

UNIVERZITA PARDUBICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Ing. Marek Novotný

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

NÁVRH A ZHOTOVENÍ VÝUKOVÉHO PANELU
GEOMETRIE ŘÍZENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Ing. Marek Novotný
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Miroslav Bodlák

2010

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF TRANSPORT MEANS

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF TEACHING PANEL
FOR STEERING GEOMETRY**

BACHELOR WORKS

AUTHOR: **Ing. Marek Novotný**
SUPERVISOR: **Ing. Miroslav Bodlák**

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek NOVOTNÝ**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**
Název tématu: **Návrh a zhotovení výukového panelu geometrie řízení**
Zadávací 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, význam výukových panelů
2. Charakteristika jednotlivých prvků geometrie řízení a kol
3. Návrh koncepčního řešení výukového panelu (výukového modelu)
4. Prezentace (měření) jednotlivých prvků geometrie řízení
5. Popis výroby panelu (modelu)
6. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

VLK, F.: Podvozky motorových vozidel.

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J.: Automobily, podvozky.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Bodlák

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

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. 121/2000 Sb., 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 zpřístupnění své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. května 2010

Ing. Marek Novotný

ABSTRAKT

První část práce se zabývá charakteristikou jednotlivých prvků geometrie řízení a kol. Tyto pojmy jsou zde vysvětleny a je zde pojednáno o jejich optimálních hodnotách. Další část prezentuje způsoby a postupy měření jednotlivých prvků geometrie řízení. Závěrečná část práce popisuje způsob, jakým byl výukový model navrhován a vyráběn.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Miroslavu Bodlákovi za cenné rady a podnětné připomínky věnované této práci.

Obsah

1. Úvod, význam výukových panelů	11
2. Charakteristika jednotlivých prvků geometrie řízení a kol.....	12
2.1. Úhel odklonu kola	18
2.2. Příklon rejdové osy.....	21
2.3. Záklon rejdové osy, závlek	23
2.4. Sbíhavost kol.....	25
2.5. Poloměr rejdu	27
3. Návrh koncepčního řešení výukového panelu (výukového modelu)	29
4. Měření jednotlivých prvků geometrie řízení.....	31
4.1. Měření úhlu odklonu kol.....	33
4.2. Měření sbíhavosti kol	34
4.3. Měření úhlu příklonu rejdového čepu.....	36
4.4. Měření úhlu záklonu rejdového čepu.....	37
4.5. Druhy měřících přístrojů.....	38
5. Popis výroby modelu.....	40
5.1. Stanovení koncepce modelu.....	40
5.2. Zhotovení výkresu	40
5.3. Výroba jednotlivých dílů	41
5.4. Sestavení modelu.....	44
5.5. Umístění modelu na podkladovou desku	45
5.6. Kalibrace měřícího zařízení	45
5.7. Estetická úprava modelu	46
6. Závěr	47

1. Úvod, význam výukových panelů

V dnešní moderní, snad i poněkud uspěchané době je na každého jednotlivce společností vytvářen tlak, který ho nutí neustále se vzdělávat a zdokonalovat, aby byl schopen zvládat složité životní situace, do kterých se dostává. Učení a vzdělávání jednotlivce začíná už v podstatě od jeho narození a můžeme říci, že probíhá po celý život. Studium na vysoké škole pak tvoří jakýsi vrchol systematické a průběžné přípravy na budoucí povolání.

Metody a prostředky, užívané ve školství, se v průběhu let a staletí neustále vyvíjely a vyvíjejí tak, aby studium bylo pro jedince, a tím i pro celou společnost, co nejpřínosnější. Je snaha najít takový systém, který co nejefektivněji předá informace studentovi a zároveň zabezpečí, aby si je osvojil a uchoval, ve snaze pomoci mu ve zvládnutí dalších životních situací. Mnohé studie již prokázaly, že důležitým prostředkem při vzdělávání a přípravě studentů je názornost. Nejvíce informací je člověk schopen uchovat v případě, že má možnost zapojit co možná nejvíce svých smyslů. Proto je vhodné používání audiovizuálních pomůcek v kombinaci s modely a vzorky (čímž může dojít k zapojení také hmatu, případně i čichu). Jen tak se stává studium pro jednotlivce zajímavé a tím i přínosné.

Výukové panely (modely) mají být právě takovou pomůckou. Mají zájemcům, především tedy studentům, názorně prezentovat danou problematiku tak, aby ji pochopili a tuto informaci aby si co možná nejdéle uchovali. Tato práce má za úkol přiblížit problematiku geometrie řízení automobilu, jejích optimálních hodnot a možnosti jejich měření a seřizování.

Práce je členěna do několika částí. První část charakterizuje jednotlivé prvky geometrie řízení a kol. Následuje návrh koncepce výukového modelu včetně jeho umístění na panelu. Další část prezentuje způsoby měření jednotlivých prvků geometrie řízení. V poslední části je popsána výroba výukového modelu a ukázána obtížná místa s výrobou spojená.

2. Charakteristika jednotlivých prvků geometrie řízení a kol

Řízení je takové ústrojí, které slouží k udržování a změně směru jízdy vozidla. Směr jízdy se řídí vychylováním předních kol vpravo nebo vlevo ze střední polohy kolem čepů nápravy (rejdrových čepů). Při vychýlení kol vpravo koná vozidlo zatáčku vpravo a naopak.

Řízení ovládá řidič volantem, jehož natáčení se převádí na přední kola řídicím ústrojím. Řízení lze dělit podle různých hledisek, a to:

Podle způsobu ovládání:

- Řízení přímé, ovládané jen silou řidiče. Může být provedeno jako hřebenové, maticové nebo šnekové.
- Řízení posilové, kde síla řidiče je doplněna silou posilovače.

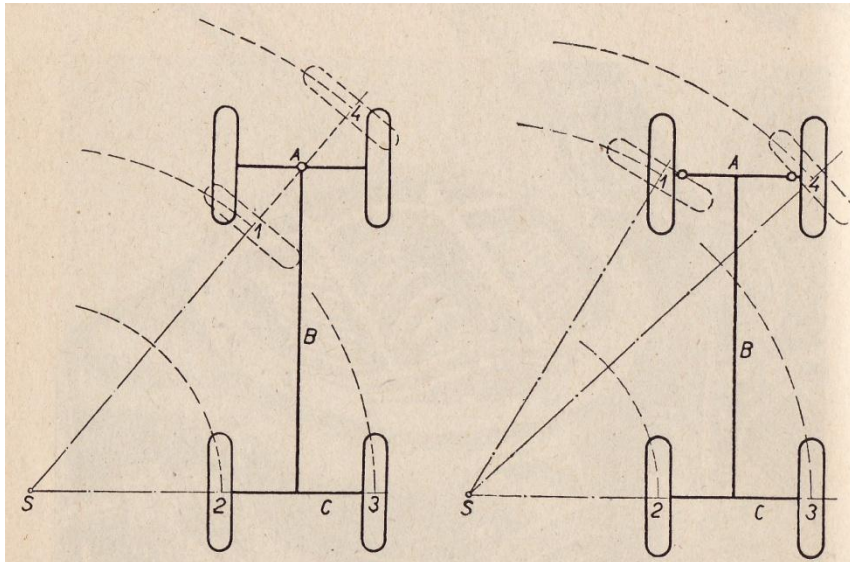
Podle umístění volantu:

- Řízení levostranné
- Řízení pravostranné
- Řízení střední – volant v podélné ose vozu
- Řízení obousměrné – volant vpředu a vzadu vozidla

Podle způsobu zatáčení:

- Natáčením celé tzv. rejdrové nápravy okolo svislé osy ležící ve střední podélné rovině vozidla. Tímto způsobem se řídí především přívěsy.
- Natáčením dvou nebo více rejdrových kol tzv. nápravy s rejdrovými koly okolo rejdrových čepů. Tento způsob je u kolových vozidel nejběžnější.
- Natáčením částí vozidla vůči sobě. Je to způsob typický pro řízení člankových (kloubových) vozidel.
- Přibrzdováním kol na jedné straně vozidla. Takto se řídí některá speciální vozidla.

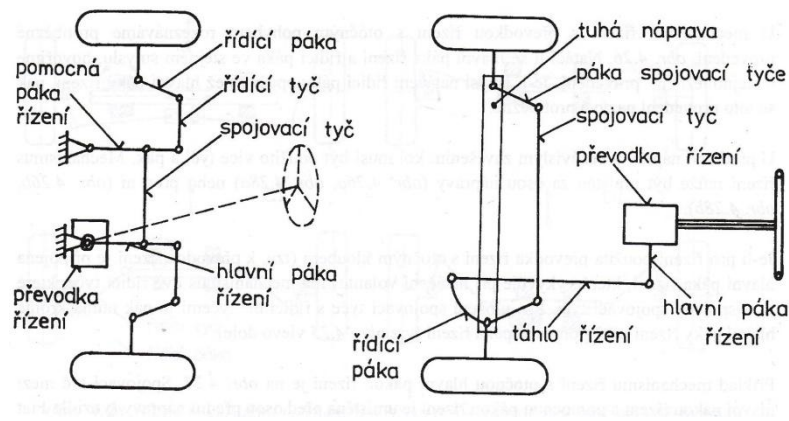
V některých případech se tyto způsoby zatáčení mohou kombinovat, např. u traktorů se při zatáčení v terénu spolu s natáčením rejdovných kol přibrzdí zadní kolo na vnitřní straně vozidla, nebo se brzdění kol realizuje změnou převodového poměru na kolech jedné strany vozu [6].



Obrázek 1. Schéma řízení pootočením celé nápravy a pootočením předních kol

V levé části obrázku č. 1 je znázorněno řízení pootočením celé nápravy, kde bod A představuje čep, B táhlo, C zadní nápravu, S střed otáčení, což je průsečík prodloužených os náprav a 1 – 4 jsou kola vozidla. V pravé části obrázku vidíme schéma řízení pootočením předních kol, kde bod A znázorňuje přední nápravu, B rám, C zadní nápravu, S střed otáčení jako průsečík prodloužených os čepů předních kol a zadní nápravy a 1 – 4 kola vozu.

Obrázek č. 2 ukazuje hlavní části řízení u tuhé nápravy a nezávislého zavěšení kol. Volant, který slouží k přímému ovládní řídicího ústrojí, je nasazen na hřídeli volantu, pomocí které se převádí pohyb z volantu do převodky řízení. Ta převádí pohyb ze šikmo položené hřídele volantu na vodorovnou hřídel řízení a současně tvoří převod do pomala mezi těmito dvěma hřídeli. Hlavní páka řízení, táhlo řízení, řídicí páka, řídicí tyč a spojovací tyč dále převádí pohyb až k oběma řízeným kolům.



Obrázek 2. Názvoslovní řízení

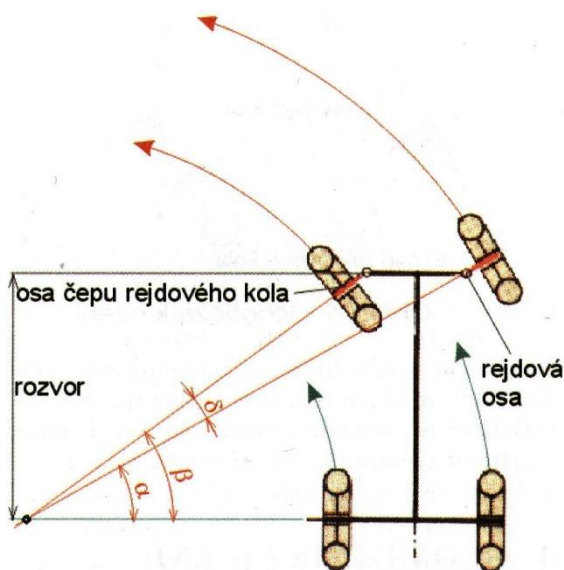
Na řízení jsou kladeny vysoké nároky, neboť se jedná o systém, který bezprostředně ovlivňuje bezpečnost jízdy. Na řízení jsou kladeny následující požadavky:

- Řízení musí být snadné a rychlé a musí umožnit bezpečné ovládnutí vozidla.
- Konstrukce řízení, respektive spolupráce s dalšími částmi podvozku nesmí vytvářet podmínky vibrací a kmitání řízení. Při návrhu řízení je třeba respektovat zásadu, která bere v potaz přirozené vytváření vůlí, avšak ty nesmějí přesáhnout kritickou hranici – uvolnění spoje.
- Rejdivá kola se musí po projetí zatáčkou samovolně vracet do přímého směru, resp. síla pro vracení musí být výrazně nižší než síla, která změnu vyvolala.
- Vůle v řízení – necitlivost řízení (mrtvá poloha) je diferencována podle maximální rychlosti vozidla. Vůle na volantu nesmí přesáhnout:
 - 36° u vozidel s maximální rychlostí do 25 km/h
 - 27° u vozidel s maximální rychlostí do 100 km/h
 - 18° u vozidel s maximální rychlostí nad 100 km/h
- Není-li vozidlo vybaveno posilovačem řízení, pak počet otáček mezi krajními polohami volantu by neměl být více než pět a krajní polohy jsou pevně vymezeny dorazy.
- Vozidla, u kterých hmotnost přesahuje 3 500 kg na řídicí nápravu, musí být vybavena posilovačem řízení, přičemž při selhání posilovače síla na věnci volantu nesmí přesáhnout 600 N [1].

