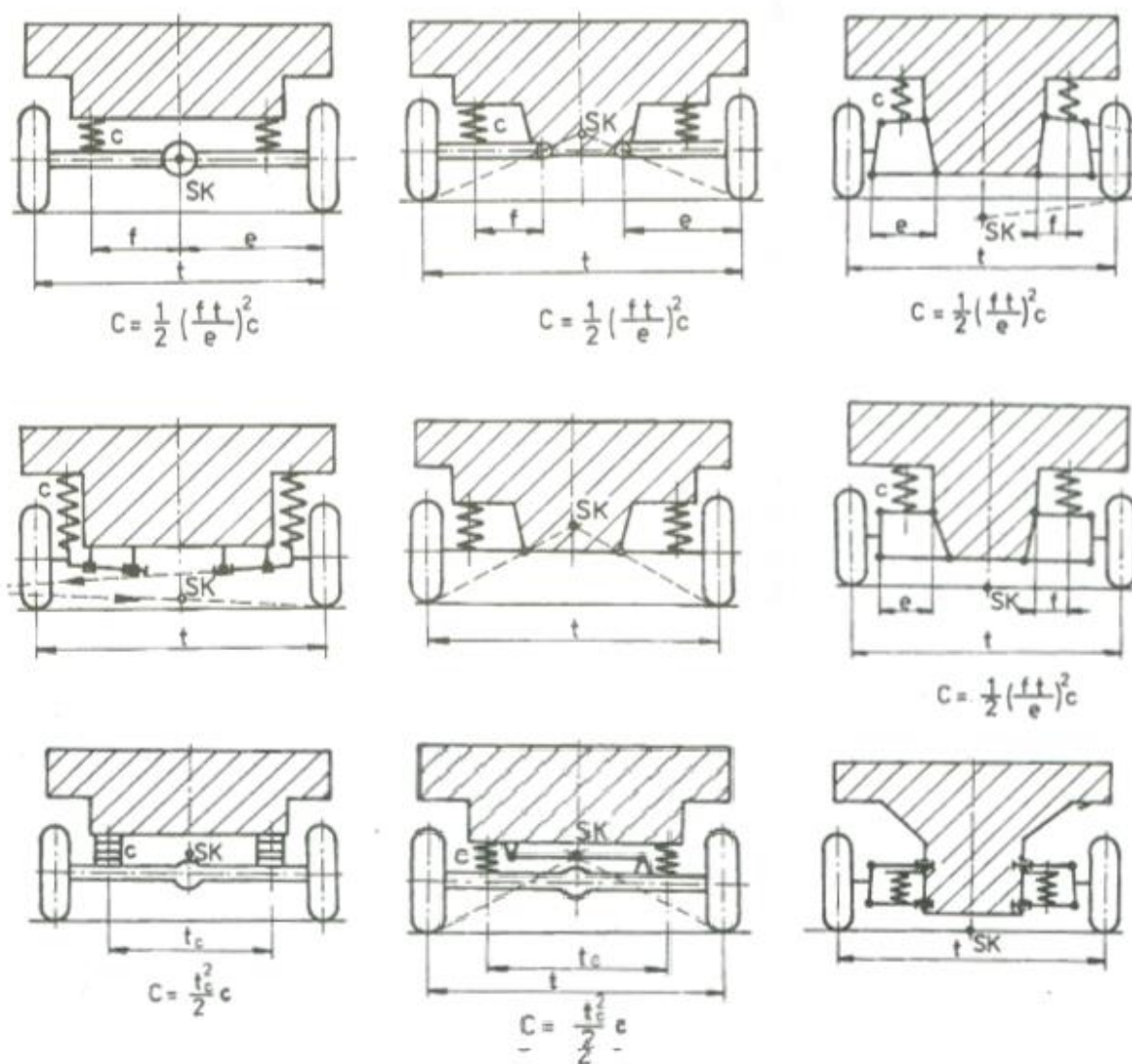


Obrázek 5 - Závislost mezi maximální výškou překážky a poměrem zatížení náprav (*swing axle* – kyvadlová náprava; *rigid axle* – tuhá náprava; *max. obstacle height* – maximální výška překážky; *axle loading distribution* – rozdělení zatížení mezi přední a zadní nápravu) [3]

Z grafu (obrázek 5) je patrná souvislost mezi maximální výškou překážky, typem nápravy, tuhostí odpružení a poměru rozdělení zatížení mezi přední a zadní nápravu. Pro překonání co nejvyšší překážky bez ztráty kontaktu kola se zemí je v případě tuhé nápravy vhodné měkčí odpružení, umístěné blíže ke středu vozidla (nižší poměr s/w) a rovnoměrné rozložení zatížení na jednotlivé nápravy. Výška překážky, kterou je vozidlo schopno překonat pomocí nezávislého zavěšení, je jen velmi málo ovlivňována rozložením zatížení a tuhostí odpružení. V absolutních číslech nezávislé zavěšení kol dosahuje nižších maximálních výšek nerovností než zavěšení pomocí tuhé nápravy.

2.3 Naklápění karoserie

Úhel, o který se karoserie terénního nebo nákladního vozidla při jízdě zatáčkou nebo ve svahu nakloní, je důležitým ukazatelem terénních schopností vozidla. Naklápění karoserie by mělo být co nejmenší. Míra naklápění karoserie vozidla při jízdě zatáčkou nebo ve svahu je ovlivněna výškou bodu klopení karoserie. Tento bod je statický bod, kolem kterého se karoserie kvůli odstředivým silám a silám působícím při jízdě ve svahu naklání. Svislá vzdálenost mezi bodem klopení karoserie a těžištěm je ramenem, na kterém působí odstředivá síla a vytváří otáčivý moment působící na karoserii vozidla. Body klopení (SK) pro nejběžnější typy náprav jsou uvedeny na obrázku 6.



Obrázek 6 - Středky klopení a vratné tuhosti vybraných druhů náprav [6]

Odstředivá síla C je definována jako (R je poloměr zatáčky, W statické zatížení, v rychlost vozidla a g je tíhové zrychlení):

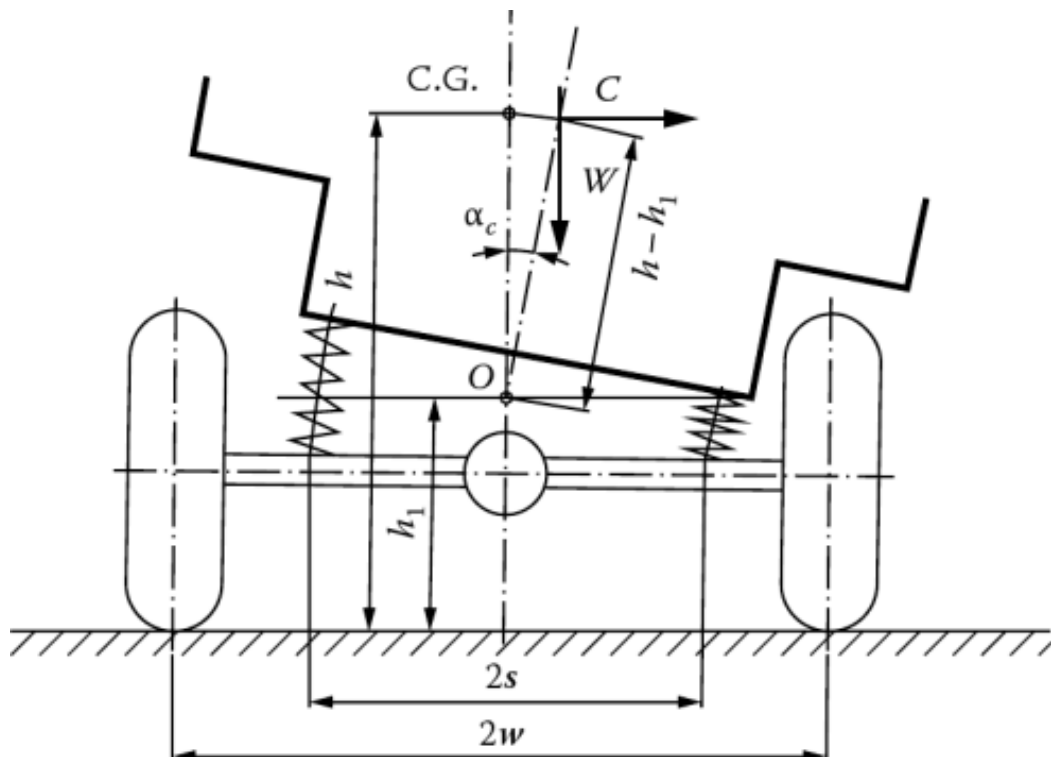
$$C = \frac{W v^2}{g R} \quad (17)$$

Ramenem působení odstředivé síly je průmět vzdálenosti do svislé osy.

2.3.1 Tuhá náprava

U vozidel vybavených tuhou nápravou nedochází při průjezdu obloukem ke změně odklonu kol. Odstředivá síla působí na karoserii a naklání ji o úhel α_c dle následujícího vztahu:

$$\alpha_c = C \frac{(h - h_1)}{\frac{S_F^2}{\varphi_F} - (h - h_1)} \quad (18)$$



Obrázek 7 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (tuhá náprava) [3]

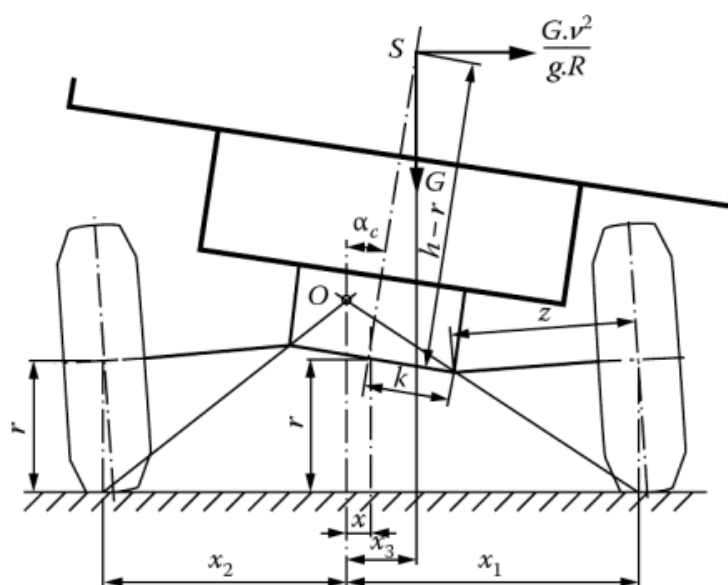
Pro vozidlo jedoucí ve svahu (po vrstevnici) lze odvodit vztah, popisující souvztažnost mezi geometrií nápravy, parametry odpružení, úhlem svahu (α_S) a úhlem, o který se karoserie vozidla naklopí. Tento vztah platí za předpokladu, že těžiště vozidla je umístěno do poloviny rozvoru a poloviny rozchodu kol a zároveň je charakteristika odpružení (φ) stejná pro přední i zadní nápravu. Tyto předpoklady platí pro všechny níže uvedené nápravy.

$$\alpha_c = \frac{(h - h_l) \sin \alpha_S}{\frac{s^2}{\varphi} - (h - h_l) \cos \alpha_S} \quad (19)$$

2.3.2 Kyvadlové polonápravy

Bod klopení karoserie u vozidel s kyvadlovými polonápravami je umístěn výše. Leží v průsečíku dvou přímk, které spojují bod dotyku levého nebo pravého kola a střed kývání náprav (viz obrázek 6).

$$\alpha_c = C \frac{h - \left(\frac{w}{z}\right)r}{\left(\frac{w^2}{\varphi}\right) - \left(h - r + \left(\frac{w}{r}\right)k\right)} \quad (20)$$



Obrázek 8 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (kyvadlová zkrácená náprava) [3]