Jízdní vlastnosti každého vozidla závisí na správné geometrii polohy kol a to při všech jízdních režimech, v přímém směru i v zatáčce. K tomu je třeba, aby za jízdy

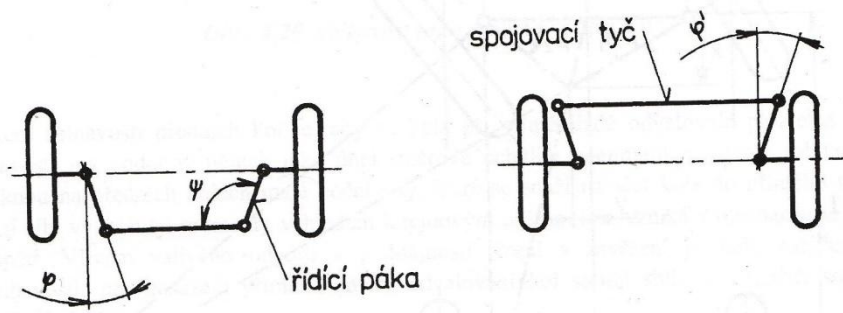
docházelo jen k odvalování kol. Jestliže při odvalování dochází zároveň ke smýkání (i když jen velmi malému), pak tento stav snižuje spolehlivé vedení vozidla na vozovce v příslušném požadovaném směru, chování vozidla vykazuje zhoršené jízdní vlastnosti, na pneumatikách se po jistém čase projevuje zvýšené opotřebení. Potvrzují to také celosvětové statistiky, které uvádějí, že více než polovina všech používaných pneumatik má sníženou životnost jenom proto, že geometrie kol není správná [7].

Každé rejdové kolo se otáčí kolem vlastní rejdové osy. Při jízdě v zatáčce ujedou kola téže nápravy nestejnou dráhu. Kdyby byla obě rejdová kola stejně natočena, žádné z nich by se neodvalovalo bez smýkání. Aby se obě kola odvalovala bez smýkání, musí být vnitřní kolo natočeno více než vnější, a to tak, že prodloužené osy rejdových kol se protínají na prodloužené ose neřízené zadní nápravy, jak ukazuje obrázek 3. Při průjezdu zatáčkou mají přední i zadní kola teoreticky společný střed otáčení (mluvíme o tzv. Ackermannově geometrii řízení). Skutečný střed otáčení je v důsledku boční deformace pneumatik posunut obvykle dopředu.



Obrázek 3. Kinematika řízení

Spojovací tyč řízení a obě páky rejdových kol tvoří spolu s osou přední nápravy při přímé jízdě lichoběžník řízení. Lichoběžník řízení umožňuje nestejně natočení rejdových kol při jízdě v zatáčce (obr. 4).

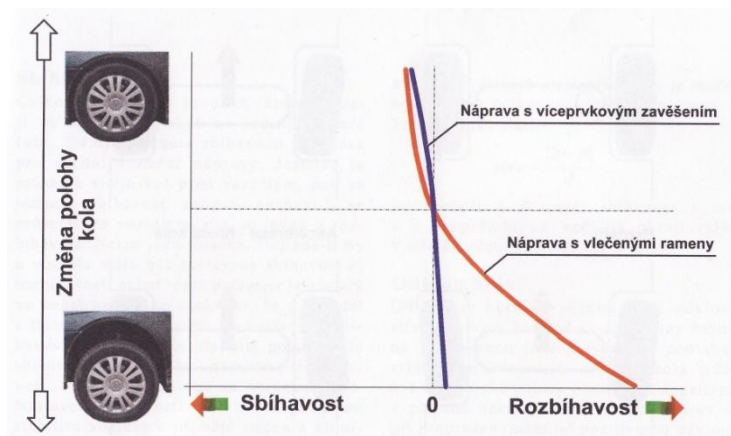


Obrázek 4. Lichoběžník řízení

Při přímé jízdě je spojovací tyč umístěna paralelně vzhledem k přední nápravě (je s ní rovnoběžná). Při průjezdu zatáčkou musí dojít k natočení kol. Vzhledem k tomu, že úhel mezi osou kola a řídící pákou není 90° , není při natočení kol spojovací tyč rovnoběžná s osou nápravy a tím je zajištěno nestejně natočení vnitřního a vnějšího rejdového kola [2].

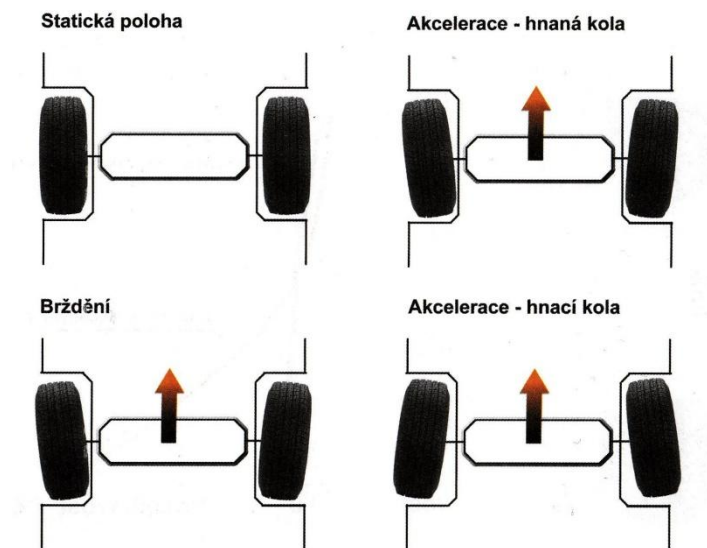
Návrh geometrie podvozku patří mezi velmi složité úlohy při konstrukci vozidla. Náročnost plyne z množství faktorů, které mohou být změnou geometrie vyvolány – ovladatelnost, opotřebení mechanických dílů podvozku a pneumatik, hospodárnost plynoucí ze změny odporu valením atp. Trajektorie pohybu kola ve svislé ose je určena kinematikou nápravy. Diferenci polohy kola a rámu či karoserie vyvolá například statické zatížení vozidla osádkou či předměty. Na obrázku 5 je zobrazen vliv odpružení na změnu sbíhavosti.

V provozu je model geometrie podvozku mnohem náročnější, neboť je nutné uvažovat i dynamické závislosti – setrvačné síly, působení gyroskopických momentů ve volném pohybu aj.



Obrázek 5: Vliv polohy kola na sbíhavost

Při akceleraci a deceleraci dochází ke změně pozice kol a náprav v důsledku působení sil na odpružení. Vliv zrychlování a brzdění na sbíhavost kol ukazuje obrázek 6 [1].

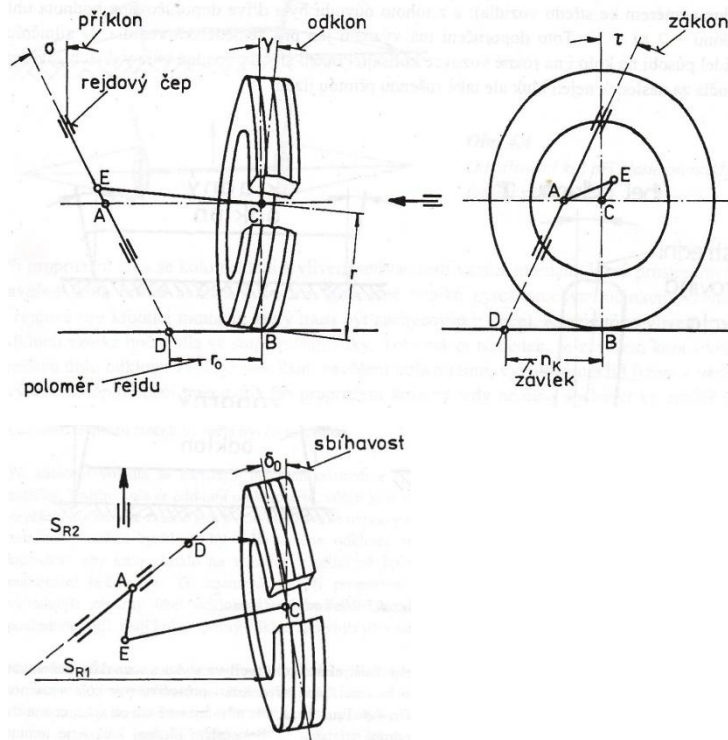


Obrázek 6: Vliv akcelerace a brzdění na sbíhavost kol

Pro zabezpečení lehkého, přesného a stabilního řízení a toho, aby se kola vozidla při přímé jízdě i při zatáčení odvalovala, mají řízená kola a rejdové osy určité odchylky od svislé roviny. Tyto odchylky jsou podle ČSN 30 0034 označovány jako „geometrie zavěšení kol“. Ta je tvořena následujícími parametry:

- Úhel odklonu kola
- Příklon rejdové osy
- Záklon rejdové osy, závlek
- Sbíhavost kol
- Poloměr rejdu

Základní parametry geometrie zavěšení kol ukazuje obrázek 7.

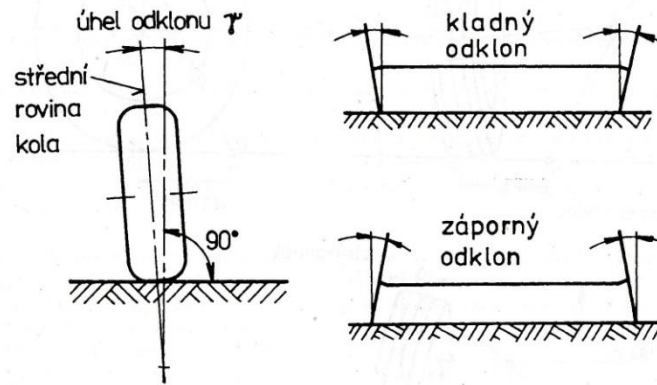


Obrázek 7: Základní parametry geometrie kola

2.1. Úhel odklonu kola

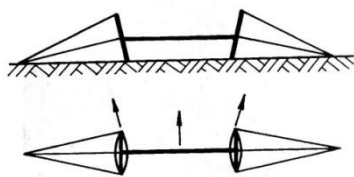
Odklonem kola se rozumí úhel odklonu střední roviny kola od svislé osy vozidla neboli od svislé roviny kolmé na vodorovnou rovinu tvořenou podlahou stání nebo vozovkou. Odklon kola může být ve statické poloze pozitivní nebo negativní, přičemž kladně je uvažován v případě, že se kolo naklání vrchem vně vozidla, záporně, naklání-li se dovnitř (obr. 8).

V případě některých konstrukcí náprav se odklon kola při propružení mění z pozitivního na negativní, což z hlediska stability jízdy není příznivý stav. Vlivem setrvačnosti vzniká moment, který prostřednictvím zavěšení kola bočně naklápí karoserii. Současně vzniká gyroskopickým účinkem vzhledem k rejdové ose krouticí moment, který musí být zachycován v řízení. Mimo to vzniká vlivem změny odklonu boční síla ve stopě pneumatiky. Následkem je zvýšené namáhání zavěšení kola a rámu, neklid řízení a zvýšené opotřebení pneumatik. Konstrukce nápravy by tedy měla zajišťovat minimální změnu úhlu odklonu při propružení.



Obrázek 8: Úhel odklonu kola

Účelem odklonu kola je jednosměrně a trvale zatížit ložiska čepu kola, vymezit jejich vůle a zvýšit bezpečnost jejich osového zajištění. Ve spojitosti s příklonem rejdové osy zlepšuje stabilitu vozidla a snižuje ovládací síly řízení. Nastavením odklonu kol lze částečně upravit nedotáčivost nebo přetáčivost vozidla a snížit sklon ke kmitání kol. Důvod je možné spatřit v tom, že kolo tvoří ve styku s vozovkou kuželovou plochu vymezenou osou odkloněného kola a vozovkou. Kola se při kladném odklonu mají snahu odvalovat po kružnici, jejíž střed leží v průsečíku osy kola a roviny vozovky (obr. 9). Vytváří se tak momenty síly, které působí proti kmitání kol (kola mají tendenci odvalovat se směrem od sebe). Tomuto je ale na druhou stranu v případě dokonalého uložení kola zabráněno a kolo tak prokluzuje po vozovce, čímž se zvětšuje opotřebení pneumatik.



Obrázek 9: Odvalování kol při kladném odklonu

Dříve navíc odklon kola eliminoval poměry podvozku na klenutých vozovkách, kola se odvalovala kolmo a vznikalo stejné opotřebení. Doporučoval se úhel odklonu až 3° , dnes je doporučován nepatrný odklon do 1° . Pomocí odklonu lze také upravit poloměr rejdu, obdobně jako příklonem rejdové osy.

Soutěžní vozidla mívají výrazný negativní odklon kol. Ten sice v přímém směru jízdy způsobuje nižší styčnou plochu, avšak při průjezdu zatáčkou se styčná plocha zvýší. Karoserie vozidla se účinkem odstředivé síly naklápí směrem na vnější stranu

zátáčky. Vnitřní kola se oddalují od karoserie, vnější kola se ke karoserii přibližují a u nezávislého zavěšení dochází ke změně jejich odklonu (na rozdíl od tuhé nápravy). Tato změna odklonu by měla vyrovnávat naklopení karoserie tak, aby kolo zůstalo na vozovce v přibližně kolmé poloze a mohlo tak zachycovat boční síly. Tím se ve výsledku dosáhne zvýšení rychlosti při průjezdu zatáčkou. U sériových vozidel je výrazný negativní odklon kvůli velkému opotřebení pneumatik nevhodný. Používá se pouze u zadní nápravy většinou ne větší než 1° . U přední rejdové nápravy má většina vozidel z důvodu zlepšení směrové stability a snížení poloměru rejdu odklon pozitivní.

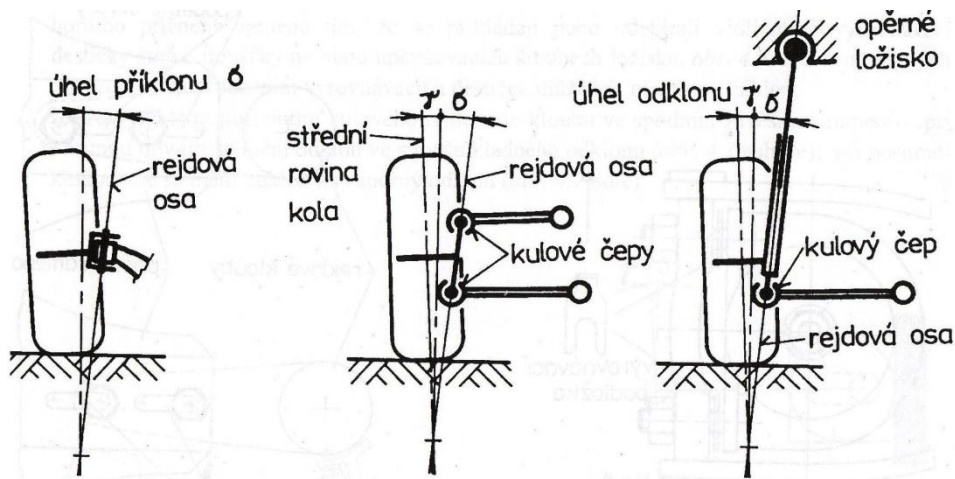
Způsob seřizování odklonu kola závisí na typu a konstrukci nápravy. U některých typů náprav není možné odklon kola seřizovat (např. u tuhé nápravy). Nejběžnější způsoby seřizování odklonu jsou:

- Excentrické přestavení uložení příčných ramen. Používá se u některých konstrukcích lichoběžníkových náprav, kde spodní rameno nápravy je uloženo na dvou excentrech.
- Seřízení odklonu kola vyrovnávacími podložkami. Provádí se většinou na vnitřním ložisku horního příčného ramene tím, že se přikládají nebo odebírají vidlicovité vyrovnávací podložky stejné tloušťky na obou upevňovacích šroubech ložiska. Nerovnoměrným odběrem nebo přiložením vyrovnávacích podložek může být přestaven záklon
- Seřízení odklonu posunutím kulového rejdového kloubu ve spodním závěsném rameni. Při posunutí dovnitř se mění odklon ve smyslu kladného odklonu, při posunutí vně se mění odklon na záporný odklon.
- U náprav typu McPherson se úhel odklonu seřizuje posunem horního uchycení tlumiče v uložení do skeletu.

Není-li hodnota levého a pravého odklonu kola shodná, může docházet k tažení vozidla do strany a není zaručen přímý směr vozidla bez korekce volantem (nehledě na opotřebení pneumatik). Změna odklonu způsobí vždy zároveň změnu příklonu nebo záklonu. Větší kladný odklon zmenšuje příklon, menší kladný nebo záporný odklon způsobí zvětšení příklonu. Souhlasí-li odklon, pak je zároveň správně seřizen příklon. Celkový úhel mezi rejdovou osou a svislicí zůstává konstantní [8].

2.2. Příklon rejdové osy

Úhel příklonu rejdové osy (rejdového čepu) je dán konstrukčně uložením kola. Příklon rejdové osy je úhel, který svírá rejdová osa s podélnou rovinou kolmou na podložku, neboli je to průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla (obr. 10). U tuhé nápravy je rejdová osa totožná s osou rejdového čepu. Lichoběžníková náprava rejdový čep nemívá a rejdová osa je dána spojnicí středů horního a spodního kulového čepu. Rejdová osa u nápravy McPherson je dána spojnicí středu horního závěsného ložiska a středu spodního kulového čepu příčného ramena, tato osa bývá totožná s osou teleskopické vzpěry nebo je excentrická – má větší příklon.



Obrázek 10: Příklon rejdové osy

Příklon rejdového čepu působí společně s odklonem kola na udržení přímého směru jízdy a na snížení ovládací síly. Průsečík roviny odklonu kola a roviny příklonu rejdové osy určuje kružnici, po které se kolo při natočení řízení odvaluje. Poloměr této kružnice je poloměrem rejdu. Příklon rejdové osy způsobuje vracení kol do přímého směru po projetí zatáčkou. Při natočení kol se vlivem příklonu zvedá náprava, resp. hmota, která na ni působí a vytváří moment síly, který při vracení kol po projetí zatáčkou působí vratným účinkem zpět k rovnováze. Pro zjednodušení vysvětlení tohoto momentu zanedbáme záklon rejdové osy. Přeložíme-li radiální reakci kola F_z (co do velikosti shodnou se svislým zatížením kola) k ose otáčení kola, pak vzhledem k rejdové ose působí složka svislé síly $F_z \cdot \sin\delta$, a to na rameni r_2 (obr. 11). Pro toto rameno platí:

$$r_2 = r_d \cdot \sin\sigma + r_0 \cdot \cos\sigma$$

Při vychýlení kola o úhel rejdu δ působí na rameni r_2 vzhledem k rejdivé ose složka $F_x \cdot \sin\sigma \cdot \sin\delta \cdot r_2$, čímž vzniká vratný moment jednoho kola

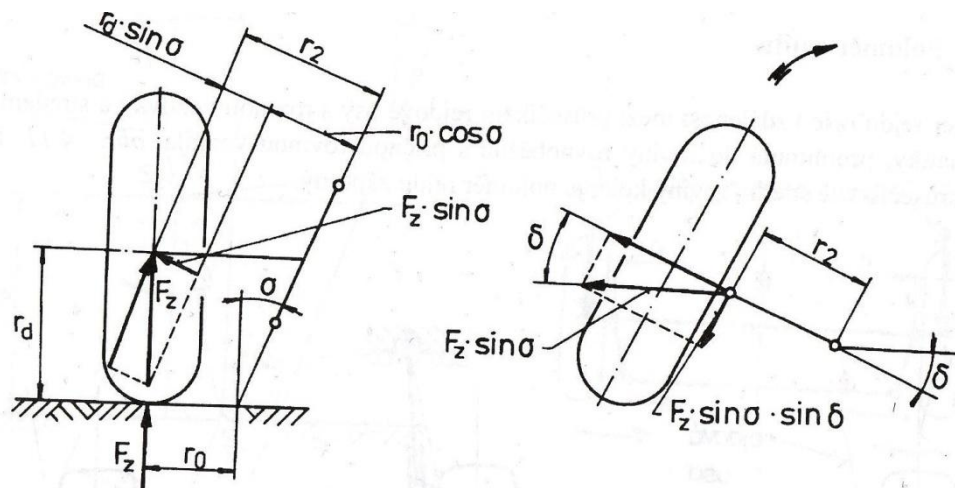
$$M_{\sigma 1} = F_z \cdot \sin\sigma \cdot \sin\delta \cdot r_2$$

A celkový vratný moment řízených kol vlivem příklonu tedy je

$$M_{\sigma} = 2 \cdot F_z \cdot \sin\sigma \cdot \sin\delta_s \cdot r_2 = G_p \cdot \sin\sigma \cdot \sin\delta \cdot r_2$$

kde G_p je statické zatížení přední nápravy a δ_s je střední úhel rejdu (aritmetický průměr úhlů rejdu vnějšího a vnitřního kola).

Z posledních dvou rovnic je zřejmé, že vrácení kol do přímého směru nastává, jen pokud úhel příklonu rejdivé osy je kladný ($\sigma > 0$) a z první rovnice plyne, že vratný moment vznikne i při záporném poloměru rejdu ($r_0 < 0$). Osobní automobily mají buď velký poloměr rejdu a malý úhel příklonu rejdivé osy (např. $r_0 = 60$ mm, $\sigma = 5^\circ$) nebo záporný poloměr rejdu a velký úhel příklonu (např. $r_0 = -10$ až -18 mm, $\sigma = 14^\circ$ až 18°) [8].

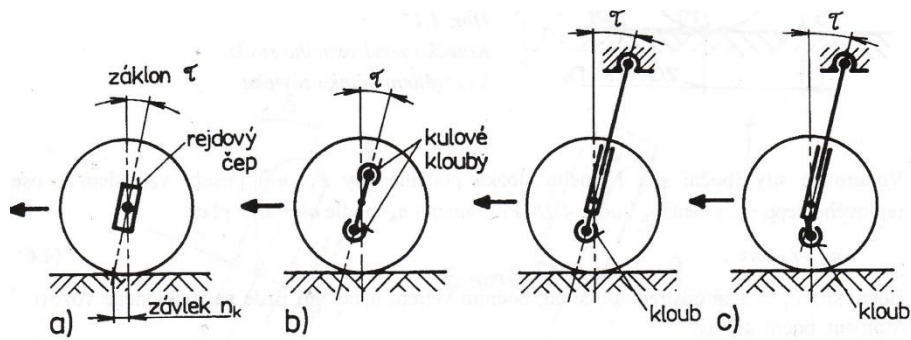


Obrázek 11: Určení vratného momentu způsobeného příklonem rejdivé osy

Stabilizační účinek příklonu rejdivé osy je nejdůležitějším opatřením při jízdě vozidla nižší rychlostí, avšak může vést k rozkmitání kol při vyšších rychlostech jízdy. K tomu, aby se kola snadno nerozkmitala, přispívá úhel odklonu a úhel sbíhavosti kol, které zavádí trvalé předpětí do tyčí a pák rejdivého ústrojí. Při propružení kola dochází ke změně příklonu rejdivé osy, která vyjadřuje zároveň změnu odklonu kola.

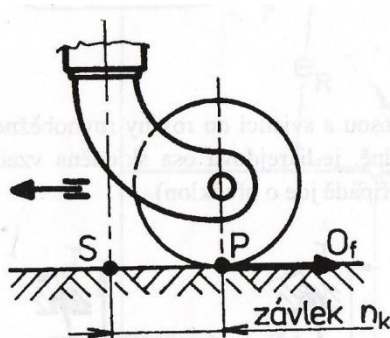
2.3. Záklon rejdové osy, závlek

Jako záklon rejdové osy (rejdového čepu) označujeme průmět úhlu, který svírá rejdová osa a svislice, do roviny rovnoběžné s podélnou osou vozidla (obr. 12). Záklon určujeme jako úhel v úhlových stupních a minutách. Závlek kola je vzdálenost průsečíku osy kola s vozovkou (středu styku pneumatiky) a průsečíku rejdové osy s vozovkou. Závlek kola se udává v milimetrech. Je uvažován kladně, je-li průsečík před středem styku pneumatiky a záporně, je-li za ním (předvlek).



Obrázek 12: Záklon rejdové osy: a) tuhá náprava b) lichoběžníková náprava c) náprava McPherson

Účinek závleku na vracení kola do přímého směru je znám z konstrukce koleček servírovacího stolku (obr. 13). Kolečko je vlivem závleku vlečeno, nikoli tlačeno. Jestliže je kolečko taženo ve směru šipky, pak bod P leží za bodem S. Působí-li valivý odpor O_f za rejdovou osou o , pak se při tažení stolku kolečko odvaluje ve směru tažné síly [8].



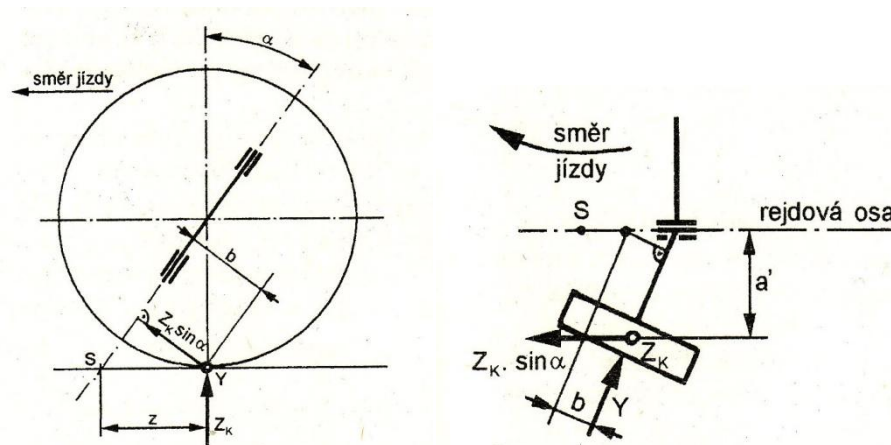
Obrázek 13: Účinek závleku (kolečko servírovacího stolku)

Stabilizační účinek závleku může být dosažen dvěma způsoby. Buď je možné posunout rejdovou osu směrem dopředu, čímž se bod styku kola s vozovkou dostane za rejdovou osu a kolo je vlečeno, nebo častěji se využije záklonu rejdové osy.

Při výklonu kola do rejdu vzniká ve stopě v důsledku působení odstředivé síly při zatáčení vozidla boční síla Y . Tato boční síla vytváří vzhledem k rejdové ose moment:

$$M\alpha = Y \cdot b = Y \cdot r_d \cdot \sin \alpha,$$

kde $b = r_d \cdot \sin \alpha$ (obr. 14) je příčka dvou mimoběžek – boční síly Y a rejdové osy. Při výklonu kola do rejdu se velikost této příčky mění.



Obrázek 14: Záklone rejdové osy (bokorys a půdorys)

Vzniklý moment, který představuje hlavní stabilizační účinek při záklonu rejdové osy se snaží natočit kolo do přímého směru jízdy, kdy odstředivá síla zmizí a tím zanikne i boční síla Y . stejný účinek se projevuje i na druhém rejdovém kole nápravy.

Momentově působí na kolo vozidla i radiální reakce Z_k a sice svou složkou ležící v rovině kolmé k rejdové ose

$$M'\alpha = Z_k \cdot \sin \alpha \cdot a',$$

kde a' je příčka mimoběžek určených rejdovou osou a složkou radiální reakce $Z_k \cdot \sin \alpha$. Tento moment sae snaží vychýlit kolo do polohy, ve které má kolo nejmenší potenciální energii (střed stopy kola na půdorysu rejdové osy).

V poloze kol pro přímou jízdu se momenty na obou kolech navzájem ruší. Při vychýlení kol z přímého směru působí moment na vnitřním kole stabilizačně a na vnějším kole destabilizačně. Který účinek převládne bude záviset na celkové kinematice závěsu kol [6].

Čím je záklon předních rejdových čepů větší, tím obtížněji se kola natáčí do rejdu, avšak vozidlo je na vozovce stabilnější. U běžných vozidel se zpravidla setkáváme s kladnými úhly záklonu, tj. odklonění osy rejdového čepu je směrem dozadu (vyvolává kladný závlek). U vozidel s předním pohonem je záklon velmi blízký nule, u vozidel se zadním pohonem bývá záklon v řádu jednotek stupňů. Osobní automobily s motorem vzadu, u kterých je přední náprava méně zatížena, mají větší úhel záklonu než vozidla s motorem vpředu. Existují však konstrukce, které mají negativní úhel záklonu, což způsobuje zmenšení vratného momentu při jízdě v zatáčce. Tím se brání příliš intenzivnímu vracení kol do přímého směru.