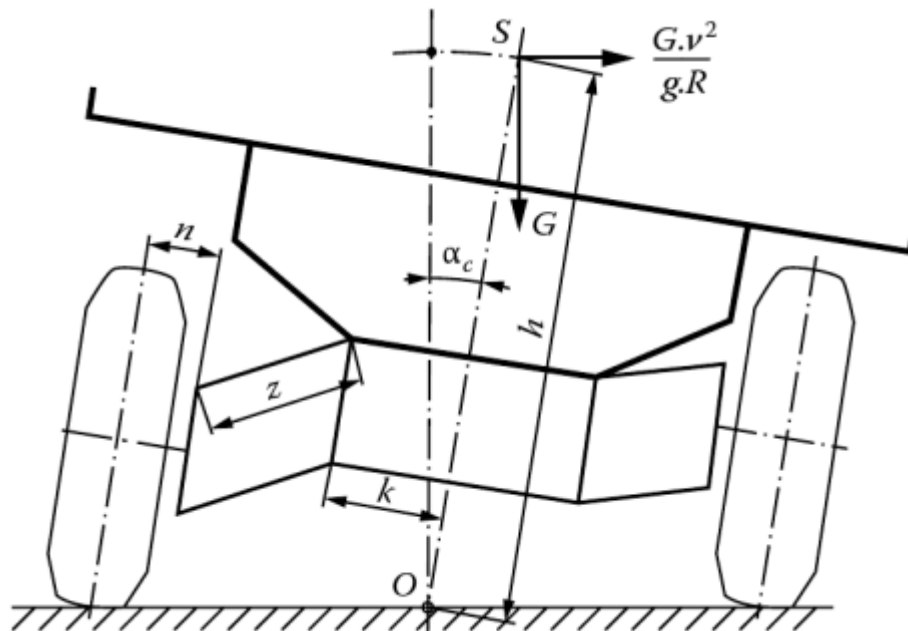
Podobně lze zjistit i naklopení karoserie při travverzování svahem, dle následujícího vztahu, kde α_S je úhel svahu:

$$\alpha_c = \frac{\left(h - \frac{w}{z}r\right) \sin \alpha_S}{\frac{w^2}{\varphi} - \left(h - r + \frac{w}{z}k\right) \cos \alpha_S} \quad (21)$$

2.3.3 Lichoběžníkové a rovnoběžníkové nápravy

Střed klopení karoserie je u podvozků s lichoběžníkovou nápravou blízko k povrchu. Při vychýlení kol a jízdě ve svahu se tento bod pohybuje téměř svisle. Střed klopení karoserie leží v průsečíku přímek, které jsou spojnicemi středu otáčení každého kola a místa dotyku kola s vozovkou.

$$\alpha_c = C \frac{h}{\frac{w^2}{\varphi} - h} \quad (22)$$



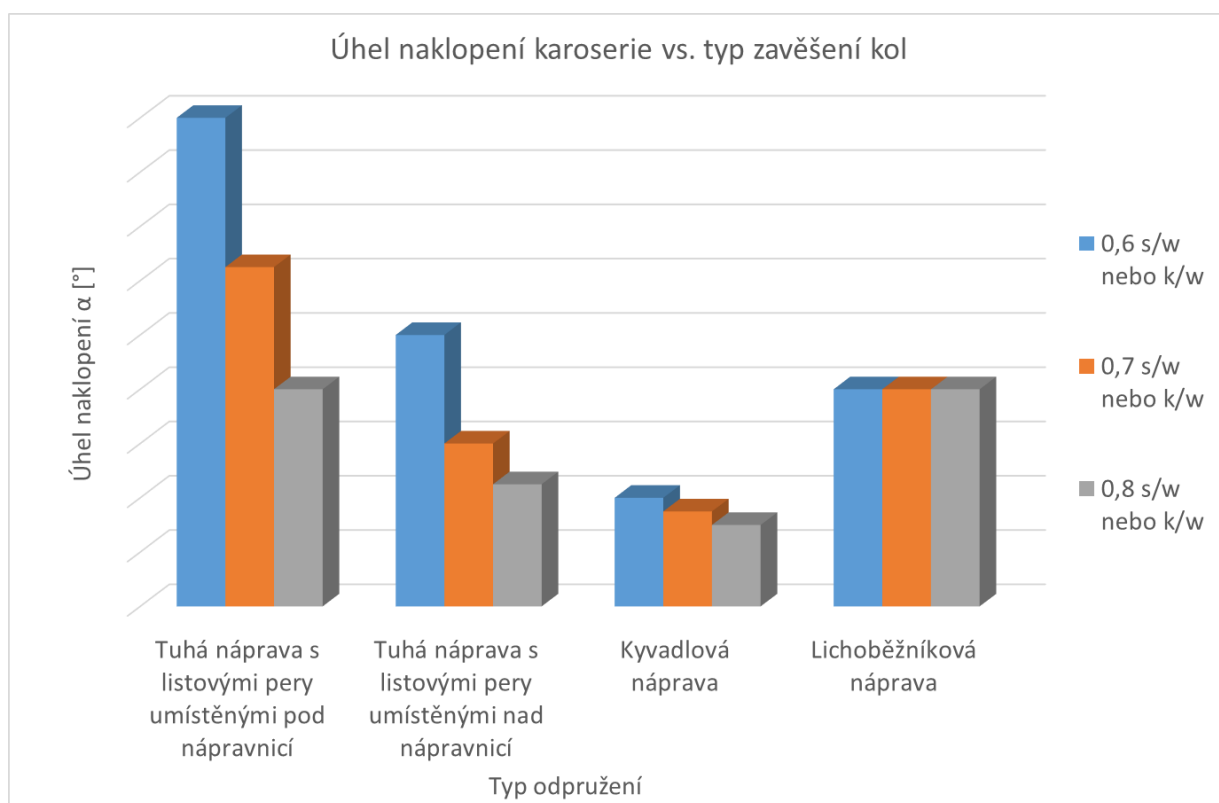
Obrázek 9 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (náprava s dvojími rovnoběžnými rameny) [3]

Vztah mezi úhlem svahu a úhlem naklopení karoserie je obdobný, jako u jiných typů náprav, tedy:

$$\alpha_c = \frac{h \sin \alpha_s}{\frac{w^2}{\varphi} - h \cos \alpha_s} \quad (23)$$

2.3.4 Výsledky

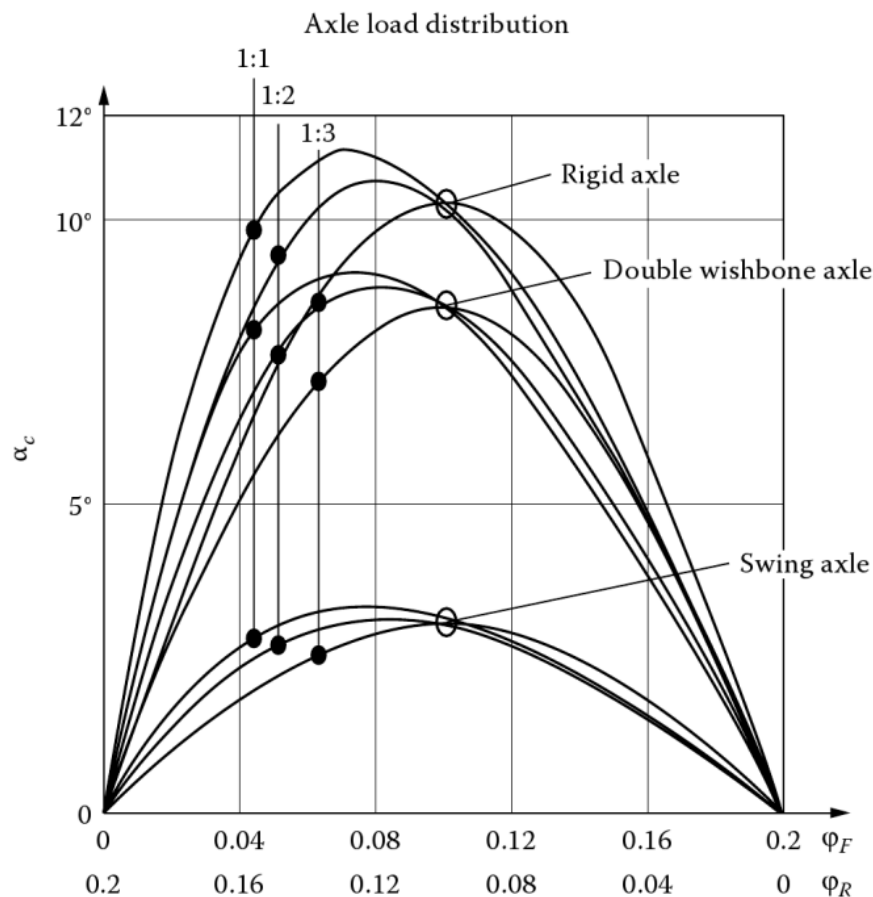
Graf (obrázek 10) porovnává naklápění karoserie u různých systémů odpružení. Nejlepším systémem je ten, který má nejnižší úhel naklopení.



Obrázek 10 - Naklopení karoserie vozidla při průjezdu obloukem [vlastní]

Je zřejmé, že tuhé nápravy mají nízkou odolnost proti naklápění, zejména pak, pokud jsou nápravy umístěny na listových perech a nikoliv pod nimi. Nejvíce odolné proti naklápění karoserie je zavěšení používající výkyvných polonáprav.

Úhel naklopení karoserie u náprav s lichoběžníkovými nebo rovnoběžníkovými rameny je nezávislý na geometrických vztazích nápravy (poměr k/w). Od určitého poměru s/w se však karoserie, umístěná na tuhé nápravě naklání méně než karoserie vozidla s lichoběžníkovými nápravami.



Obrázek 11 - Naklopení karoserie vozidla při průjezdu obloukem – II. (*rigid axle* - tuhá náprava; *swing axle* – kyvadlová náprava; *double wishbone axle* – lichoběžníková náprava) [3]

Obrázek 11 popisuje vliv několika faktorů na míru naklopení karoserie při průjezdu obloukem. V případě, kdy dojde k nerovnoměrnému rozložení zatížení mezi přední a zadní nápravu, ale přední i zadní odpružení mají stejnou charakteristiku (φ), zůstává úhel naklopení stejný, bez ohledu na nepoměr mezi zatížením přední a zadní nápravy. Také lze vyvodit, že maximální absolutní hodnotu specifickou pro každý typ zavěšení, nabývá úhel naklopení karoserie v případě, že je zatížení vozidla rovnoměrné, ale přední odpružení je tužší než zadní.



Obrázek 12 - Naklopení karoserie vozidla při traverzování [vlastní]

Z obrázku 12 vyplývá, že mezi strmostí svahu, který se vozidlo pokouší překonat jízdou po vrstevnici, a úhlem naklopení karoserie je lineární závislost. Dále je možno stanovit, že úhel naklopení karoserie, vozidla s tuhými nápravami, vyvozený jízdou po vrstevnici, je více než dvojnásobný, než u vozidla vybaveného lichoběžníkovou nápravou, a více než čtyřnásobný v porovnání s vozidlem osazeným kyvadlovou nápravou.

Kyvadlové polonápravy vynikají nejlepší celkovou odolností vůči klopení, následovány nápravami s dvojitými rameny. Tuhé nápravy jsou velmi náchylné na naklápění, především při montáži nápravy nad listové pero nebo při umístění odpružení do blízkosti středu vozidla. Také geometrické poměry mezi rozvorem a vzdáleností pružných elementů, nebo délkou polonápravy, hrají zásadní roli, jak vyplývá z obrázku 10. Jedině mezi úhlem naklopení a umístěním odpružení u lichoběžníkové nápravy není žádná závislost.

Následující pravidla jsou platná pro všechny systémy zavěšení a odpružení:

Odolnost vůči naklápění karoserie se, zvýšením tuhosti odpružení, zvýší. Tímto zásahem však dojde ke zhoršení jízdního komfortu a ochrany cestujících, nákladu a konstrukce vozidla před vibracemi a rázy.

Odolnost vůči naklápění karoserie se, snížením výšky těžiště, zvýší.