2.4. Sbíhavost kol

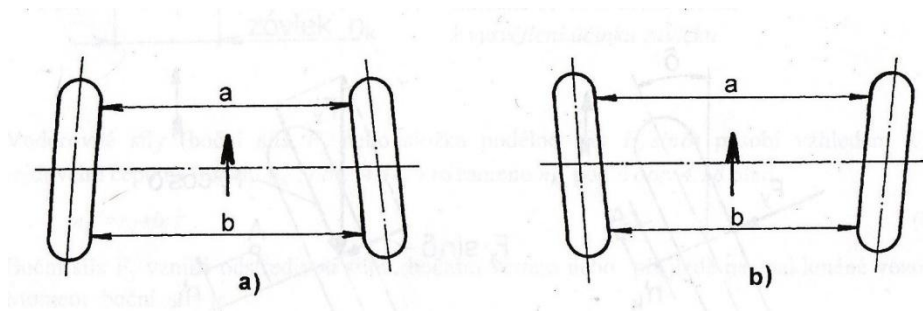
Sbíhavost kol je nejčastěji udávána jako rozměr, který vyjadřuje požadované sbližování protilehlých kol vozidla směrem dopředu. Je to rozdíl vzdáleností (B - A) mezi vnitřními okraji ráfků kol téže nápravy ve vodorovné rovině procházející středy kol.

Sbíhavost lze též vyjádřit jako úhel. Je to průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky.

Jestliže leží průsečík rovin kol před vozidlem, pak se jedná o sbíhavost, naopak nachází-li se průsečík za vozidlem, pak se jedná o rozbíhavost (obr. 15). Sbíhavost se uvádí v [mm] nebo v úhlových mírách – stupních a minutách. Pro přepočítání platí:

$$\alpha = \arcsin \frac{|B - A|}{d}$$

kde rozdíl $B - A$ značí sbíhavost v mm a d je průměr na vnějším okraji ráfku v místě měření (určeno výrobcem).



Obrázek 15: Sbíhavost kol (a) a rozbíhavost kol (b)

Účelem sbíhavosti je zmenšit vliv odklonu kol a jím způsobené boční úchyly, vedoucí k většímu opotřeбенí pneumatik na vnější straně kol. Při nastavení sbíhavosti je opotřeбенí pneumatik rovnoměrné. Dále sbíhavost napomáhá axiálnímu zatížení ložisek otočných čepů kol a vymezuje i vůle v kulových kloubech mechanismu řízení [6].

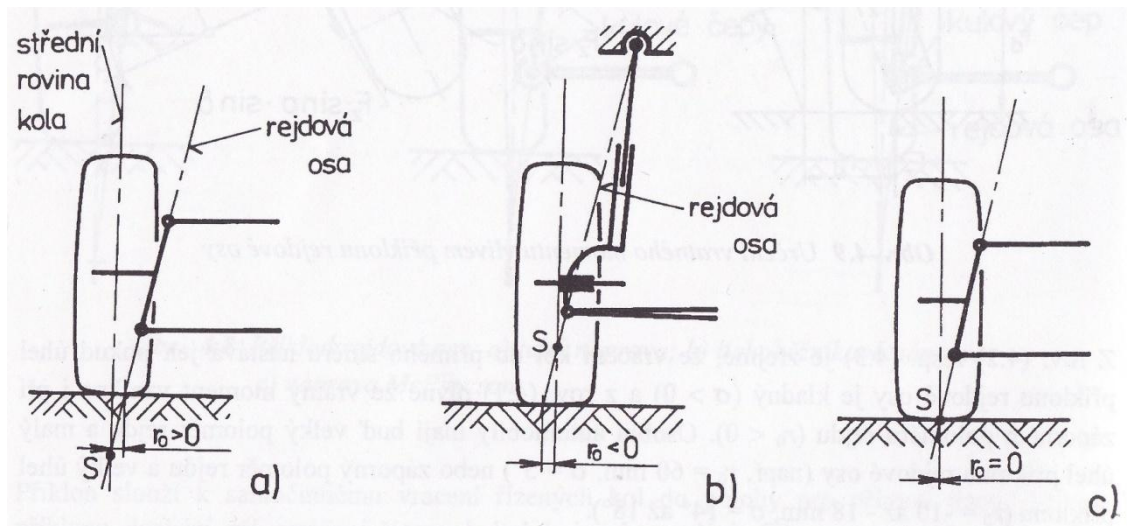
Nastavení sbíhavosti či rozbíhavosti závisí na tom, která náprava na vozidle je hnací. Při pohonu zadní nápravy mají řízená přední kola sklon se rozbíhat, neboť suvná síla se přenáší do karoserie přes rejdové čepy, které táhnou přední kola. Vytváří se tak dvojice sil – suvné v rejdovém čepu a odporu kola v jízdni plošce příslušného kola, která působí tak, že kola se rozbíhají. Aby se tento účinek kompenzoval, musí se obě kola nastavit sbíhavě. Při pohonu předních náprav uvedené dvojice změní smysl, neboť prvotní silou je suvná síla na obvodu předních kol, které přes rejdový čep táhnou celou karoserii a tím i zadní nápravu. Proto se musí nastavit rozbíhavě, aby oba tyto účinky vzájemně se eliminovaly (často se ale kvůli nezhoršení jízdni stability při deceleraci nastavují i u pohonu přední nápravy kola sbíhavě). Sbíhavost kol přední nápravy stabilizuje vozidlo v přímém směru a zabraňuje kmitání kol za jízdy. Má výrazný vliv na chování vozidla při průjezdu zatáčkou [5].

Dnešní vozidla mívají malé úhly odklonu kol a tím i nízké hodnoty sbíhavosti. Pro osobní automobily bývá udávána sbíhavost 0 – 3 mm, pro nákladní 3 – 8 mm. Příliš velká sbíhavost způsobuje nadměrné opotřebení pneumatik.

2.5. Poloměr rejdu

Poloměr rejdu r_0 je průmět vzdálenosti průsečíku rejdové osy s vozovkou od středu styku pneumatiky s vozovkou do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Rozlišujeme:

- *Pozitivní poloměr rejdu* – průsečík osy otáčení rejdového čepu leží mezi středy dotykových ploch kol
- *Negativní poloměr rejdu* – průsečík osy otáčení rejdového čepu leží vně středů dotykových ploch kol
- *Nulový poloměr rejdu* – osa otáčení rejdového čepu protíná vozovku v místě dotykové plochy kola (obr. 16).



Obrázek 16: Poloměr rejdu a) kladný b) záporný c) nulový

Poloměr rejdu ovlivňuje velikost vratného momentu. Čím jsou kladné hodnoty poloměru rejdu větší, tím větší je tento moment. Zároveň ale roste citlivost přední nápravy na podélné síly.

Při brzdění v případě kladného poloměru rejdu natáčí působící brzdná síla přední část kola ven (do rozbíhavosti). Pokud je rozdílná přilnavost kol (a vlivem poddajnosti mechanismu řízení) je kolo s větší přilnavostí natáčeno ven a vozidlo „táhne“ do strany. Řidič musí tento stav korigovat natočením volantu proti smyslu stáčení vozidla. Poloměr rejdu má proto být malý, ale přesto dostatečný pro zachování přiměřené ovládací síly řízení a zabránění „třepetání“ kol.

V případě záporného poloměru rejdu vytváří brzdná síla působící na kolo stáčivý moment, který natáčí přední část kola dovnitř (do sbíhavosti), protože bod otáčení leží ve vnější části stopy kola. Pokud je při brzdění různá přilnavost kol (např. různý povrch vozovky, defekt pneumatiky apod.), natáčí brzdná síla kolo s větší přilnavostí dovnitř. Svým natáčením působí kolo proti „táhnutí“ vozidla na tu stranu, na které kola intenzivněji brzdí vlivem větší přilnavosti. Nutný korekční pohyb volantu je menší, případně se stáčení vozidla úplně potlačí bez zásahu řidiče. Tento samočinný stabilizující účinek je zvláště důležitý při defektu pneumatiky přední nápravy. Jako první byl záporný poloměr rejdu použit u vozidla Audi 80, které mělo přední nápravu McPherson. V dnešní době mají téměř všechna vozidla s předním pohonem a nápravou McPherson záporný poloměr rejdu.

U vozidel s nulovým poloměrem rejdu se kola natácejí do rejdu na místě, u stojícího vozidla je nutná velká síla v řízení pro natočení kol do rejdu. Při brzdění je kolo natáčeno ven, ale natáčecí moment je podstatně menší než u vozidel s kladným poloměrem rejdu.

3. Návrh koncepčního řešení výukového panelu (výukového modelu)

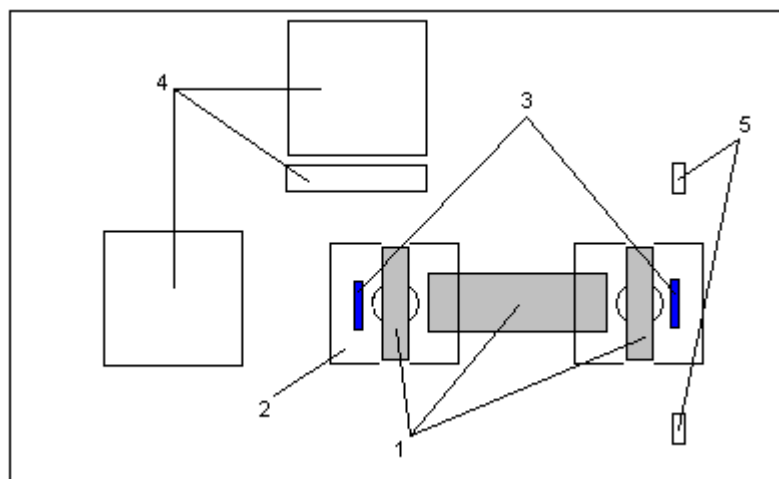
Jak je patrné již z názvu práce, její součástí je návrh a zhotovení výukového panelu (výukového modelu) geometrie řízení. Jako přesnější a výstižnější termín se mi jeví označení výukový model, proto bude dále užívána tato varianta. Výukový model by měl zájemcům, především tedy studentům, umožnit názornou prezentaci a přiblížení problematiky seřizování a měření jednotlivých prvků geometrie nápravy automobilu.

Pro tento účel byl zhotoven model nápravy, která umožňuje seřizování jednotlivých hodnot geometrie, jako je sbíhavost kol, odklon kola nebo záklon rejdového čepu. Existuje velké množství typů a variant konstrukčních řešení nápravy, z nichž velké množství neumožňuje seřizování jednotlivých prvků. Hodnoty jsou nastaveny již výrobcem a jsou neměnné. Obecně se dá říci, že jsou rozšířeny dva typy zavěšení kol, které jsou pro prezentaci nastavení a měření geometrie řízení vhodné. Jedná se o nápravu typu McPherson a lichoběžníkovou nápravu. Pro účely této práce byla jako nejvhodnější vybrána náprava lichoběžníková.

Lichoběžníková náprava je tvořena dvojicí příčných trojúhelníkových ramen. Jedná se o nezávislé zavěšení kol. Jedno rameno je vždy o něco delší než druhé rameno. Odtud také plyne název lichoběžníková náprava, neboť koncové body ramen tvoří v průmětu do příčné svislé roviny lichoběžník. Nastavení jednotlivých prvků geometrie řízení je provedeno přidáváním a odebráním podložek v uložení ramen k nápravnicí.

Pro názornost je výukový model tvořen modelem nápravy sestávajícím pouze ze základních a nezbytných částí. Přidání dalších součástí, které se běžně vyskytují na automobilu (jako například karoserie, brzdová soustava apod.) by bylo na úkor názornosti a účelnosti modelu. Model je tedy tvořen nápravnicí, napevno připevněnou k podložce, ke které jsou uchycena ramena nápravy. Spojnice koncových bodů ramen představuje osu otáčení kol. Kola spočívají na otočných posuvných plošinách, připevněných k podložce. Tyto plošiny obsahují stupnici, ze které je možno vyčíst úhel natočení kol. K řídicím pákám je pomocí čepu připevněna řídicí tyč. Změnou délky této řídicí tyče lze dosáhnout změnu sbíhavosti (resp. rozbíhavosti) kol. Toho je docíleno přerušením tyče a jejím spojením pomocí matice s pravolevým závitem.

V ose kol je umístěna hlavice a laserovým projektorem (ukazovátkem), který promítá paprsek na jednotlivé stupnice. Jedná se o měření geometrie nápravy pomocí optického přístroje (moderní a dnes rozšířené elektronické přístroje nejsou pro účely této práce z hlediska názornosti vhodné). Paprsek dopadá na jednotlivé tabule se stupnicemi (podrobnější popis následuje v dalších částech práce). Použitý princip měřicího zařízení je v podstatě kopií skutečného zařízení používaného v autoservisu (např. Autoservis STRÁNSKÝ Pardubice-Rosice). Jedná se o zařízení PRECYZJA Bydgoszcz polské výroby, přičemž rozměry veškerých prvků modelového zařízení jsou zmenšeny v daném poměru (poměr velikosti skutečné nápravy ku velikosti modelové nápravy). Schematický obrázek s uspořádáním jednotlivých částí modelu na podkladové desce ukazuje obrázek 17.



Obrázek 17: Schema výukového modelu

- 1 – náprava s koly
- 2 – otočné plošiny
- 3 – laserové projektory
- 4 – měřicí tabule se stupnicemi
- 5 – značky k nastavení kola do roviny

4. Měření jednotlivých prvků geometrie řízení

Při měření a seřizování jednotlivých prvků geometrie kol je nutné věnovat postupu značnou péči, neboť parametry geometrie se vzájemně ovlivňují a mají přímý a bezprostřední vliv na bezpečné ovládání vozidla. Před vlastním měřením je nutná prvotní kontrola podvozku a kol. Samozřejmostí je, že kontrole geometrie podléhá vozidlo, které odpovídá požadavkům výrobce na jednotlivé komponenty vozidla a jejich správným provozním parametrům. Před započítím prací by měla předcházet kontrola mechanických částí podvozků s důrazem na sledování viditelných deformací zavěšení kol, odpružení a řízení a vůle v těchto skupinách.

Zvláštní pozornost se tedy při přípravě věnuje pneumatikám, mají-li předepsaný rozměr a huštění a taktéž kolům, resp. deformacím a rzivosti. Odpružení by mělo být ve shodě s nařízením výrobce, což mnohdy není zaručeno u opravených, resp. upravovaných podvozků. V případě výměny pružin za jiné s odlišnou charakteristikou či dokonce rozměrovou změnou je vyloučeno správné nastavení geometrie podvozku tak, aby v celém spektru jízdních podmínek bylo zaručeno správné postavení kol. výrobce vozu také specifikuje podmínky zatížení vozidla při kontrole a seřízení geometrie. V případě osobních vozidel existují desítky variant zatížení (obr. 18).



Obrázek 18: Varianty zatížení vozidla při kontrole geometrie

Přední sedadla se zatěžují od cca 50 do 80 kg na sedadlo, zadní pak asi od 12 do 80 kg a zavazadelník od 14 do 100 kg. Toto rozpětí je nutné zjistit pro každý typ a výrobní variantu vozu přesně. Existuje také alternativa bez zatížení, lze se však také setkat s předepsaným množstvím paliva v nádrži. Nedodržení této podmínky bývá v mnoha případech zdrojem chyb při seřízení geometrie. Jelikož je únava pružin

běžným jevem, může být stanoveno i rozmezí, při kterém by se kontrola geometrie měla uskutečnit. U některých vozidel, typicky u těch s hydraulickým odpružením, je třeba, aby při seřizování geometrie byl nastartován motor a měl alespoň volnoběžné otáčky [1].

Úkony, které je nutné vykonat před vlastním měřením geometrie kol, lze shrnout do několika bodů:

- Z tabulek pro seřizování geometrie (nebo z technického popisu vozidla) zjistit potřebné hodnoty
- Ověřit přiměřenost vůlí zavěšení kol a řízení (klouby řídicích pák a tyčí, závěsných ramen, ložisek kol)
- Zjistit technický stav podvozku (pérování, tlumiče, vyváženost kol apod.)
- Provéřit stav opotřebení pneumatik a hodnoty jejich nahuštění
- Změřit axiální a radiální házivost kol
- Vozidlo ustavit na hladkou vodorovnou plochu a zatížit ho podle předpisu výrobce

Následující technologický postup kontroly geometrie spočívá v měření především:

- Úhlu odklonu kol
- Sbíhavosti, resp. rozbíhavosti
- Úhlu příklonu rejdové osy
- Úhlu záklonu rejdové osy

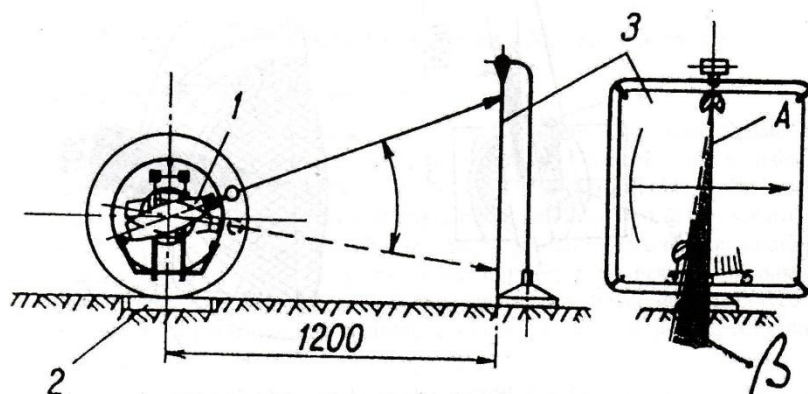
Mimo tyto základní hodnoty je v rámci kontroly geometrie řízení možno měřit i diferenční úhel sbíhavosti kol (rozdíl rejdů), souměrnost polohy kol přední a zadní nápravy (rovnoběžnost a symetrie), přesazení kol, diferenční úhel rozvoru (úhel tvořený osami kol přední a zadní nápravy), diferenční úhel rozchodu (úhel tvořený spojnicí bodů dotyku kol na levé a pravé straně vozidla), stranové přesazení nápravy apod.

4.1. Měření úhlu odklonu kol

V popisu měření jednotlivých hodnot geometrie řízení se zaměříme na měření optickomechanickými přístroji (z výše uvedeného důvodu). U většiny používaných přístrojů se využívá optické projekce, která je v podstatě stejná. Princip měření spočívá v uchycení čidel na vodorovné plochy ráfku kola tak, aby se násobícím zařízením přenesl malý úhel odklonu na stupnici s dobrou rozlišovací schopností. Tato stupnice má dělení v hodnotách plus a minus pro měření úhlu odklonů jak kladných, tak i záporných.

V našich servisech jsou k dispozici různé přístroje pro měření a kontrolu geometrie kol. Většina z nich jsou zahraniční výroby. Rozlišují se nejen použitím, ale i způsoby vyhodnocování. Téměř vždy jde o zařízení pro měření celkové geometrie, které je součástí diagnostických linek speciálně vybavených servisů. Tato zařízení používají buď princip přímé, nebo nepřímé projekce.

Námi uvažovaný model využívá principu zařízení s přímou projekcí. Projektor se uchytí ve třech bodech na ráfek kola pomocí pevné a stavitelné konzoly tak, že rovina světelného paprsku z projektoru musí být rovnoběžná s rovinou souměrnosti kola. Projektor má světelnou značku, která se promítá na světelné kružnici při dopadu světelného paprsku jako výseč, jejíž obraz lze zaostřit výsuvným objektivem. Je nutné zkontrolovat házení ráfků kol. Při rzivosti nad 3 mm musíme kolo vyměnit nebo odstranit příčiny házení. Házení ráfku je nutno anulovat.



Obrázek 19: Měření odklonu kola

Postup měření je patrný z obrázku 19. Projektor (1) umístěný na ráfku kola (které spočívá na otočné plošině 2) promítá světelný znak nejdříve na vymežovací šipku svislice A měřicího panelu (3), postaveného 1200 mm před nápravou. Po ustavení panelu tak, aby se výseč světelného znaku kryla s vymežovací šipkou svislice A se projektor skloní a na stupnici se odečte přímo hodnota odklonu kola β .

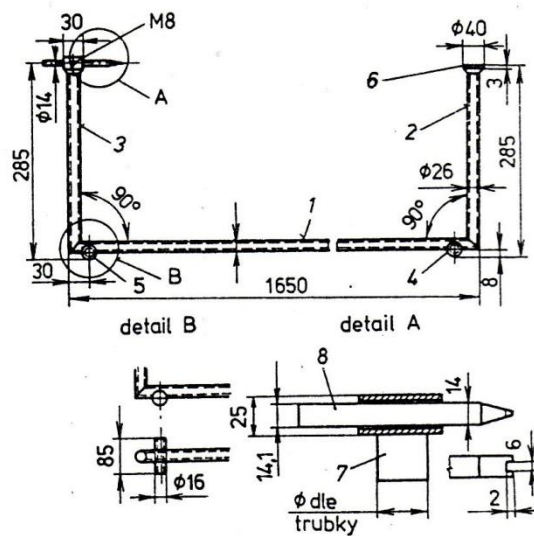
Některé přístroje vyžadují nastavení měřeného kola do rovnoběžné polohy s osou automobilu. Jsou vybaveny pomocnými rameny, která se ustavují do vodorovné polohy pomocí libely. Na vychylovací soustavě je uchycena optická soustava. Páčka zvláštního voliče se přestaví do polohy pro měření odklonu a na stupnici se přímo odečítá hodnota úhlu β .

Prokáže-li kontrola, že hodnota úhlu odklonu kola neodpovídá technické dokumentaci vozidla, musí se seřídit. Postup seřizování úhlu odklonu kola je u různých vozidel různý, ale v principu je nutné odklonit vlastní zavěšení kola. Námi uvažovaná lichoběžníková náprava používá systém vkládání a ubírání podložek pod horní rameno lichoběžníku. Každá podložka o určité tloušťce znamená odklonění kola o určitý počet úhlových minut (např. o 8'). Podložky mívají ze strany výřez, který umožňuje pouze uvolnění utahovacího šroubu ramena a zasouvání podložek ze strany, aniž by se muselo uchycení rozebírat [3].

4.2. Měření sbíhavosti kol

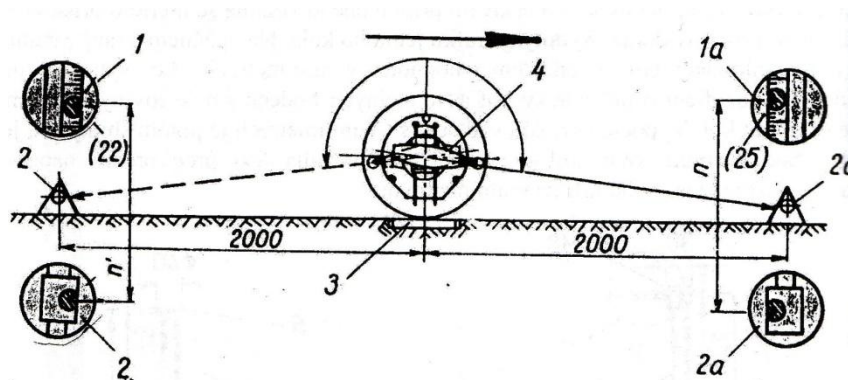
Nejjednodušším způsobem měření sbíhavosti je měření pomocí jednoduchého mechanického měřidla. Jedná se v podstatě o velké posuvné měřítko. Typické jednoduché mechanické měřidlo sbíhavosti předních kol ukazuje obrázek 20. Sbíhavost kol se měří následovně: vozidlo se postaví na vodorovnou plochu a upraví se tlak v pneumatikách na předepsanou hodnotu. Měřidlo se přistaví zezadu kol tak, aby se posuvný doraz (8) dotýkal ráfku jednoho kola. Na opačné straně přisuneme k disku dotyk hloubkoměru a odečteme hodnotu v milimetrech. Po vytažení měřidla popojedeme s vozidlem o půl otáčky kol a ve stejných bodech svislé roviny měříme měřidlem zepředu kol. Bývá vhodné si tyto body na kolech označit např. křídou. Vypočtený rozdíl vzdáleností v milimetrech je potom sbíhavost, jestliže pomyslný bod

protnutí rovin kol a podélné osy vozidla leží před přední nápravou. V případě, že leží za nápravou, jedná se o rozbíhavost.



Obrázek 20: Jednoduché zařízení pro měření sbíhavosti kol

Měření pomocí jednoduchého zařízení je u moderních vozidel málo přesné. Proto se využívají dokonalejší optické nebo elektronické přístroje. Zpravidla to bývají tytéž přístroje, které se používají pro měření odklonu kola. Postup měření ukazuje obrázek 21. Projektory (4) umístěné na ráfku kol promítají světelný znak s výsečí na tyče se stupnicemi (1, 2), umístěné ve vzdálenosti 2000 mm před a za měřenou nápravou, kolmo na podélnou osu vozidla. Na jedné, pravé straně je místo stupnice vymežovací šipka, podle které se tyče při průmětu světelného znaku nastaví do základní polohy. Poté se na druhé, levé straně u výseče světelného znaku odečtou hodnoty na stupnici 1 a1a, vpředu $n = 25$, vzadu $n' = 22$. Sbíhavost je potom rozdíl $s = n' - n$. Je-li rozdíl záporný (viz příklad) jedná se o rozbíhavost [7].



Obrázek 21: Měření sbíhavosti optickým přístrojem

Některé přístroje se liší konstrukcí a umístěním panelů se stupnicemi. Světelný paprsek je možno promítat na stupnice umístěné vedle zadních kol, čímž zmenšíme nutný prostor před vozidlem. Další možností je umístění zrcadla před vozidlem, světelný paprsek se tak odráží a promítá na stupnici, umístěnou vedle vozidla.

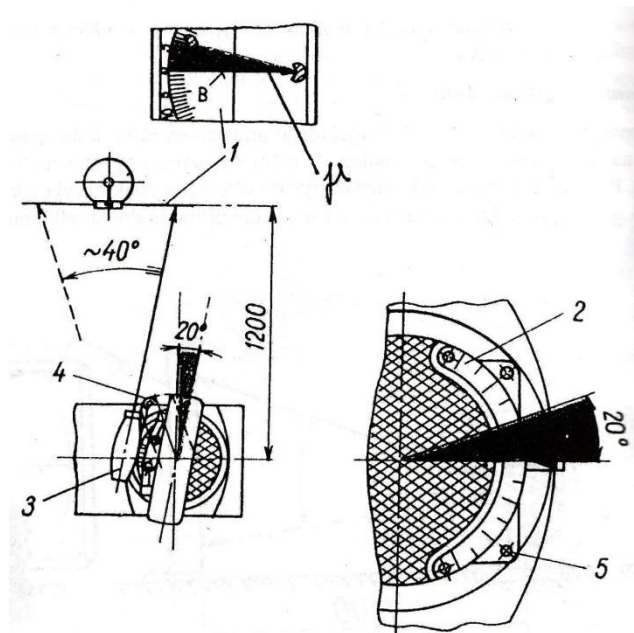
Hodnoty sbíhavosti mohou být udány nejen v mm, ale někteří výrobci tuto hodnotu udávají ve stupních. Naměřené hodnoty v mm je potom nutné přepočítat. Platí, že sbíhavost v mm, dělená vzdáleností dotkových plošek měřidla na ráfcích, je tangente úhlu α_s . V autoservisech se používají převodní tabulky (grafy), ze kterých lze snadno požadované hodnoty převedené veličiny vyčíst (viz příloha).