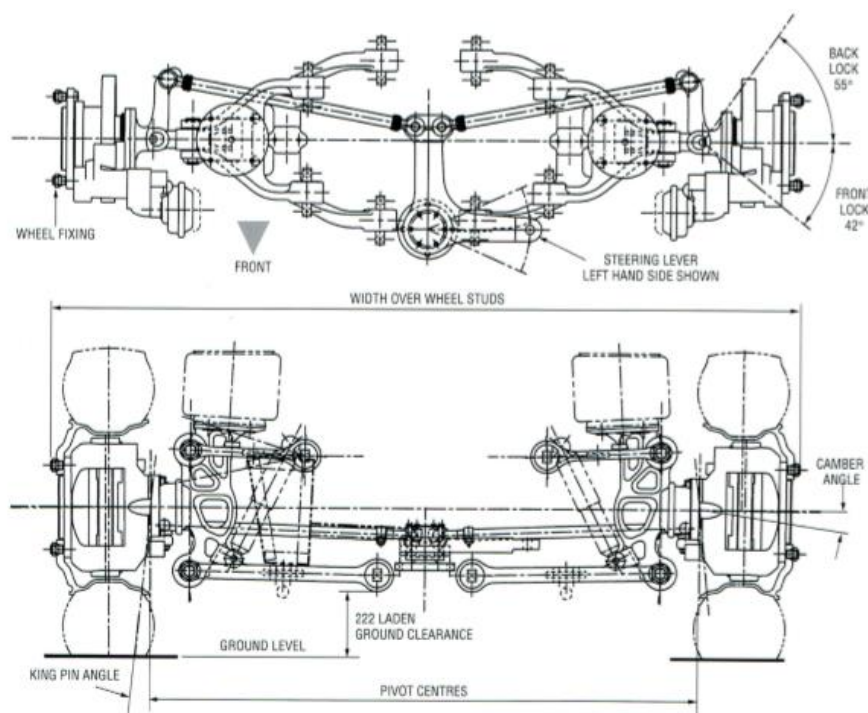
3 PŘEHLED DOSTUPNÝCH NÁPRAV S NEZÁVISLÝM ZAVĚŠENÍM KOL O NOSNOSTI VYŠŠÍ NEŽ 7 TUN

3.1 Dana ^[9]

Americká společnost založená 1. dubna 1904, Clarencem W. Spicerem, vynálezcem varianty křížového kloubu, kterou si poté nechal patentovat. V roce 1914 kupuje majoritní podíl Attorney Ch. Dana. Pod vedením A. Ch. Dana zůstává i během velké krize v 30. letech firma ziskovou. V roce 1946 dochází k přejmenování firmy na Dana Corporation. Během let se Dana Corp. stává jedním z vůdců trhu na poli náprav.

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlá výška [mm]
DANA NDIFS 66	6600	565	222

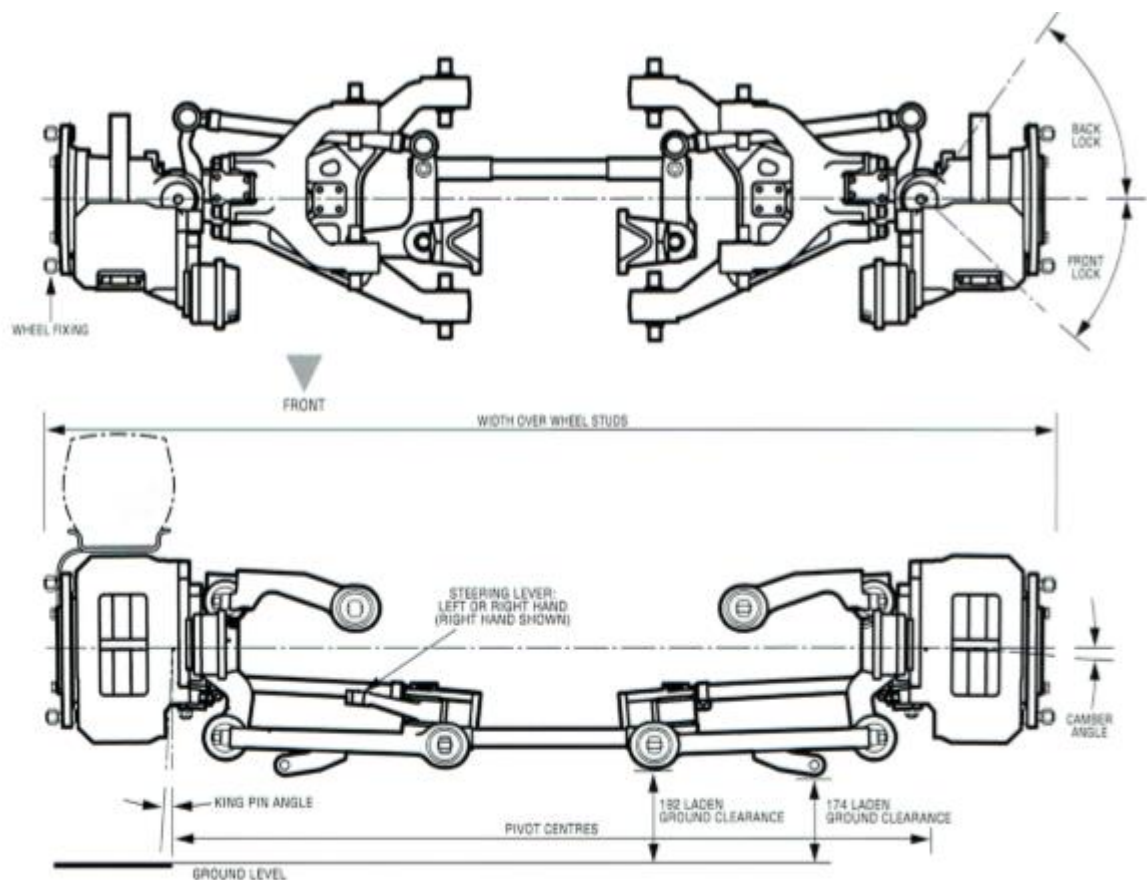
Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny. Odpružení a tlumení je zajištěno pomocí kombinace vzduchových vaků a tlumičů odpružení. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Brzdová soustava může být doplněna o funkci ABS. Řízení nápravy je zajištěno spojovacími tyčemi, které jsou ovládány hlavní pákou řízení, která je uložena v pomocném čepu řízení. Maximální úhel natočení kol v rejdu 42° pro přední doraz a 55° pro zadní doraz. Maximální brzdný moment přípustný pro danou nápravu činí 26 500Nm.



Obrázek 13 - DANA NDIFS 66 – nezávislé zavěšení předních kol [7]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlná výška [mm]
DANA NDIFS 84	8 500	650	174

Řídicí sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny. Tlumení a odpružení pomocí kombinace vzduchových vaků a tlumičů odpružení. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Brzdová soustava může být doplněna o funkci ABS. Pravé kolo je ovládáno přímo přes spojovací řídicí tyč hlavní pákou řízení, levé kolo je ovládáno pomocí spojovacích řídicích tyčí. Maximální brzdný moment přípustný pro danou nápravu činí 26 500Nm.



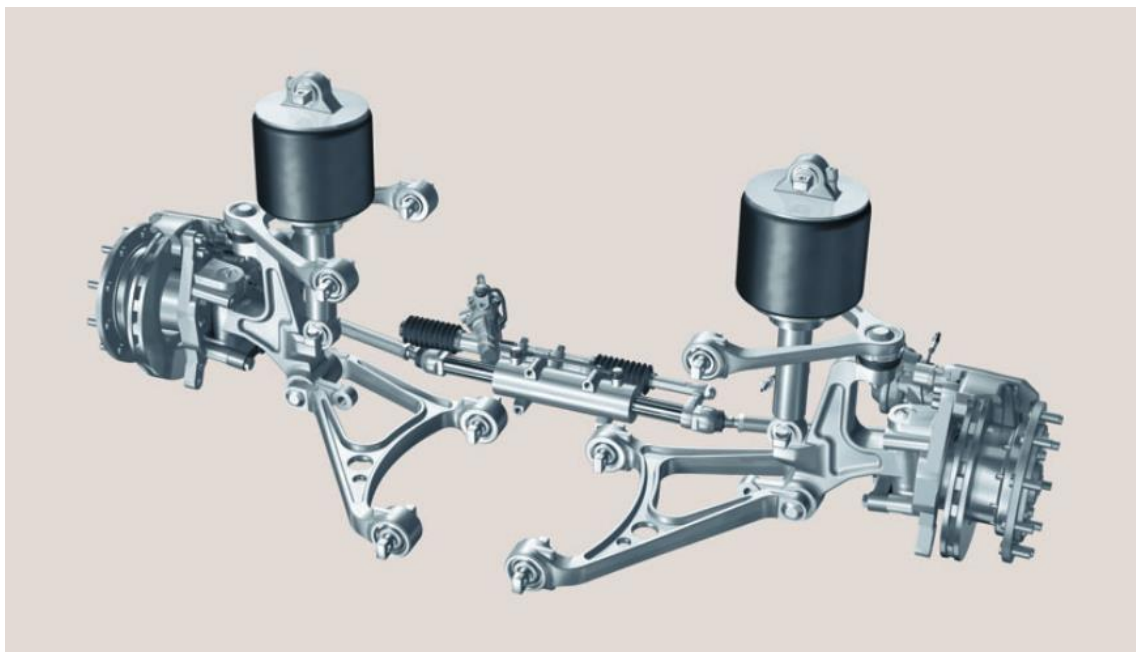
Obrázek 14 - DANA NDIFS 84 – nezávislé zavěšení předních kol [8]

3.2 ZF [10]

Německá firma založená 20. srpna 1915 Ferdinandem von Zeppelinem, za účelem výroby přesných převodů pro vzducholodě. Na základě poválečné Versaillské smlouvy se v roce 1919 začíná zabývat výrobou součástek pro automobilový průmysl. V roce 1921 dodává ZF na trh převodovku s předvličem (Soden – převodovka), která předběhla dobu, ale bohužel byla nákladná. Během 2. světové války ZF dodává 91% převodovek do německých tanků. Roku 1953 firma vyvinula první synchronizovanou převodovku pro užitková vozidla. V roce 2000 přichází s nezávislým zavěšením předních kol RL 75 E.

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlá výška [mm]	výkyv [mm]
ZF RL 80 ET	8 000	590	230	100/-150

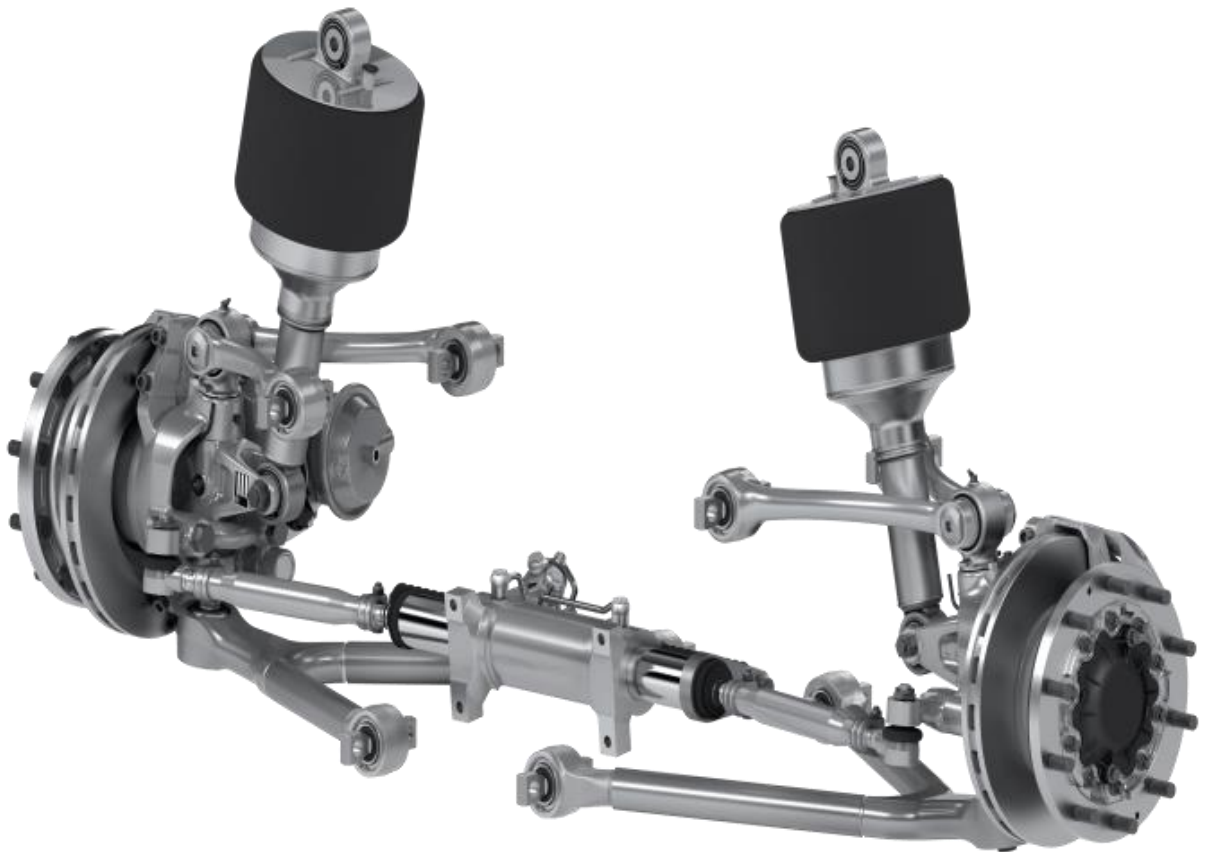
Řídicí sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Řízení kol pomocí hřebenové převodky řízení. Zajímavostí je technické řešení odpružení, které se sestává z propojení vzduchových vaků a tlumiče v jednom modulu. Výrobce počítá s montáží nápravy na žebřinový rám o šířce 900 mm. Maximální úhel natočení kol v rejdu činí 36° nebo 51° v závislosti na smyslu zatáčení kol. Doporučené pneumatiky 385/85R22,5 nebo 315/80R22,5.