Seřizování sbíhavosti se provádí prodlužováním nebo zkracováním řídicích tyčí pomocí objímek s pravým a levým závitem.

4.3. Měření úhlu příklonu rejdového čepu

Postup měření znázorňuje obrázek 22. Panel i projektor zůstávají v poloze jako při měření odklonu kola. Kola je nutno zabrzdít, např. rozepržením pedálu brzdy o sedadlo. Pak se natočí na otočné plošině kolo i s plošinou o 20° do opačného rejdu. Projektor se postaví tak, aby se výseč světelného znaku promítala na horizontálu B k vrcholu vymežovací šípky a zajistí se. Následuje natočení kola na otočné plošině do opačného rejdu o 20° , celkem tedy 40° (velikost úhlů se může u různých přístrojů lišit), až se výseč světelného znaku dotkne příslušné boční stupnice v její horní polorovině, kde se odečte úhel příklonu rejdového čepu γ .

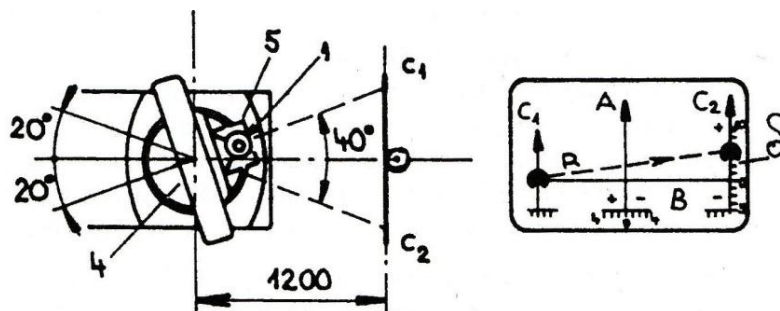
Měření úhlu příklonu rejdové osy se realizuje na každém kole zvlášť, protože na sobě podobně jako odklon kola nezávisí.



Obrázek 22: Měření příklonu rejdového čepu

4.4. Měření úhlu záklonu rejdového čepu

Provádí se podle obrázku 23. Projektor se natočí do svislé polohy a pomocí zrcátka se světelné paprsky z objektivu odkloní o 90° ve směru kolmo na podélnou osu vozidla. Panel se postaví rovnoběžně s podélnou osou vozidla ve vzdálenosti 1200 mm od středu točen. Proveďte se vynulování stupnic otočných plošin, panely se nastaví tak, že kontrolní výseč světelného znaku se kryje s průsečíkem svislice A a horizontály B. Natočením kola o 20° se kontrolní výseč posune na vymežovací šipku horizontály B. Musí se přesně upravit naklápěním zrcátka (nebo podle druhu zařízení posunem panelu se stupnicí ve svislém směru). Natočením kola do opačného směru o 20° (celkem o 40°) se výseč posune na úhlovou boční stupnici, kde se odečte úhel záklonu δ [7].



Obrázek 23: Měření úhlu záklonu rejdového čepu

4.5. Druhy měřících přístrojů

V současné době je k měření parametrů geometrie řízení možné používat přístroje:

- Mechanické
- Optické
- Elektronické
- Kombinované

Mechanické a optické přístroje byly již částečně rozebrány výše. U mechanických přístrojů jde v podstatě o velké přenosné úhломěry. Těmito přístroji nelze měřit příklon a záklon rejdového čepu. Pro omezenou přesnost se dnes již v takové míře nepoužívají (používají je např. stanice STK pro orientační měření).

Optické přístroje se stále ještě používají, i když jsou ve velké míře nahrazovány přístroji elektronickými. Existuje velké množství různých konstrukčních řešení optických přístrojů. Většina z nich je ale založena na stejném principu, popsaném výše.

S masovým uplatněním víceprvkových náprav ani optická zařízení nebyla schopna přesně změřit základní parametry, resp. některé veličiny nebylo možné změřit vůbec. Pro účel kontroly geometrie byly optické přístroje inovovány směrem k ryze elektronickým systémům. Majoritní podíla na trhu mají přístroje, které používají jako snímací prvky CCD senzory, a to v šestisenzorové nebo lépe osmisenzorové konfiguraci.

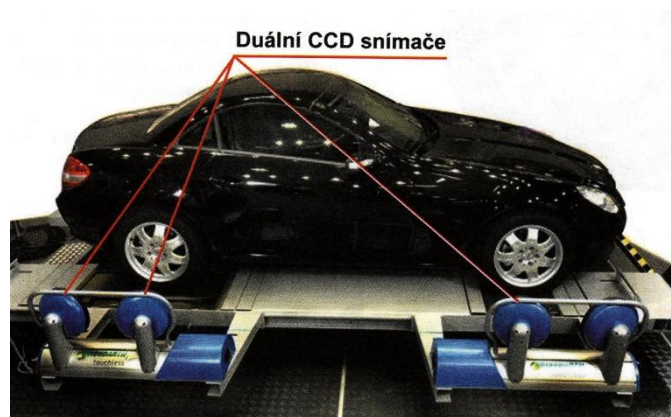
Možností využití počítačové techniky se výrazně zlepšil komfort pro obsluhu počínaje záznamem zákazníka v databázi konče interaktivním zobrazením ovládacího software. Celý systém umožňuje autokalibraci nebo i kontrolu rovinnosti stání pro geometrii. Program může být vybaven i modulem pro kompenzaci rozměrných spoilerů. Změn se dočkaly i točnice, které jsou dnes elektronické. Ty jsou propojeny do celého systému i varianty pro samořiditelné typy zadních náprav. Počítač elektronické geometrie pracuje s mnoha daty ve stejném okamžiku a je nutné parametry okamžitě zpracovávat. Propojování hlav kabely je nepraktické, proto je běžný infračervený nebo

radiový přenos mezi systémovou jednotkou a elektronickými hlavami. Příklad elektronického přístroje pro měření geometrie ukazuje obrázek 24.



Obrázek 24: Elektronický přístroj pro měření geometrie kol

Rozdíl v rychlosti provedení geometrie mezi optickými a elektronickými systémy není nikterak dramatický, protože i v případě elektronického zařízení je pracná montáž držáků pro hlavy. V reakci na tento požadavek výrobci zařízení vytvořili systémy, které pracují s vizuálními daty a díky tomu jsou bezdotykové (viz obr. 25). Duální CCD snímače vytvoří stereoskopický obraz a matematické algoritmy zpracují vizuální data na vektorové objekty pro rekognici tvaru, konstrukce a velikosti ráfků. Není tedy třeba na disky umisťovat držáky, což je v případě některých kol z lehkých slitin problematické [1].



Obrázek 25: Bezdotykový systém měření geometrie

5. Popis výroby modelu

Jak je již uvedeno v kapitole (3) „Návrh koncepčního řešení výukového modelu“, součástí této práce je výroba modelu, který má za úkol názorně prezentovat problematiku geometrie řízení. Před vlastní výrobou bylo nutné sestavit osnovu postupu prací a podle ní poté postupovat:

- Stanovení koncepce modelu
- Zhotovení výkresu
- Výroba jednotlivých dílů
- Sestavení modelu
- Umístění modelu na podkladovou desku
- Kalibrace měřícího zařízení
- Estetická úprava modelu

5.1. Stanovení koncepce modelu

První fází jakékoli práce musí vždy být rozbor možných koncepčních řešení a výběr nejvhodnější koncepce. Tuto fázi částečně již popisuje třetí kapitola „Návrh koncepčního řešení výukového modelu“. Jak již bylo řečeno, pro účely této práce byla po rozboru možných řešení a poradě s vedoucím práce vybrána jako nejvhodnější koncepce lichoběžníkové nápravy. Jako měřící zařízení byl vybrán systém optického přístroje s přímou projekcí, kde jako projektor má sloužit na trhu běžně dostupné laserové ukazovátko.

5.2. Zhotovení výkresu

Po výběru koncepčního řešení modelu bylo nutné zamyslet se nad jeho konkrétní podobou. Bylo nutno přihlídnout k omezujícím podmínkám, kterých, jak se ukázalo, nebylo málo. V první řadě to byl požadavek na přiměřenou náročnost výroby. Model musel být navržen tak, aby jeho výroba nebyla neúměrně složitá a drahá při dodržení dané koncepce a především funkčnosti. Konstrukce a výroba nápravy skutečného automobilu je velmi složitou a nákladnou záležitostí, z čehož plyne nutnost jejího značného zjednodušení. Další omezující podmínkou byla velikost modelu. Při příliš

malých rozměrech by nebylo možno dodržet podmínku jeho plné funkčnosti a názornosti, příliš velké rozměry potom naráží na problém s jeho manipulací. Rozměry také musí být navrženy s ohledem na rozměry dalších komponentů, které je nutné zakoupit a které mají standardizované velikosti (spojovací materiál, dostupné rozměry trubek a kulatin, velikost laserového ukazovátka, koleček apod.).

Po zvážení všech omezujících podmínek a propočítání všech rozměrů jsem zhotovil výkres, podle kterého měl být model vyroben (viz příloha). Po jeho zhotovení bylo jasné, že i přes maximální možné zjednodušení, kterého jsem se snažil dosáhnout, naprosto není reálné vyrobit model v domácích podmínkách. Pro výrobu jednotlivých dílů bylo nutné vyhledat služby specializovaných dílen.

5.3. Výroba jednotlivých dílů

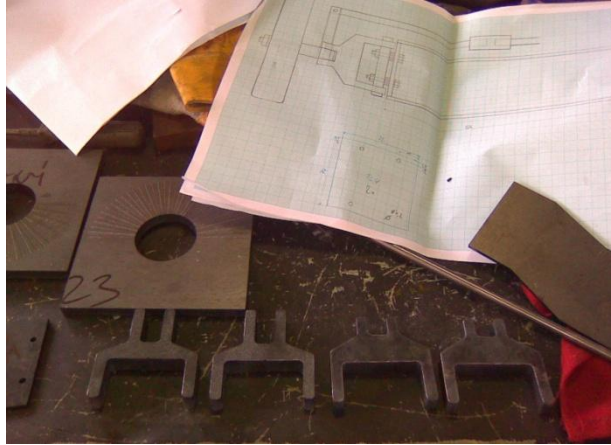
Po prostudování výkresu bylo nutné rozplánovat, jakým způsobem se budou jednotlivé díly vyrábět a z jakého materiálu. Z praktických a finančních důvodů jsem se rozhodl převážnou část dílů vyrobit z oceli. Ta je běžně dostupná za poměrně přijatelnou cenu a má dobré vlastnosti (co se týče obrábění, svařitelnosti, pevnosti apod.).

Před vlastní výrobou bylo nutno znovu zkontrolovat a případně poupravit jednotlivé rozměry a tvary dílů (k úpravě podle aktuálních informací a možností bylo nutné přistoupit ještě několikrát, proto přiložený výkres je spíše orientační a konečnému výrobku neodpovídá stoprocentně). Jeden z dílů, který bylo nutné zakoupit „hotový“, byly kolečka modelu. Z rozměrů dostupných koleček bylo nutné vycházet při výrobě dalších dílů. Některé z dostupných koleček ukazuje obrázek 26.



Obrázek 26: Výběr koleček

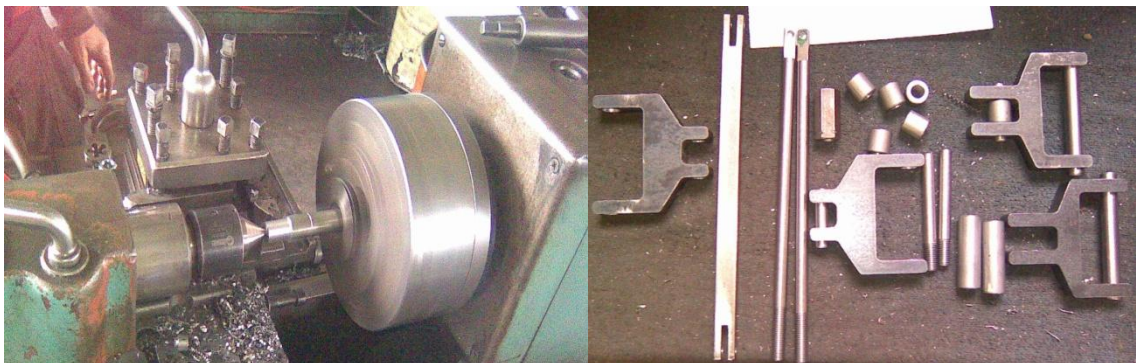
Díly, potřebné k sestavení modelu, jsem rozdělil do několika kategorií. První kategorii tvořily díly s poměrně složitým tvarem. Ty jsem se rozhodl nechat vyříznout pomocí laseru. Tato metoda se jevila jako nejschůdnější a zároveň slibovala dobrý výsledek. Některé takto vyrobené díly ukazuje obrázek 27.



Obrázek 27: Některé díly vyrobené pomocí laseru

I když takto vyrobené díly byly co do rozměrů poměrně přesné, přesto bylo nutné jejich další opracování. Především se jednalo o odstranění otřepů a hran, vyvrtání otvorů pro čepy a podobně.

Na výrobu dalších dílů byla potřeba specializované nástroje (soustruh, fréza), proto jsem musel navštívit strojírenskou dílnu. Bez tohoto vybavení by nebylo možné potřebné díly s požadovanou přesností vyrobit. Postup výroby a některé vyrobené díly ukazují obrázky 28 a 29 (další obrázky se nacházejí v přílohách).



Obrázek 28: Postup výroby a Obrázek 29: Některé vyrobené díly

Některé polotovary, vyrobené pomocí soustruhu, bylo nutné následně svařit. Na přesnost při svařování byl kladen zvláštní důraz, aby nedošlo k deformaci dílů a tím

snížené přesnosti výrobku. Svařování bylo proto svěřeno profesionální svářečské firmě. Na obrázku 30 je například vidět svařená nápravnice.