Obrázek 15 - ZF RL 80 ET – nezávislé zavěšení předních kol [10]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlá výška [mm]	výkyv [mm]
ZF ITS 80 F	8 000	550	260	100/-170

Vývojový nástupce nápravy RL 80 ET. Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Řízení je zajištěno hřebenovou převodkou řízení. Stejně jako u předchůdce je zde užito technické řešení odpružení, které se sestává z propojení vzduchových vaků a tlumiče do jednoho funkčního celku. Náprava je určena pro montáž na žebřinový rám o šířce 900 mm. Maximální úhel natočení kol v rejdu činí 40° nebo 50° v závislosti na smyslu zatáčení kol. Výrobce doporučované pneumatiky mají rozměr 385/85R22,5 a 315/80R22,5.



Obrázek 16 - ZF ITS 80 F – nezávislé zavěšení předních kol [10]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	výkyv [mm]
ZF RL 75 E	7 500	496	100/-100

Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny RL 75 E, používána především ve vozidlech kategorie M2 a M3. Odpružení a tlumení je zajištěno pomocí vzduchových vaků a hydraulických tlumičů, uchycených k těhlici. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Řízení nápravy je zajištěno spojovacími řídicími tyčemi, které jsou ovládány hlavní pákou řízení, která je uložena v pomocném čepu řízení. Maximální úhel natočení kol v rejdu 60°/46° (zadní doraz/přední doraz). Doporučená velikost kol pneumatik 295/80R22.5 na discích 22,5" x 8,25".



Obrázek 17 - ZF RL 75 E – nezávislé zavěšení předních kol [10]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	výkyv [mm]
ZF RL 82 EC	8 200	482	90/-100

Řídící sunutá náprava (maximální úhel natočení kol v rejdu 56°/46° (zadní doraz/přední doraz)) s lichoběžníkovými rameny. Odpružení je zajištěno pomocí vzduchových vaků. Tlumení vykonávají teleskopické tlumiče, uchycené ke spodním ramenům. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Řízení nápravy je zajištěno spojovacími řídicími tyčemi, které jsou ovládány hlavní pákou řízení. Hlavní páka řízení je uložena v pomocném čepu řízení. Pro nápravu jsou doporučeny disky kol 22.5" x 7.5" s pneumatikami 275/70 R22.5.



Obrázek 18 - ZF RL 82 EC – nezávislé zavěšení předních kol [10]

3.3 AxleTech ^[11]

Firma AxleTech vznikla oddělením divize, zabývající se vývojem náprav, od firmy RockWell International v roce 2002. Po 6 letech se stala firma AxleTech International součástí korporace General Dynamics Corp., která stojí např. za výrobou kolového obrněného transportéru Stryker.

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlá výška [mm]	výkyv [mm]
AxleTech ISAS 4000	9 000	1 000	392	350

Řídící hnací náprava (maximální úhel natočení kol 35°) s lichoběžníkovými rameny. Výrobce nabízí širokou škálu možností odpružení nápravy, od vinutých pružin přes vzduchové vaky až po hydraulické odpružení. Také tlumení poskytuje možnost výběru mezi hydraulickým tlumičem odpružení nebo vzduchovými tlumiči. Skříň rozvodovky je upevněna v rámu, k němuž jsou přichycena jednotlivá ramena. V nábojích kol se nachází planetový převod, který umožňuje měnit převodový poměr celé nápravy v rozsahu 3,9 – 20:1. Náprava je vyrábí ve dvou šířkách (vzdálenost mezi dosedacími plochami nábojů): 2 280 mm, používající 20" disky kol a bubnové brzdy, nebo 2 383 mm, vybavené 22,5" disky kol a kotoučovými brzdami, jejichž brzdiče jsou ovládány membránovými válci. Vybavena může být také vzduchově ovládanou uzávěrkou diferenciálu, samosvorným diferenciálem nebo standardním diferenciálem.



Obrázek 19 - AxleTech ISAS 4000 – nezávislé zavěšení kol [12]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]
AxleTech ISAS 4500	10 700	1 100

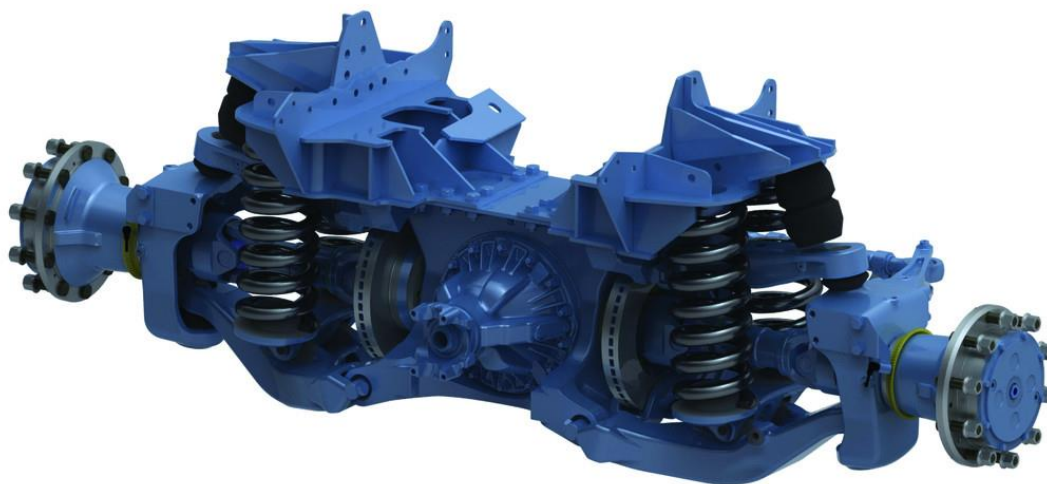
Mezistupněm mezi nápravami ISAS 4000 a ISAS 5000 je náprava ISAS 4500. Řídící hnací náprava s lichoběžníkovými rameny. Odpružení je zajištěno pomocí vinutých pružin. Funkci tlumení vykonávají hydraulické tlumiče pérování. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Skříň rozvodovky je upevněna v rámu, k němuž jsou přichycena jednotlivá ramena. V nábojích kol se nachází planetový převod, který umožňuje měnit převodový poměr celé nápravy v rozsahu 3,9 – 28:1.



Obrázek 20 - AxleTech ISAS 4500 – nezávislé zavěšení kol [13]

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	světlá výška [mm]	výkyv [mm]
AxleTech ISAS 5000	13 200	1 200	365/496	400/330

Náprava vyvinutá ve spolupráci výrobců AxleTech a Hendrickson je v současné době používána např. ve vozidle MRAP Navistar MaxxPro® Dash DXM™. Řídící hnací náprava (maximální úhel natočení kol 35°) s lichoběžníkovými rameny. Skříň rozvodovky je upevněna v rámu, k němuž jsou přichycena jednotlivá ramena. Diferenciál nabízí výrobce standardní, samosvorný nebo se vzduchem ovládaný uzávěrkou diferenciálu. Náprava je dodávána ve dvou variantách, které se liší umístěním brzd. Varianta s brzdami, umístěnými u skříně rozvodovky, poskytuje v porovnání s konvenčním řešením výhodu v podobě nižších neodpružených hmot. Odpružení zajišťují vinuté pružiny, vzduchové vaky nebo hydraulické pružící jednotky. Funkci tlumení vykonávají hydraulické nebo pneumatické tlumiče. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdiče kotoučových brzd jsou ovládaný membránovými válci. Na přání může být také osazena bubnovými brzdami. V nábojích kol se nachází planetový převod, který určuje výsledný převodový poměr nápravy v rozmezí 3,9/4,8 – 28:1.



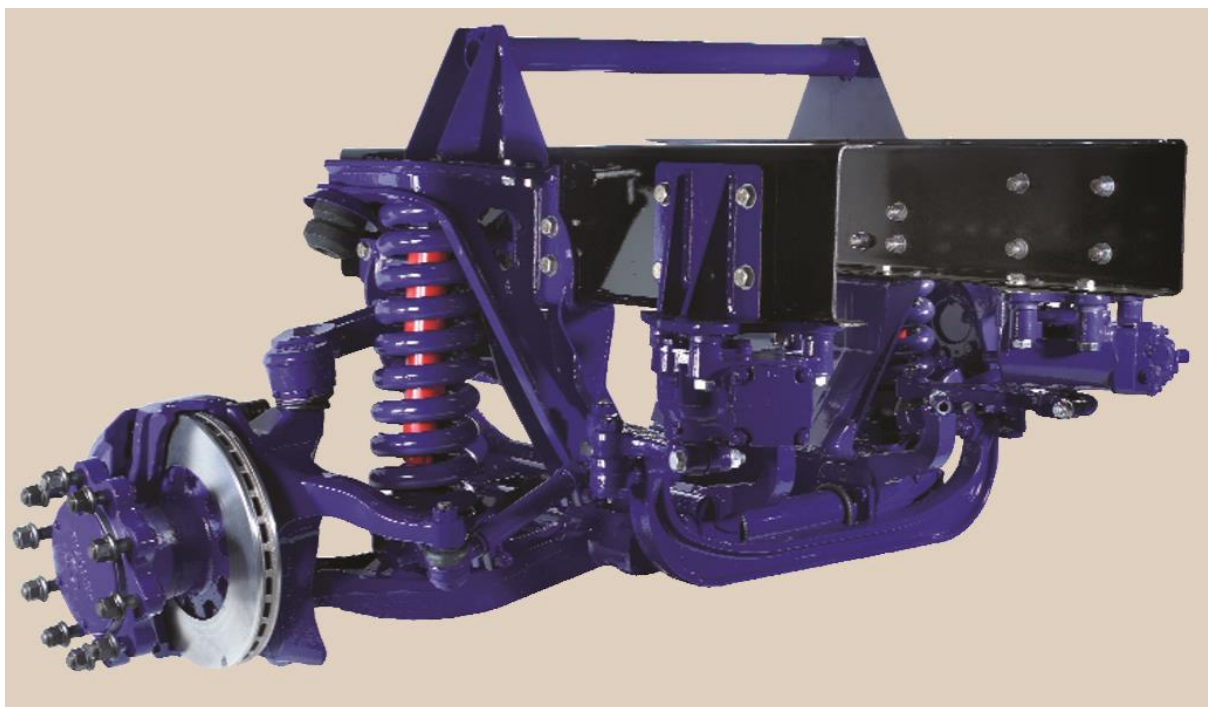
Obrázek 21 - AxleTech ISAS 5000 – nezávislé zavěšení kol [14]

3.4 Timoney ^[15]

Irská firma, zabývající se výhradně vývojem nezávislého zavěšení pro armádní i komerční účely. Jako první, v roce 1970, vyvinula nezávislé zavěšení kol pro hasičská vozidla P 23 8x8 ARFF, sloužící na amerických letištích. Na to firma navázala rozšířením nabídky o nezávislé zavěšení předních kol Strider v roce 2003. V roce 2007 uvedla na trh modulární nezávislé zavěšení kol 6T, které umožňuje konfigurace obrněných vozidel v rozmezí 4x4 až 8x8.

	nosnost [kg]	výkyv [mm]
Timoney Strider	10 900	254

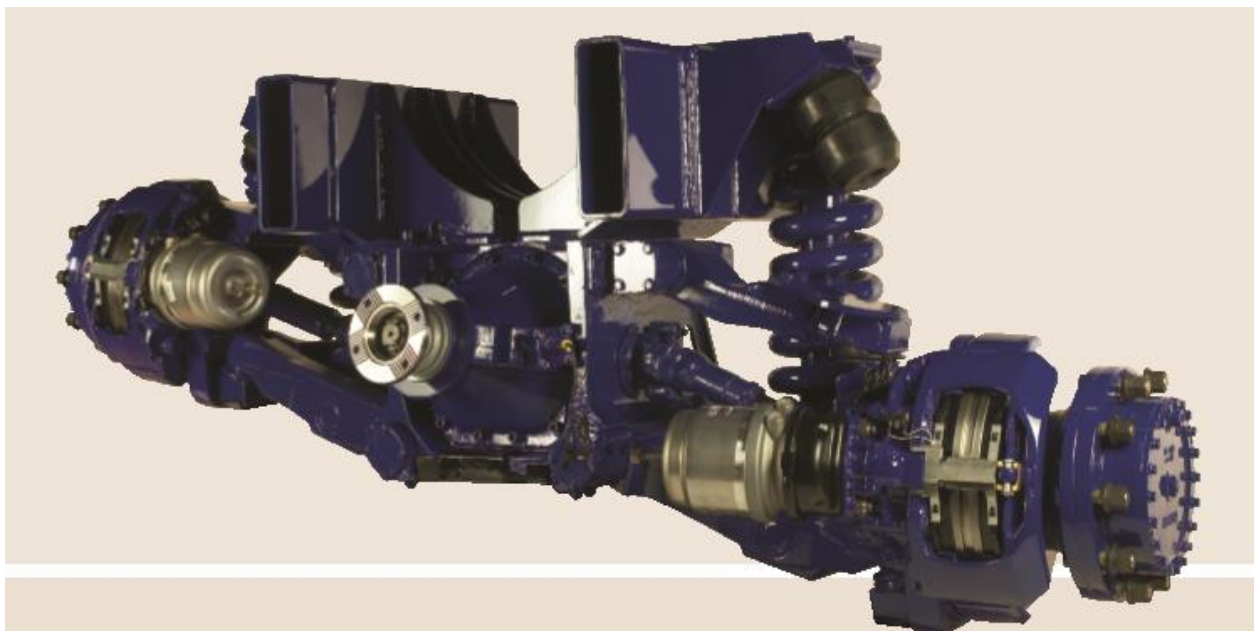
Řídící sunutá náprava (natočení kol v rejdu až 45°) s lichoběžníkovými rameny. Odpružení a tlumení je zajištěno kombinací vinutých pružin hydraulických tlumičů pérování. Náprava je osazena 17" kotoučovými brzdami, s možností osazení ABS, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Výrobce pro tuto nápravu doporučuje tyto rozměry pneumatik: 385/65 R22.5, 425/65 R22.5 nebo 445/65 R22.5.



Obrázek 22 - Timoney Strider IFS – nezávislé zavěšení předních kol [15]

	nosnost [kg]	výkyv [mm]
Timoney 87150	13 125	400

Řídící hnací náprava (max. úhel natočení kol v rejdu 38°) s lichoběžníkovými rameny. Odpružení a tlumení je zajištěno kombinací vinutých pružin a teleskopických tlumičů pérování. Náprava je osazena kotoučovými brzdami o průměru 17". Brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány kombinovanými pružino-membránovými válci, které v sobě spojují membránovou část pro provozní brzdy a pružinovou část pro parkovací a pomocný okruh brzd. Výrobce nabízí možnost osadit nápravu systémem ABS. Skříň rozvodovky je upevněna v rámu, k němuž jsou přichycena jednotlivá ramena. V nábojích kol se nachází planetový převod.



Obrázek 23 - Timoney 87150 OFF Highway – nezávislé zavěšení kol [15]

	nosnost [kg]	výkyv [mm]
Timoney OHCT I.S.	15 000	203/-203

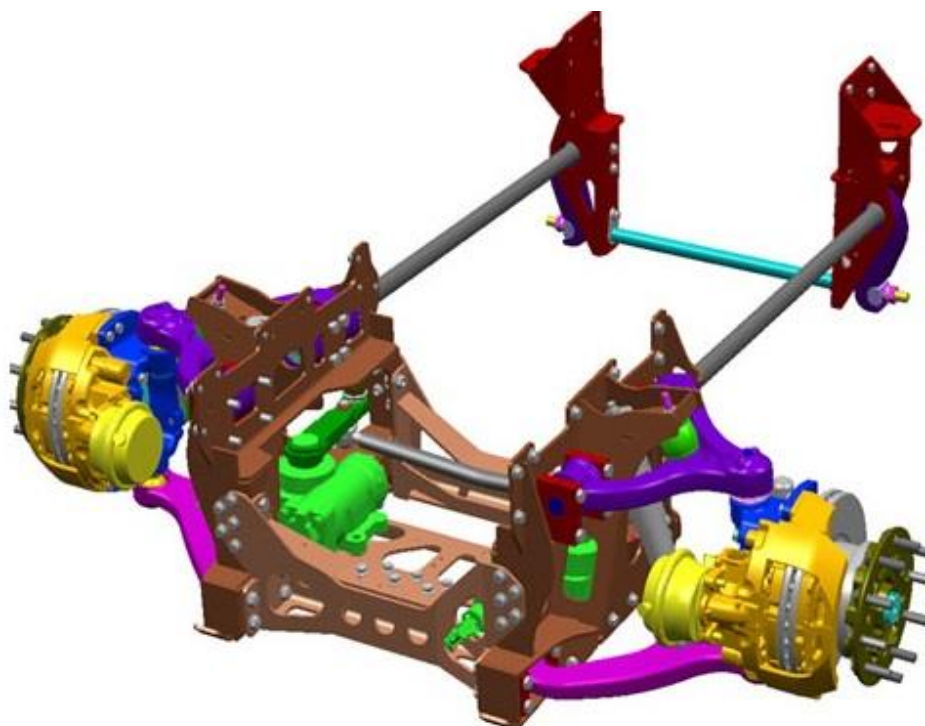
Řídící hnací náprava s lichoběžníkovými rameny. Odpružení a tlumení je zajištěno kombinací vinutých pružin a teleskopických tlumičů pérování. Náprava je osazena kotoučovými brzdami o průměru 17". Brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány kombinovanými pružino-membránovými válci, které v sobě spojují membránovou část pro provozní brzdy a pružinovou část pro parkovací a pomocný okruh brzd.

3.5 Oshkosh [16], [17], [18]

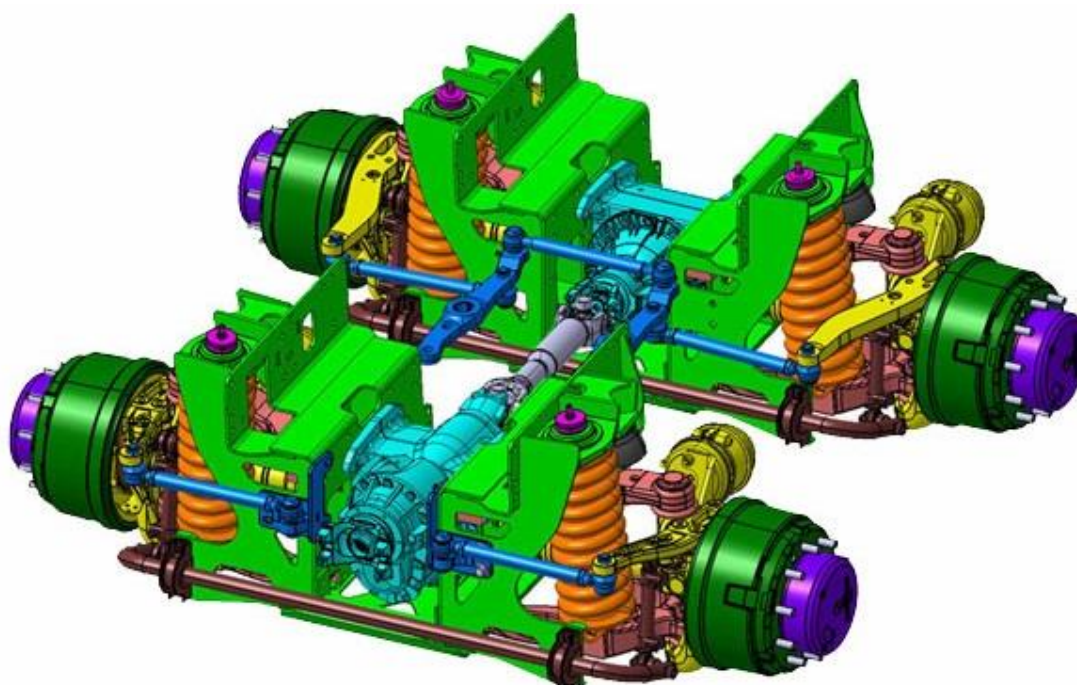
William Besserdich a Bernhard Moslig 1. května 1917 zakládají firmu Wisconsin Duplex Auto Company, která spravuje patenty vydané roku 1916 (přenos točivého momentu na přední nápravu a vylepšení ovladatelnosti předních kol). Konstruují také první užitkové vozidlo s pohonem všech kol, dnes známé jako Stará Betsy. Při stěhování v roce 1918 mění společnost název na Oshkosh Motor Truck Manufacturing (později Company). První hasičské vozidlo pro provoz na letišti (ARFF) dodává firma pobřežní strážci Spojených států amerických roku 1953. V roce 1981 získává Oshkosh zakázku na výrobu 16 000 vozidel HEMTT pro americkou armádu. Nezávislé zavěšení kol TAK-4, které je používáno firmou dodnes, bylo představeno v roce 2001.

Firma Oshkosh nemá ucelenou řadu náprav jako jiní výrobci, ale přizpůsobuje své nápravy konkrétní aplikaci. Z tohoto důvodu není možné dohledat mnoho přesných dat a zařadit je do příslušné tabulky (viz. Příloha). Systém nezávislého odpružení TAK-4 zastřešuje všechny lichoběžníkové nápravy vyvinuté společností Oshkosh. Výrobce nabízí jak hydraulicky, tak i vzduchem ovládané brzdiče. Samotné brzdy mohou být bubnové (vybavené klínovými rozvírači nebo S-klíči) nebo kotoučové. Výrobce nabízí možnost vybavit nápravu ABS a ATC (automatic traction control – kontrola trakce). Odpružení zajišťují nejčastěji vinuté pružiny ve spolupráci s hydraulickými tlumiči. Nápravu lze také osadit vzduchovými pružinami, nebo hydropneumatickým odpružením. S nápravami TAK-4 se můžeme setkat u vojenských speciálů firmy Oshkosh, hasičských vozidel společnosti Pierce i Oshkosh, nebo v obrněném vozidle General Dynamics Cougar MRAP.

	nosnost [kg]	světlá výška [mm]	výkyv [mm]
Oshkosh TAK-4 Medium	9 072	396	406
Oshkosh TAK-4 Heavy	12 020	421	406
Oshkosh TAK-4 (Striker 4x4)	14 061	nezjištěno	406



Obrázek 24 - Oshkosh TAK-4 nezávislé zavěšení předních pro hasičské vozy [18]



Obrázek 25 - Oshkosh TAK-4 nezávislé zavěšení zadních kol pro hasičské vozy [18]

3.6 Voith ^[19]

V roce 1825 převzal Johann M. Voith vedení dílny na výrobu a opravy součástí pro technologii mlýnů. V roce 1922 zahajuje firma výrobu převodovek. 1934 dodává firma převodovky pro diesel-hydraulický železniční vůz. Vývoj a výroba pohonných součástí pro autobusy provází firmu po 2. polovinu 20. století. V současné době dodává firma širokou škálu komponentů mnoha světovým výrobcům autobusů a lehkých užitkových vozidel (např. Isuzu a Otakar).