Obrázek 30: Svařená nápravnice

Další důležitý výrobek byl držák laserového projektoru. Bylo potřeba vymyslet takový systém, který umožňoval projekci světelného paprsku jednak rovnoběžně s kolem (k měření úhlu odklonu kola, příklonu rejdového čepu a sbíhavosti) a jednak kolmo ke kolu (k měření záklonu rejdového čepu). Jako nejjednodušší a zároveň nejpřesnější byla vybrána dále popsaná konstrukce. Pro průmět paprsku kolmo ke kolu (tedy paprsek prodlužuje osu kola) byla do osy kola navrtána díra o stejném průměru, jako má válcový plášť laserového projektoru. Do této díry potom byl projektor zasunut. K průmětu paprsku rovnoběžně s kolem (tedy kolmo na osu kola) byl zhotoven čep o tloušťce odpovídající tloušťce díry v ose kola a do tohoto čepu byla na jeho konci kolmo vyvrtána díra k zasunutí laserového projektoru (obr. 31).



Obrázek 31: Uchycení laserového projektoru

Značně složitým výrobkem jsou otočné posuvné plošiny, na kterých při měření geometrie spočívají kola automobilu. Tyto plošiny jsou jednak otočné kolem osy a jednak posuvné ve všech směrech. Po zapůjčení těchto plošin z autoservisu

a prostudování jejich konstrukce jsem došel k závěru, že se jedná o tak složitý výrobek, že jeho výroba by si pro svoji náročnost vyžádala objem peněžních prostředků, kterým jsem nemohl disponovat. Navíc jejich funkčnost nebyla zaručena, neboť automobil při zatáčení působí na plošiny značnou tíhovou silou, která vyvolá tření mezi kolem a plošinou. Toto tření je větší nežli odpor plošin vůči pohybu vyvolaný jejich vnitřním třením. Tato modelová konstrukce nápravy ovšem zdaleka takovou tíhovou silou na plošiny nepůsobila. Bylo proto nutné zkonstruovat plošiny, které by tento handicap braly v úvahu. Jako nejvhodnější bylo vybráno řešení používající axiálních ložisek. Na jednom axiálním ložisku spočívá kolo (je na něm také ryska pro odečet úhlu natočení). Toto ložisko je uloženo v plošině, na které jsou vyznačeny úhly natočení. Tato plošina je uložena na druhém, velkém, axiálním ložisku, čímž je umožněn její pohyb. Aby nedošlo ke zkreslení úhlů natočení, je této plošině umožněn pohyb pouze v jednom směru (viz obrázek 32 a 33).



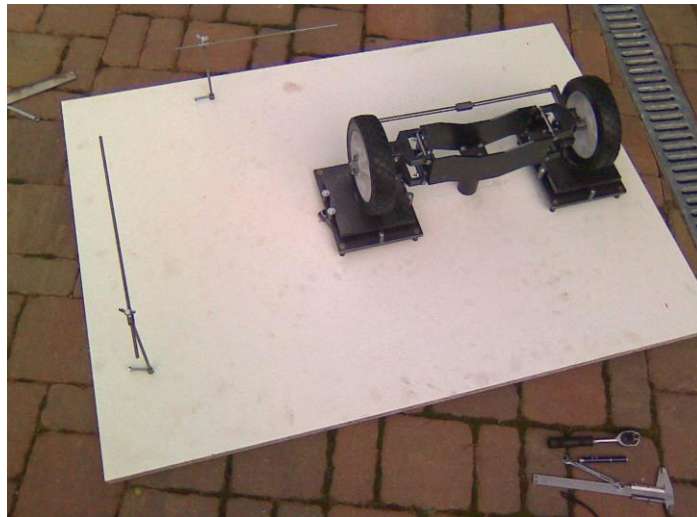
Obrázek 32: Výroba otočných plošin

5.4. Sestavení modelu

Po vyrobení jednotlivých dílů byl model sestaven. K tomu bylo nutné zakoupit veškerý spojovací materiál, jako jsou šroubky, podložky, matky, segerovy pojistky. Po vyzkoušení funkčnosti a případných drobných úpravách mohlo být přistoupeno k montáži modelu na připravenou podkladovou desku.

5.5. Umístění modelu na podkladovou desku

Pro vyrobený model byla připravena podkladová deska. Jako nejvhodnější materiál byla vybrána laminovaná dřevotřískka bílé barvy, která je nejméně rušivá. Rozměr desky musel brát v úvahu velikost modelu a potřebný prostor pro umístění měřících tabulí se stupnicemi. Po rozměření bylo přistoupeno k montáži modelu na desku. Posuvné plošiny byly na desku přišroubovány pomocí vrtů do dřeva. Nápravnice byla přišroubována pomocí šroubu M10 a ze spodní strany desky stažena matkou. Na spodní stranu desky byly také namontovány gumové podložky pro lepší stabilitu a manipulaci s deskou. Rozmístění modelu na desce ukazuje obrázek 33.



Obrázek 33: Umístění modelu na podkladovou desku

5.6. Kalibrace měřícího zařízení

Po připevnění modelu na podkladovou desku bylo nutné správně rozmístit měřící tabule. Zde je nutné vzít v úvahu fakt, že čím větší prostor je k dispozici, tudíž čím dále od nápravy jsou měřící tabule umístěny, tím větší rozlišovací schopnosti a názornosti je dosaženo. Vzhledem k omezené velikosti desky (také například z důvodu průchodnosti modelu běžnými dveřmi) však nebylo možné umístit tabule do příliš velké vzdálenosti od nápravy. Jak již bylo řečeno (kap. 3), model využívá v podstatě kopii skutečného měřícího zařízení zmenšeného v daném poměru. Zmenšená je tudíž i jeho rozlišovací schopnost. Dalším omezujícím faktem je nedokonalá projekce běžně

dostupného laserového ukazovátka, použitého jako projektoru (na tabuli nepromítá bod, ale kruh určitého průměru). Odečtené hodnoty je tudíž třeba brát spíše orientačně.

Měřicí tabule byly vyrobeny pomocí plotteru na pevný podklad, aby bylo zabráněno jejich prohýbání a aby byla dodržena potřebná přesnost. Na desku byly připevněny pomocí stavitelných stojanů (možno nastavovat ve vodorovném i svislém směru).

5.7. Estetická úprava modelu

Po nastavení modelu a zabezpečení jeho funkčnosti byl model opět rozebrán a jednotlivé jeho části povrchově upraveny (nabarvením). Důležité bylo, aby se barva nedostala do nežádoucích míst, jako třeba kluzných ploch čepů a ložisek nebo do závitů. Tím by se mohla výrazně zhoršit jeho funkčnost.

6. Závěr

Tato práce by měla sloužit všem, kteří se z jakýchkoli důvodů zajímají o problematiku geometrie řízení automobilu. Jejím cílem bylo tuto problematiku zájemcům co možná nejdůstojněji přiblížit a pomocí vyrobeného modelu názorně prezentovat.

V první části práce je nejdříve vysvětlen pojem řízení automobilu spolu s požadavky na něj kladenými. Dále jsou charakterizovány jednotlivé prvky geometrie řízení a kol. Jedná se především o úhel odklonu kola, příklon rejdové osy, záklon rejdové osy, resp. závlek, sbíhavost kol a poloměr rejdu. Pojem je vždy vysvětlen, objasněn význam jeho užití v geometrii řízení a přiblíženy jednotlivé pohledy na jeho optimální hodnoty. Na tuto část navazuje čtvrtá kapitola, která se zabývá měřením jednotlivých prvků geometrie řízení. Je zde pojednáno o úkonech a procesech, které je nutno vykonat při měření a nastíněny způsoby měření jednotlivých hodnot. Výklad se zaměřuje především na měření pomocí optickomechanických přístrojů, neboť právě tento princip je použit na vyrobeném modelu. V závěrečné části jsou ale popsány i ostatní druhy měřících zařízení.

Druhá část práce je zaměřena na samotnou výrobu výukového modelu podle stanovené osnovy. Je zde ukázáno celkové koncepční řešení modelu i důvod jeho výběru a jsou zde přiblíženy způsoby výroby dílčích komponent, jakož i princip a umístění měřícího zařízení. Je nutné podotknouti, že výroba takového modelu není nikterak jednoduchou a nenákladnou záležitostí, což ovšem bylo jasné již od samého počátku.

Celá práce je doplněna obrázky v textu, které mají za úkol názorně prezentovat a přiblížit vysvětlovaný problém. Myslím si, že práce dává zájemcům ucelenou představu o daném tématu a může být při studiu vhodnou pomůckou.

Literatura

1. ČUPERA, J., ŠTĚRBA, P. *AUTOMOBILY Diagnostika motorových vozidel I*. 1. vyd. Brno: Avid, s.r.o., 2007. 195 s. ISBN 978-80-903671-9-7
2. JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B. *AUTOMOBILY I Podvozky* 3. vyd. Brno: Avid, s.r.o., 2004. 211 s. ISBN 80-1159-646
3. KLŮNA, J., KOŠEK, J. *Příručka opraváře automobilů* 3. vyd. Brno: Littera, 1995. 302 s. ISBN 80-85763-06-0
4. MOČKOŘ, R. *Motorové vozidla II* 3. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU v Bratislave, 2006. 301 s. ISBN 80-227-2363-0
5. POHL, R. *Dopravní prostředky* 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1998. 351 s. ISBN 80-01-01811-3
6. VALA, M., TESAŘ, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. 229 s. ISBN 80-7194-503-X
7. VÉMOLA, A. *Diagnostika automobilů I* 1. vyd. Brno: Littera, 2006. 128 s. ISBN 80-85763-31-1
8. VLK, F. *Podvozky motorových vozidel* 2. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 392 s. ISBN 80-239-0026-9

Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma řízení pootočením celé nápravy a pootočením předních kol.....	13
Obrázek 2. Názvosloví řízení.....	14
Obrázek 3. Kinematika řízení.....	15
Obrázek 4. Lichoběžník řízení.....	16
Obrázek 5: Vliv polohy kola na sbíhavost.....	16
Obrázek 6: Vliv akcelerace a brzdění na sbíhavost kol.....	17
Obrázek 7: Základní parametry geometrie kola.....	18
Obrázek 8: Úhel odklonu kola.....	19
Obrázek 9: Odvalování kol při kladném odklonu.....	19
Obrázek 10: Příklon rejdové osy.....	21
Obrázek 11: Určení vratného momentu způsobeného příklonem rejdové osy.....	22
Obrázek 12: Záklon rejdové osy: a) tuhá náprava b) lichoběžníková náprava c) náprava McPherson.....	23
Obrázek 13: Účinek závleku (kolečko servírovacího stolku).....	23
Obrázek 14: Záklone rejdové osy (bokorys a půdorys).....	24
Obrázek 15: Sbíhavost kol (a) a rozbíhavost kol (b).....	26
Obrázek 16: Poloměr rejdu a) kladný b) záporný c) nulový.....	27
Obrázek 17: Schema výukového modelu.....	30
Obrázek 18: Varianty zatížení vozidla při kontrole geometrie.....	31
Obrázek 19: Měření odklonu kola.....	33
Obrázek 20: Jednoduché zařízení pro měření sbíhavosti kol.....	35
Obrázek 21: Měření sbíhavosti optickým přístrojem.....	35
Obrázek 22: Měření příklonu rejdového čepu.....	37
Obrázek 23: Měření úhlu záklonu rejdového čepu.....	37
Obrázek 24: Elektronický přístroj pro měření geometrie kol.....	39
Obrázek 25: Bezdotykový systém měření geometrie.....	39
Obrázek 26: Výběr koleček.....	41
Obrázek 27: Některé díly vyrobené pomocí laseru.....	42
Obrázek 28: Postup výroby a Obrázek 29: Některé vyrobené díly.....	42
Obrázek 30: Svařená nápravnice.....	43
Obrázek 31: Uchycení laserového projektoru.....	43
Obrázek 32: Výroba otočných plošin.....	44
Obrázek 33: Umístění modelu na podkladovou desku.....	45