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]	výkyv [mm]
Voith TJ81-225	8 100	478	90/-90

Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny, určená pro vozidla o šířce 2 400 – 2 550 mm. Odpružení je zajištěno pomocí vzduchových vaků. Tlumení vykonávají teleskopické tlumiče, uchycené ke spodním ramenům. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Řízení nápravy je zajištěno spojovacími řídicími tyčemi, které jsou ovládány hlavní pákou řízení, která je uložena v pomocném čepu řízení. Jedno z kol je ovládáno přímo přes spojovací řídicí tyč hlavní pákou řízení, levé kolo je ovládáno pomocí spojovacích řídicích tyčí. Maximální úhel natočení kol v rejdu činí 60°. Náprava je určena pro použití s 22,5" disky.



Obrázek 26 - Voith IFS TJ81-225 – nezávislé zavěšení předních kol [19]

3.7 Hendrickson [20]

Vynálezce a obchodník Magnus Hendrickson zakládá roku 1913 firmu The Hendrickson Motor Truck Company, zabývající se stavbou nákladních vozidel. Roku 1926 představuje první nákladní tandemovou nápravu s nosníkem, spojujícím za sebou umístěná kola vozidla. V roce 1978 kupuje firma The Boler Company firmu Hendrickson. Od roku 1985 se firma soustředí pouze na systémy zavěšení náprav a odpružení pro přívěsy, návěsy, obrněná vozidla a těžká užitková vozidla.

	nosnost [kg]	hmotnost [kg]
Hendrickson IFS	6 350	798

Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny. Odpružení a tlumení pomocí vzduchových měchů, které jsou uchyceny k horním ramenům. Náprava je osazena bubnovými brzdami, brzdíče bubnových brzd jsou ovládány membránovými válci.



Obrázek 27 - Hendrickson IFS – nezávislé zavěšení předních kol [20]

	nosnost [kg]
Hendrickson ISAS	13 200

Náprava ISAS je částečně shodná s nápravou AxleTech 5000. Řídící hnací náprava s lichoběžníkovými rameny. Odpružení je zajištěno pomocí dvojice vinutých pružin. Tlumení vykonávají teleskopické tlumiče, uchycené ke spodním ramenům. Výrobce také nabízí možnost nápravu osadit hydro-pneumatickým systémem odpružení HHP. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdové kotouče jsou umístěny v blízkosti rozvodovky, což poskytuje výhodu v podobě nižších neodpružených hmot v porovnání s běžným řešením.



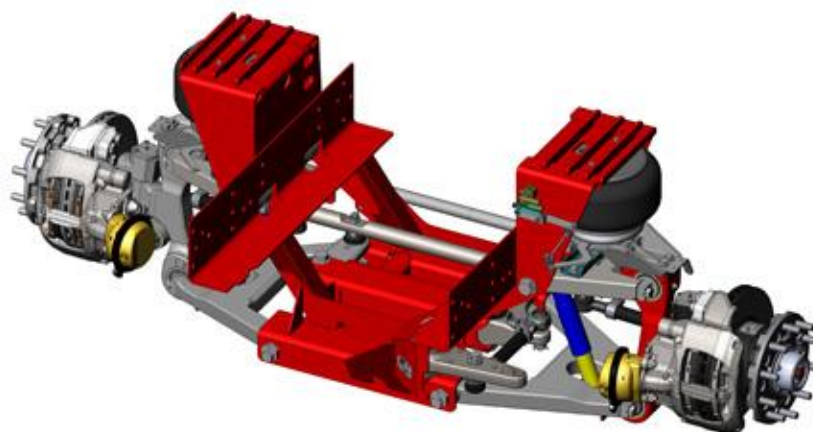
Obrázek 28 - Hendrickson ISAS – nezávislé zavěšení kol [20]

3.8 Reyco Granning ^[21]

Spojením firmy Reyco, zabývající se bubnovými brzdami a mechanickým i pneumatickým odpružením, s firmou Granning Air Suspension, která dodává na trh zvedací nápravy pro přípojná vozidla a nezávislé zavěšení předních kol IFS pro karavany, vznikla v roce 2011 Firma Reyco Granning. Tato firma dodává široké spektrum náprav a systémů odpružení např. pro autobusy, sanitní vozy, hasičské vozy a přípojná vozidla.

	nosnost [kg]	světlá výška [mm]
Reyco Granning IFS1700 (S3)	7 711	166

Řídící sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny, určená především pro použití v obytných automobilech. Náprava je určena pro montáž na žebřinový rám o šířce 870 mm. Odpružení je zajištěno pomocí vzduchových vaků. Tlumení vykonávají teleskopické tlumiče, uchycené ke spodním ramenům. Náprava je osazena 17" kotoučovými brzdami ADB22X Bendix, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. V případě vybavení nápravy převodkou řízení TRW TAS85 (varianta IFS1700S3), dosahuje maximální úhel natočení kol v rejdu až 58°. V opačném případě (varianta IFS1700) je hodnota rovna 55°. Maximální velikost pneumatik, které jsou povolené výrobcem nápravy, činí 385/165R22,5.



Obrázek 29 - Reyco Granning IFS1700(S3) – nezávislé zavěšení předních kol [21]

	nosnost [kg]	světlná výška [mm]
Reyco Granning IFS1800S2 (S3)	8 164	166
Reyco Granning IFS2000S2 (S3)	9 071	166

Nápravy **IFS 1800S2** (popř. varianta **IFS1800S3**) a **IFS2000S2** (popř. varianta **IFS2000S3**) se od výše popisované nápravy **IFS1700** (popř. varianta **IFS1700S3**) liší jen maximálním přípustným zatížením a pravděpodobně i hmotností samotné nápravy, tento údaj však výrobce nápravy neposkytuje.

	nosnost [kg]	světlná výška [mm]
Reyco Granning IFS20K	9 071	229

Řídicí sunutá náprava s lichoběžníkovými rameny, určená pro použití v hasičských (např. výrobce Spartan)^[1] a obytných automobilech. Náprava je určena pro montáž na žebřinový rám o šířce 889 mm. Odpružení je zajištěno pomocí vzduchových vaků. Tlumení vykonávají teleskopické tlumiče, uchycené ke spodním ramenům. Náprava je osazena 17" kotoučovými brzdami 8DB 22X Bendix, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. U této nápravy dosahuje maximální úhel natočení kol v rejdu hodnoty 55°, náprava je vybavena dvojitou převodkou řízení TRW TAS85. Maximální velikost pneumatik, které jsou povolené výrobcem nápravy, činí 385/165R22,5.



Obrázek 30 - Reyco Granning IFS20K – nezávislé zavěšení předních kol [21]

	nosnost [kg]	světla výška [mm]
Reyco Granning IFS24K	10 886	229

Jedinou odlišností nápravy IFS24K od nápravy IFS20K je vyšší přípustné zatížení (10886 kg vs. 9071 kg).



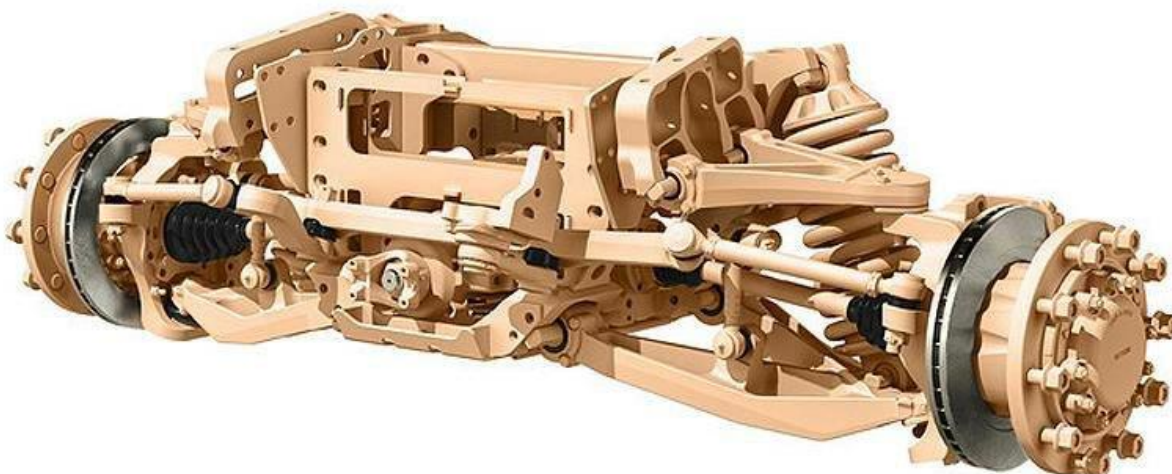
Obrázek 31 - Reyco Granning IFS24K – nezávislé zavěšení předních kol [21]

3.9 Meritor ^[22]

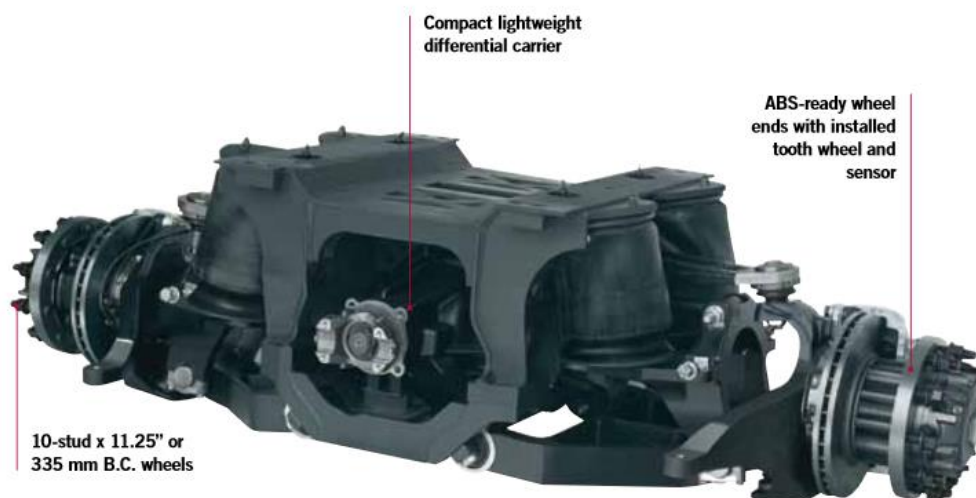
Velká část historie firmy Meritor (založena r. 1997) je společná s firmou AxleTech, která také vznikla oddělením od RockWell International. V roce 2002 došlo ke splnutí firem Arvin a Meritor do jediné firmy ArvinMeritor. V roce 2007 vyhrává firma zakázku na dodávku náprav pro novou generaci obrněných vozidel MRAP pro americkou armádu. V roce 2010 uvádí společnost řadu náprav ProTec, určenou především pro použití v obrněných vozidlech.

	nosnost [kg]	výkyv [mm]
Meritor ProTec Series 40	10 432	457

Řídící hnací náprava s dvojicí trojúhelníkový ramen. Náprava je vyráběna ve dvou variantách. První varianta využívá mechanického odpružení, které je zajištěno vinutými pružinami. Tlumení u této varianty vykonávají teleskopické tlumiče. Druhá varianta je odpružena vzduchovými vaky. Náprava je osazena kotoučovými brzdami, brzdíče kotoučových brzd jsou ovládány membránovými válci. Náprava může být osazena funkcí ABS. Řízení nápravy je zajištěno spojovacími řídicími tyčemi, které jsou ovládány hlavní pákou řízení, uloženou v pomocném čepu řízení. Jedno z kol je ovládáno přímo přes spojovací řídicí tyč hlavní pákou řízení, druhé kolo je ovládáno pomocí dvojice spojovacích řídicích tyčí. Maximální úhel natočení kol v rejdu je 35°.



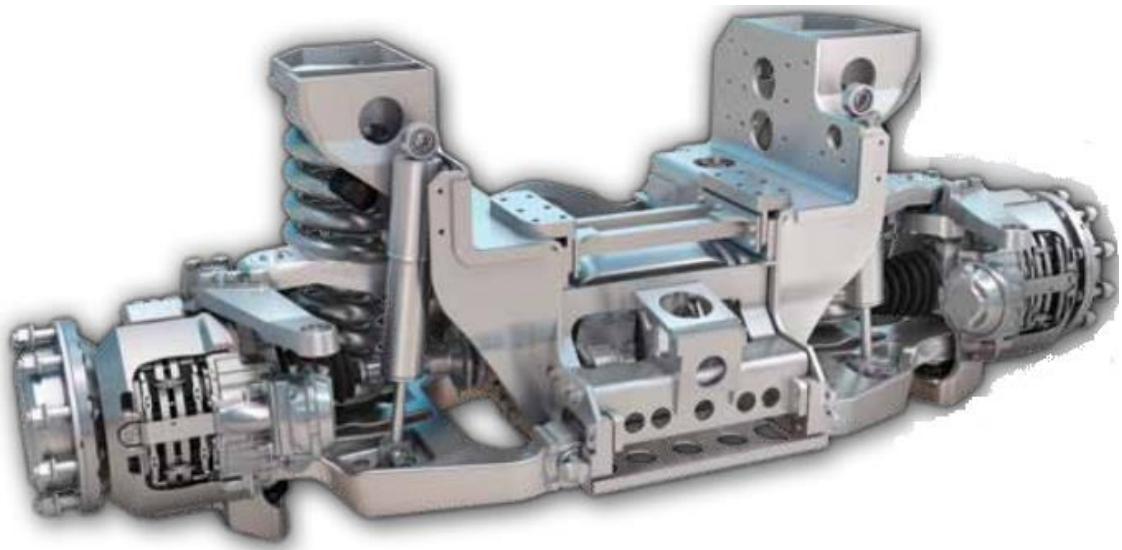
Obrázek 32 - Meritor ProTec Series 40 (mechanicky odpružená varianta) – nezávislé zavěšení předních kol [23]



Obrázek 33 - Meritor ProTec Series 40 (varianta vzduchem odpružená) – nezávislé zavěšení předních kol [22]

	nosnost [kg]	výkyv [mm]
Meritor ProTec Series 50	13 154	457

Řídící hnací náprava s lichoběžníkovými rameny. Náprava využívá mechanického odpružení, které je zajištěno vinutými pružinami. Tlumení u této nápravy vykonávají teleskopické tlumiče. Náprava může být osazena kotoučovými nebo bubnovými brzdami, brzdíče jsou ovládány membránovými válci, případně tlakem brzdové kapaliny. Výrobce nabízí možnost vybavit nápravu ABS. V nábojích kol se nachází planetová redukce s převodovým poměrem 3,64:1. Maximální úhel natočení kol v rejdu je u této nápravy výrobcem stanoven na 38°.

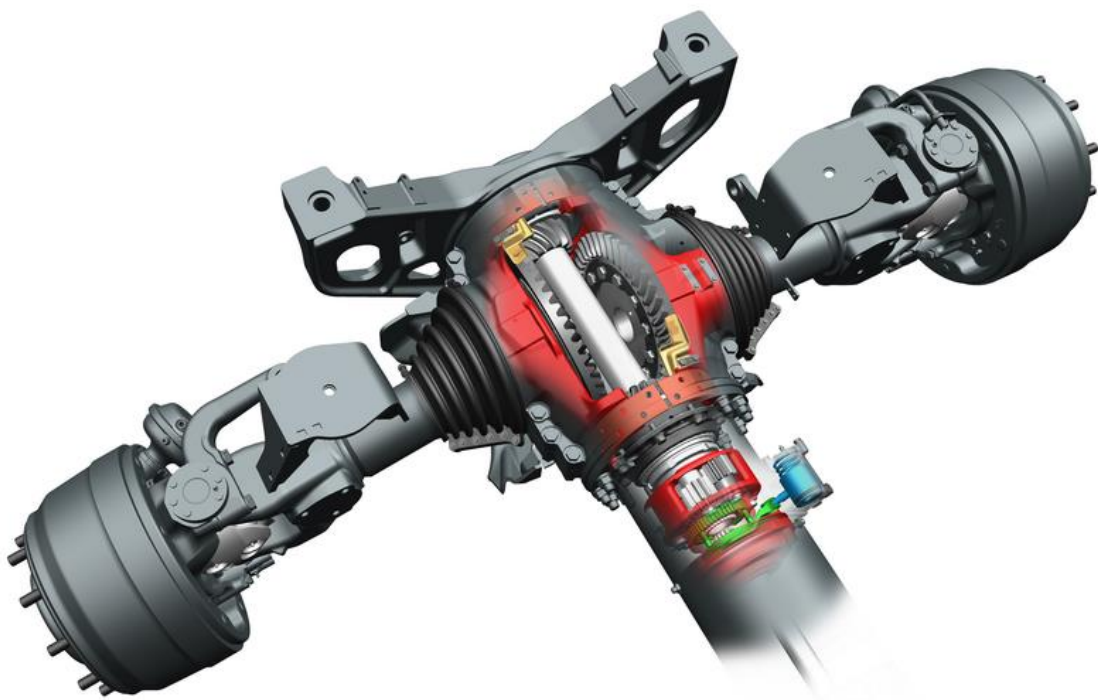


Obrázek 34 - Meritor ProTec Series 50 – nezávislé zavěšení předních kol [22]

3.10 Tatra [24]

Roku 1850 založil firmu na výrobu kočárů a bryček Ignác Šustala. Během 2. pol. 19. století firma vyrábí i železniční vagóny. V roce 1897 byl postaven první osobní automobil Präsident (tehdy pod značkou NW). První sériová nákladní vozidla vznikají roku 1914, později, v roce 1919 poprvé užito názvu Tatra na nákladních vozech. Pro Tatra typickou koncepcí centrální nosné roury poprvé použil, v typu T11, konstruktér Hans Ledwinka v roce 1923. Těžký třínápravový nákladní automobil T 111, s vzduchem chlazeným motorem vlastní konstrukce, spatřil světlo světa v roce 1942. Jednu z nevýhod odpružení pomocí výkyvných polonáprav, změnu odklonu kol v závislosti na zatížení, vyřešila Tatra pomocí systému odpružení KING FRAME v roce 1997.

Zadní nápravy TATRA jsou ve své základní verzi vždy poháněny a vždy opatřeny uzávěrkami. Pohon předních náprav je standardně připojitelný a využíváte ho tehdy, když potřebujete. Ve skříni nápravy je uložena dvojice hnaných talířových kol (pro každou polonápravu jedno) a dvojice pastorků, přenášejících točivý moment od diferenciálu. Ten je umístěn mimo nápravu v centrální nosné rouře a je na rozdíl od klasického řešení náprav s kuželovým diferenciálem tzv. korunového, resp. válcového typu. Vnitřní prostor skříně je uzpůsoben pro výkyvný pohyb polonáprav. Nápravy jsou osazeny vzduchovými bubnovými brzdami, vybavenými klínovými rozvírači Perrot, nebo kotoučovými brzdami dle přání zákazníka na kolech předních náprav. Kola vybavujeme také snímači pro montáž systému ABS.[24]



Obrázek 35 - Tatra – nezávislé zavěšení předních kol pomocí kyvadlových polonáprav[24]

	nosnost [kg]	světlná výška [mm]	výkyv [°]
Tatra přední n. TT nebo LP	8 000	368	7 / -12
Tatra přední n. VV	10 000	368	7 / -12
Tatra zadní n. VV	9 000	368	7 / -12
Tatra zadní n. VV + VP	11 500	368	7 / -12
Tatra zadní n. LP	11 500	368	7 / -12
Tatra zadní n. VV + LP	16 000	368	7 / -12

(*TT* – torzní tyč; *LP* – listová pera; *VV* – vzduchové vaky; *VP* – vinuté pružiny)

Tatra stejně jako Oshkosh nerozlišuje nápravy s nezávislým zavěšením kol na jednotlivé modely, ale používá rozdělení podle konkrétních aplikací a konstrukčních prvků (odpružení a říditelnosti). Nabízí tak přední řídicí hnací kyvadlové nápravy s nosností v rozmezí **8 000 - 10 000 kg** (dle použitého odpružení) a zadní hnací kyvadlové nápravy s nosností **9; 11,5; nebo 13-16 tun** (dle odpružení). Všechny nápravy jsou vybaveny teleskopickými tlumiči.

4 ZÁVĚR

Údaje poskytované výrobci nejsou v mnoha případech porovnatelné, protože každý z výrobců se snaží chránit si své know-how a poskytuje tak pouze určitou část technických parametrů jednotlivých řešení, avšak pro základní přehled je, ve většině případů, množství údajů dodávaných výrobcí postačující.

Ve snaze získat více informací pro mou bakalářskou práci jsem několikrát kontaktoval výrobce a dodavatele jednotlivých náprav s prosbou o poskytnutí dodatečných informací. Bohužel mi ani jednou nebylo odpovězeno. Tuto neochotu sdělit informace přisuzuji především obavám z následků konkurenčního boje. Především výrobci, dodávající své výrobky ozbrojeným složkám, poskytují informace a technické parametry (i veřejně dostupné) velice omezeně.

Na trhu s nápravami bylo možné v minulosti i v současnosti sledovat spojování výrobců do uskupení pro snadnější vývoj výrobků, jednodušší přístup k významným zakázkám pro ozbrojené složky a jejich následný odbyt. Například v roce 2012 získali společnosti Hendrickson a AxleTech zakázku vypsanou armádou Spojených států amerických na vybavení vozidel MRAP nezávislým zavěšením kol (AxleTech dodává skříně diferenciálů a Hendrickson dodává moduly zavěšení kol). Oba zúčastnění výrobci nabízejí nápravy vyvinuté při této spolupráci pod svými vlastními značkami. ^{[11], [20]}

Zavěšení pomocí tuhých náprav je v částečné výhodě při posuzování schopnosti kol zůstat v kontaktu s povrchem při přejíždění střídavých nerovností, protože rozdíl v zatížení kol dvou náprav, které jsou krouceny na opačné strany, jsou menší než u nezávislého zavěšení kol. Kyvadlové nápravy pro změnu poskytují výhodu, pokud porovnáváme naklápění karoserie při jízdě zatáčkou a traverzování svahem, kdy se naklání méně, než zbylé typy náprav. Zavěšení pomocí lichoběžníkových ramen má, co se týče maximální výšky překonávané překážky, stejné vlastnosti jako kyvadlová náprava, ale v oblasti naklápění karoserie ztrácí a to dokonce i na tuhé nápravy (pokud $s/w \rightarrow 0,7 \div 0,8$).

Počet sunutých náprav se během tvoření přehledu vyšplhal na 14 typů (včetně 2 náprav, které o méně než 700 kg nesplňují podmínku maximálního přípustného zatížení, avšak pro širší přehled byly zařazeny). Řídících hnacích náprav bylo dohledáno 9 typů (vyjma možných

variant téže samé nápravy jen s jiným typem odpružení). Pouze TATRA TRUCKS a.s Kopřivnice vyrábí hnací neřiditelnou nápravu s nezávislým zavěšením kol.

Výrobou sunutých řídicích náprav se zabývá 6 výrobců, výrobou řídicích hnacích náprav se zabývá také 6 výrobců. Až na jednoho výrobce (TATRA TRUCKS a.s Kopřivnice) všichni výrobci vyrábějí pouze lichoběžníkové nápravy s nejrůznější tonáží a různým použitím. Pouze TATRA TRUCKS a.s Kopřivnice se odlišuje od ostatních výrobců výrobou ojedinělého systému zavěšení kol pomocí kyvadlových nezkrácených polonáprav.