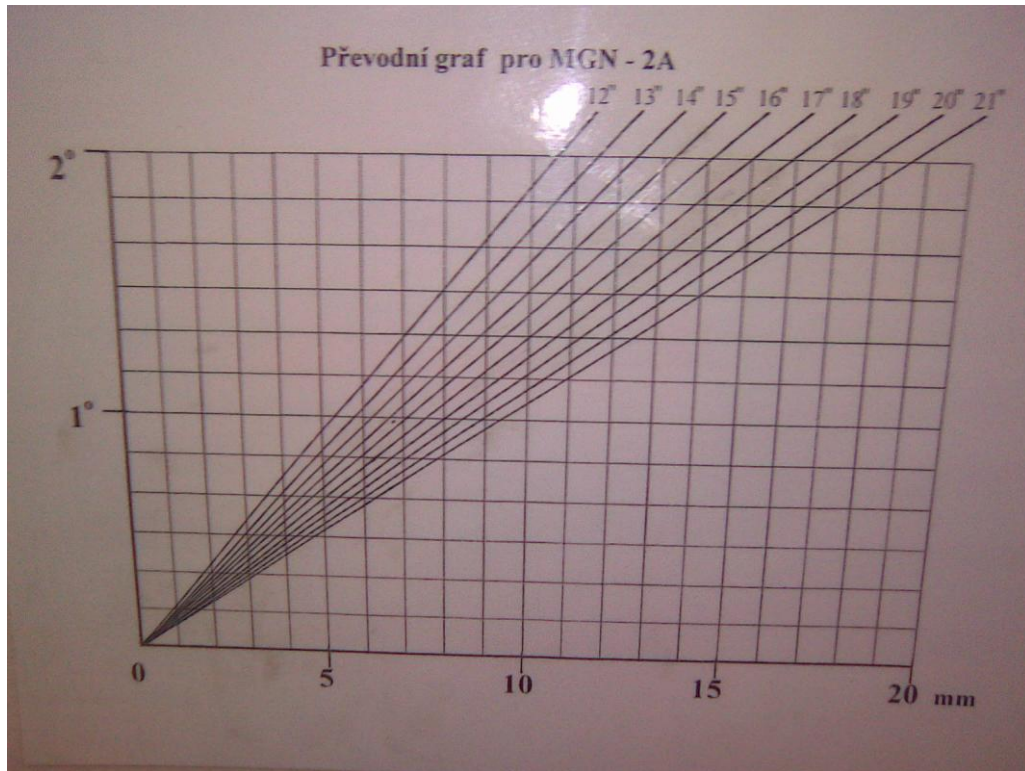
Seznam příloh

1. Převodní graf pro sbíhavost (mm – stupně)
2. Výkresy
3. Postup výroby

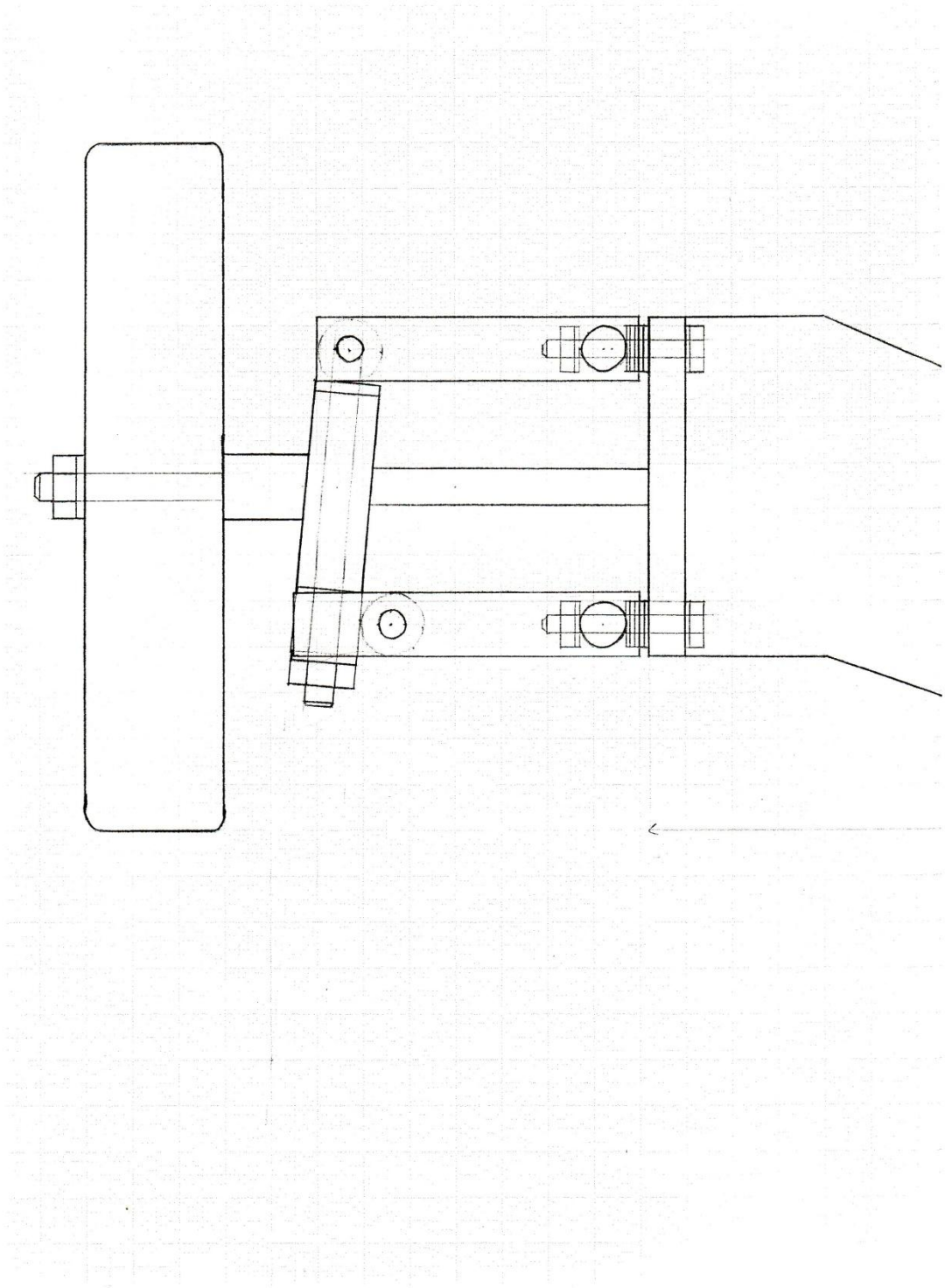
ÚDAJE PRO KNIHOVNICKOU DATABÁZI

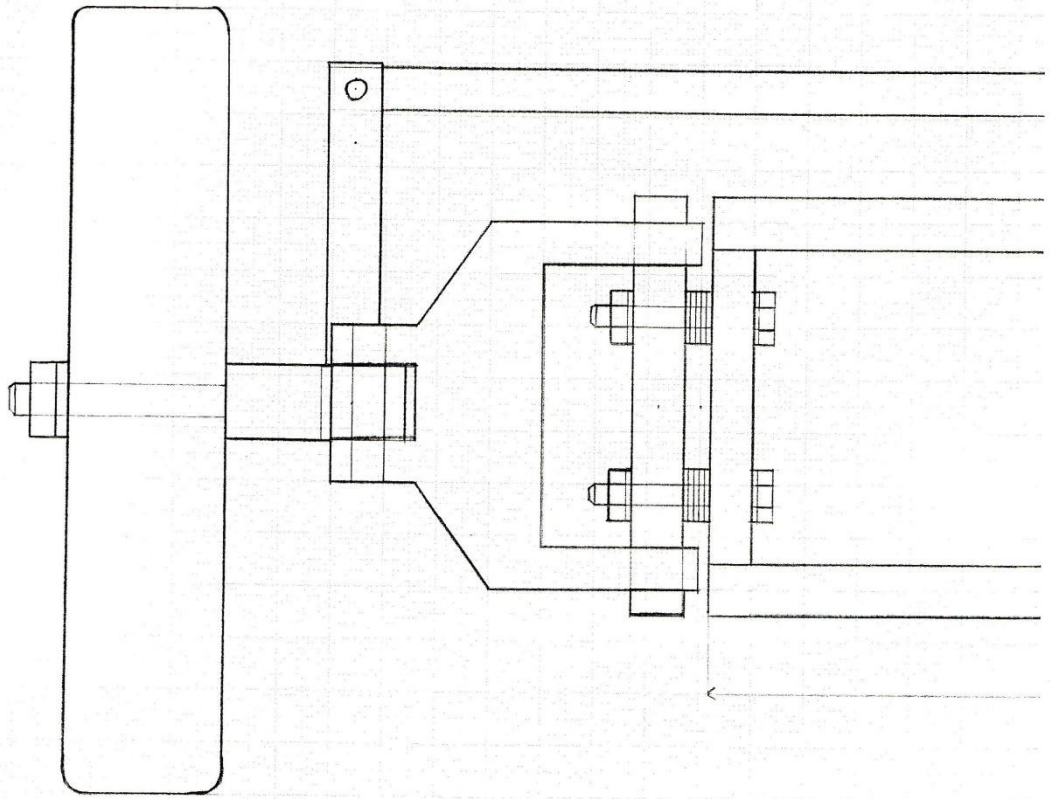
Název práce	Návrh a zhotovení výukového panelu geometrie řízení
Autor práce	Ing. Marek Novotný
Obor	Dopravní prostředky – silniční vozidla
Rok obhajoby	2010
Vedoucí práce	Ing. Miroslav Bodlák
Anotace	úvod, charakteristika jednotlivých prvků geometrie řízení a kol, návrh koncepčního řešení výukového panelu (modelu), měření jednotlivých prvků geometrie řízení, popis výroby panelu (modelu), závěr
Klíčová slova	Geometrie řízení, odklon kol, záklon rejdrového čepu, příklon rejdrového čepu, sbíhavost, výukový panel

1. Převodní graf pro sbíhavost (mm – stupně)



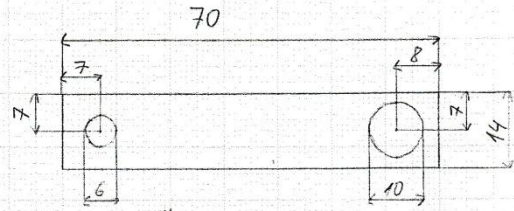
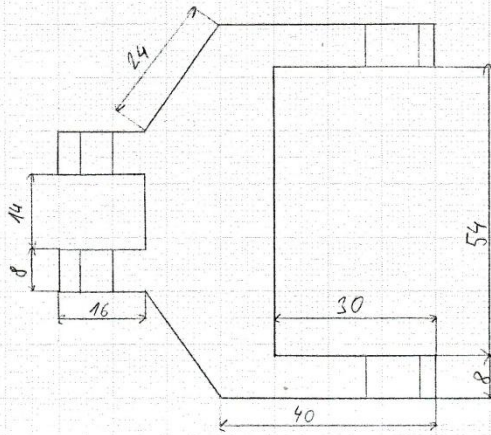
2. Výkresy



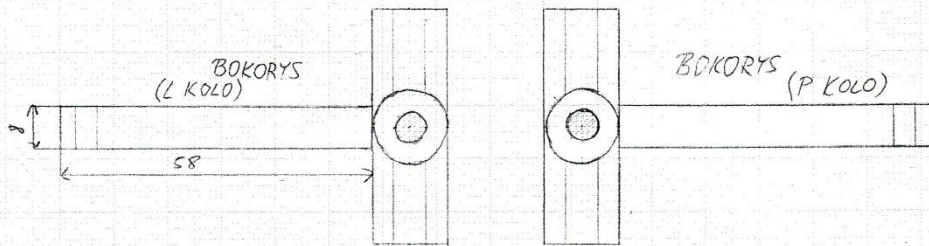
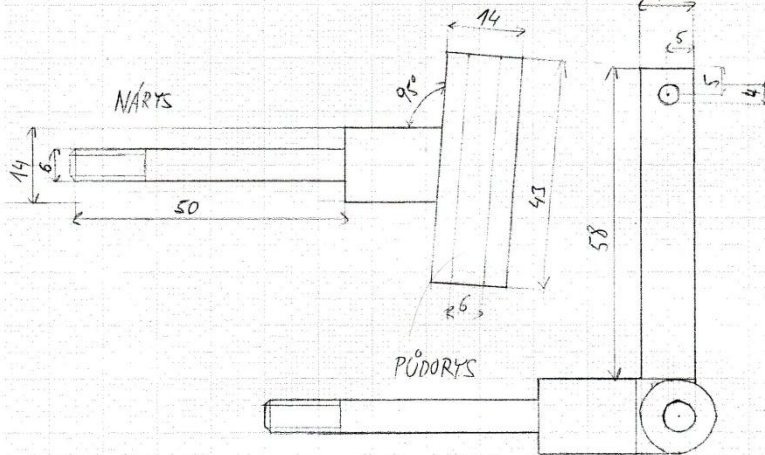
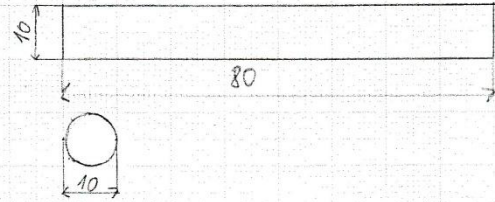


VŠE 2x (L a P STRANA)

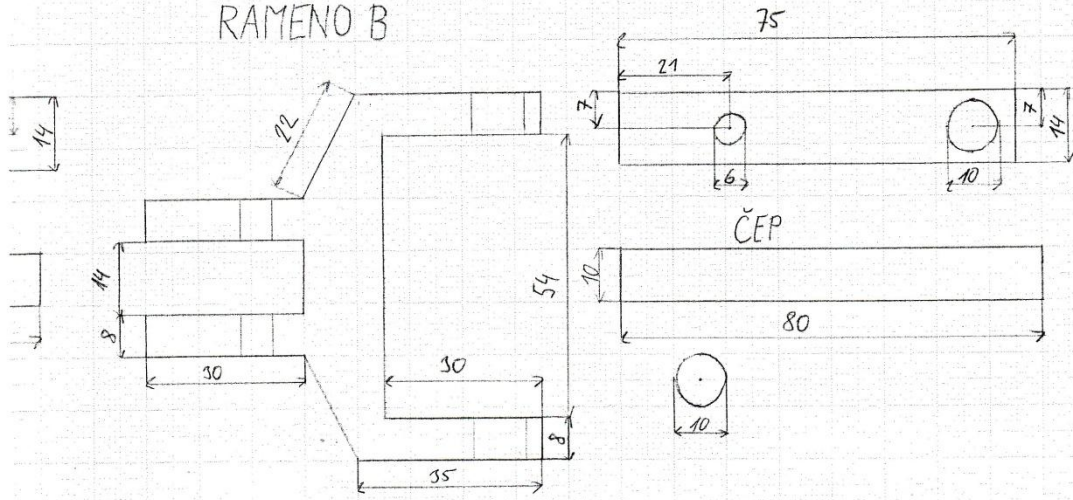
RAMENO A



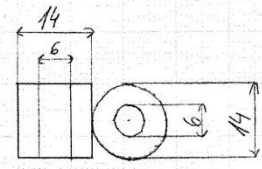
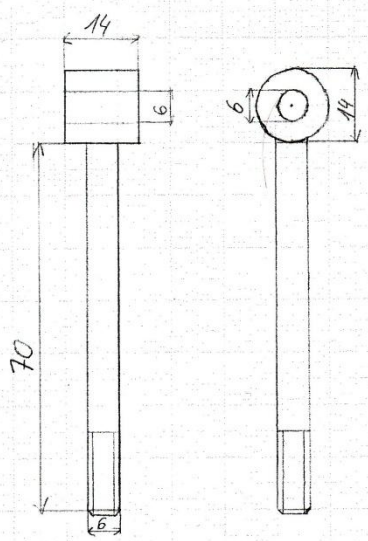
ČEP



RAMENO B



ČEP



3. Postup výroby