Bez znalosti přesných provozních podmínek nelze s jednoznačností určit, která z koncepcí nezávislého zavěšení je nejlepší, protože každá z výše zmíněných koncepcí má řadu výhod, ale i nevýhod, které se projeví při různém druhu použití. Tyto nevýhody lze do určité míry eliminovat promyšleným návrhem vozidla a zavěšení, ale nikdy nelze, bez kompromisů v konstrukci či výsledných vlastnostech vozidla, odstranit všechny.

Výsledkem porovnání je fakt, že kyvadlové nápravy mají své nezastupitelné místo v odvětví nákladních vozidel a vynikají především v náročném terénu, pro který jsou od počátku konstruovány. I z přímého porovnání s konkurenty (Oshkosh TAK-4 a Timoney OFF Highway) s ohledem na maximální zatížení dané nápravy je patrné, že v kategorii těžkých nákladních automobilů, určených do těžkého terénu, patří vozy TATRA stále k podvozkově nejlépe vybaveným vozidlům.

Použitá literatura

- [1] ZIKMUND Tomáš. Studijní opora pro studium předmětu ZDT. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [2] HOHL, Günter H. An Overview of suspension systems of wheeled off-road vehicles. In: *6th European ISTVS conference: 4. ÖVK Symposium "Off Road Vehicles in Theory and Practice"*. Vídeň, Rakousko, 1994, s. 55-77.
- [3] MASTINU, G a M PLÖCHL. *Road and off-road vehicle system dynamics handbook*. CRC Press, 2014, 1708 s. ISBN 9780849333224.
- [4] KOLOC, Martin. Dakar 2015: Utkání konceptů Tatra (kyvné polonápravy) versus Liaz (pevné nápravy). *Auto.cz* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/dakar-2015-utkani-konceptu-tatra-kyvne-polonaprawy-versus-liaz-pevne-naprawy-84897>
- [5] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 392 s. ISBN 80-238-5274-4.
- [6] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, 229 s. ISBN 80-719-4503-X.
- [7] DANA CORP. *NDIFS66: Independent front suspension*. Propagační materiály.
- [8] DANA CORP. *NDIFS84: Independent front suspension*. Propagační materiály.
- [9] *Dana Holding Corporation* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.dana.com/wps/wcm/connect/dext2/Dana/Home>
- [10] *ZF Friedrichshafen AG* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/homepage/homepage.html
- [11] *AxleTech International* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.axletech.com/na_en/index.php

-
- [12] AUTOR NEUVEDEN. *OEM Off Highway* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://r2.oemoffhighway.com/files/cygnus/image/OOH/2011/APR/640x360/4000isas_10259511.jpg
- [13] AUTOR NEUVEDEN. SAE International [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.sae.org/dlymagazineimages/7757_8338_ACT.jpg
- [14] AUTOR NEUVEDEN. *OEM Off Highway* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://r2.oemoffhighway.com/files/cygnus/image/OOH/2011/APR/1280x720/5000isas_10259510.jpg
- [15] *Timoney Technology Homepage Axles, Independent Suspension and steering systems* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.timoneygroup.com/Index.aspx>
- [16] *Tactical Vehicle Manufacturer / Oshkosh Defense / JLTVs and L-ATVs* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <https://oshkoshdefense.com/>
- [17] *Oshkosh Airport / ARFF Trucks & Snow Removal Trucks & Equipment* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.oshkoshairport.com/en/home.aspx>
- [18] *Pierce - Home / Custom Fire Apparatus / Pierce Mfg* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.piercemfg.com/Home>
- [19] *Voith* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://voith.com/en/index.html>
- [20] *Hendrickson - Global leader in heavy-duty suspensions* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.hendrickson-intl.com/>
- [21] *Reyco Granning* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://reycogranning.com/>
- [22] *Meritor* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.meritor.com/default.aspx>
- [23] *Легкие машины в переломный момент (часть 1 из 3): Военное обозрение* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://topwar.ru/57844-legkie-mashiny-v-perelomnyy-moment-chast-1-iz-3-ne-gotovo.html>
- [24] TATRA VÁS DOSTANE DÁL [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní typy náprav používané v užitkových vozidlech (rigid axle – tuhá náprava; swing axle – kyvadlová náprava; double wishbone axle – rovnoběžníková náprava; single trailing axle – vlečená kliková náprava; torsion bar – zkrutná tyč) [3].....	9
Obrázek 2 - Porovnání hmotnosti, počtu listů a tloušťky listových pružin, při konstantní výsledné tuhosti [3].....	12
Obrázek 3 - Základní model pro porovnání schopnosti kol neztratit kontakt s povrchem [3]	17
Obrázek 4 – Závislost mezi zatížením kola a výškou překážky (<i>specific wheel load difference</i> – rozdíl v zatížení kol; <i>overall obstacle height</i> – celková výška přeážky; <i>lifting of one wheel</i> – ztráta kontaktu kola s terénem) [3]	21
Obrázek 5 - Závislost mezi maximální výškou překážky a poměrem zatížení náprav (<i>swing axle</i> – kyvadlová náprava; <i>rigid axle</i> – tuhá náprava; <i>max. obstacle height</i> – maximální výška překážky; <i>axle loading distribution</i> – rozdělení zatížení mezi přední a zadní nápravu) [3]	22
Obrázek 6 - Středy klopení a vratné tuhosti vybraných druhů náprav [6]	23
Obrázek 7 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (tuhá náprava) [3].....	24
Obrázek 8 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (kyvadlová zkrácená náprava) [3].....	25
Obrázek 9 - Naklápění karoserie způsobené odstředivou silou při jízdě v oblouku (náprava s dvojitými rovnoběžníkovými rameny) [3].....	26
Obrázek 10 - Naklopení karoserie vozidla při průjezdu obloukem [vlastní]	27
Obrázek 11 - Naklopení karoserie vozidla při průjezdu obloukem – II. (<i>rigid axle</i> - tuhá náprava; <i>swing axle</i> – kyvadlová náprava; <i>double wishbone axle</i> – lichoběžníková náprava) [3].....	28
Obrázek 12 - Naklopení karoserie vozidla při traverzování [vlastní]	29
Obrázek 13 - DANA NDIFS 66 – nezávislé zavěšení předních kol [7].....	30
Obrázek 14 - DANA NDIFS 84 – nezávislé zavěšení předních kol [8].....	31
Obrázek 15 - ZF RL 80 ET – nezávislé zavěšení předních kol [10]	32
Obrázek 16 - ZF ITS 80 F – nezávislé zavěšení předních kol [10].....	33
Obrázek 17 - ZF RL 75 E – nezávislé zavěšení předních kol [10].....	34
Obrázek 18 - ZF RL 82 EC – nezávislé zavěšení předních kol [10].....	35
Obrázek 19 - AxleTech ISAS 4000 – nezávislé zavěšení kol [12]	36
Obrázek 20 - AxleTech ISAS 4500 – nezávislé zavěšení kol [13]	37
Obrázek 21 - AxleTech ISAS 5000 – nezávislé zavěšení kol [14]	38
Obrázek 22 - Timoney Strider IFS – nezávislé zavěšení předních kol [15].....	39
Obrázek 23 - Timoney 87150 OFF Highway – nezávislé zavěšení kol [15]	40
Obrázek 24 - Oshkosh TAK-4 nezávislé zavěšení předních pro hasičské vozy [18].....	42
Obrázek 25 - Oshkosh TAK-4 nezávislé zavěšení zadních kol pro hasičské vozy [18]	42
Obrázek 26 - Voith IFS TJ81-225 – nezávislé zavěšení předních kol [19].....	43

Obrázek 27 - Hendrickson IFS – nezávislé zavěšení předních kol [20].....	44
Obrázek 28 - Hendrickson ISAS – nezávislé zavěšení kol [20].....	45
Obrázek 29 - Reyco Granning IFS1700(S3) – nezávislé zavěšení předních kol [21].....	46
Obrázek 30 - Reyco Granning IFS20K – nezávislé zavěšení předních kol [21].....	47
Obrázek 31 - Reyco Granning IFS24K – nezávislé zavěšení předních kol [21].....	48
Obrázek 32 - Meritor ProTec Series 40 (mechanicky odpružená varianta) – nezávislé zavěšení předních kol [23].....	49
Obrázek 33 - Meritor ProTec Series 40 (varianta vzduchem odpružená) – nezávislé zavěšení předních kol [22].....	50
Obrázek 34 - Meritor ProTec Series 50 – nezávislé zavěšení předních kol [22]	51
Obrázek 35 - Tatra – nezávislé zavěšení předních kol pomocí kyvadlových polonáprav[24]	52

Příloha

Přehled dostupných náprav s nezávislým zavěšením kol o nosnosti vyšší než 7 tun											
	nosnost [kg]	hmotnost nápravy [kg]	světlá výška [mm]	výkyv polonápra vy [mm]	průměr disků [palce]	úhel natočení kol v rejdu [°]	brzdy	rozměr brzd [mm]	typ odpružení	konstrukce nápravy	typ nápravy
DANA NDIFS 66	6 600	565	222		22,5	55/42	kotoučové	430 x 45	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
DANA NDIFS 84	8 500	650	174		22,5		kotoučové	430 x 45	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
ZF RL 80 ET	8 000	590	230	100/-150	22,5	51/36	kotoučové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
ZF ITS 80 F	8 000	550	260	100/-170	22,5	50/40	kotoučové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
ZF RL 75 E	7 500	496		100/-100	22,5	60/46	kotoučové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
ZF RL 82 EC	8 200	482		90/-100	22,5	56/46	kotoučové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
AxleTech ISAS 4000	9 000	1 000	392	350	20/ 22,5	35	kotoučové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
AxleTech ISAS 4500	10 700	1 100				35	kotoučové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
AxleTech ISAS 5000	13 200	1 200	365/496	400/330	20/ 22,5	35	kotoučové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Timoney Strider	10 900			254	22,5	45	kotoučové	∅ 432	vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Timoney 87150	13 125			400		38	kotoučové	∅ 432	vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Timoney OHCT I.S.	15 000			203/-203			kotoučové	∅ 432	vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Oshkosh TAK-4 Med.	9 072		396	406	20		bubnové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Oshkosh TAK-4 Hvy.	12 020		421	406	20		bubnové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Oshkosh Tak-4 (Striker 4x4)	14 061			406			bubnové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Voith TJ81-225	8 100	478		90/-90	22,5	60	kotoučové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Hendrickson IFS	6 350	798					bubnové		vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Hendrickson ISAS	13 200						kotoučové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Reyco Gr. IFS1700 (S3)	7 711		166		22,5	55-58	kotoučové	∅ 432	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Reyco Gr. IFS1800S2 (S3)	8 164		166		22,5	55-58	kotoučové	∅ 432	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Reyco Gr. IFS2000S2 (S3)	9 071		166		22,5	55-58	kotoučové	∅ 432	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Reyco Gr. IFS20K	9 071		229		22,5	55	kotoučové	∅ 432	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Reyco Gr. IFS24K	10 886		229		22,5	55	kotoučové	∅ 432	vzduchové pružiny	lichoběžníková ramena	řídící sunutá
Meritor ProTec S. 40	10 432			457		35	kotoučové		vinuté pružiny/ vzd. pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Meritor ProTec S. 50	13 154			457		38	kotoučové		vinuté pružiny	lichoběžníková ramena	řídící hnací
Tatra přední n. TP nebo LP	8 000		368	7 / -12 °	22,5		bubnové		torzní tyče nebo lisová pera	kyvadlová	řídící hnací
Tatra přední n. VV	10 000		368	7 / -12 °	22,5		kotoučové		vzduchové pružiny	kyvadlová	řídící hnací
Tatra zadní n. VV	9 000		368	7 / -12 °	22,5		bubnové		vzduchové pružiny	kyvadlová	hnací
Tatra zadní n. VV + VP	11 500		368	7 / -12 °	22,5		bubnové		vzduchové pružiny + VP	kyvadlová	hnací
Tatra zadní n. LP	11 500		368	7 / -12 °	22,5		bubnové		listové pružiny	kyvadlová	hnací
Tatra zadní n. VV + LP	16 000		368	7 / -12 °	22,5		bubnové		vzduchové pružiny + LP	kyvadlová	hnací