



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ANALÝZA KINEMATIKY ZAVĚŠENÍ MACPHERSON

MACPHERSON SUSPENSION KINEMATICS ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Trnková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Studentka: **Lucie Trnková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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

Analýza kinematiky zavěšení MacPherson

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ačkoliv je konstrukce zavěšení typu MacPherson poměrně jasně dána, umístěním jednotlivých kinematických bodů (kloubů) lze významně ovlivnit kinematické charakteristiky a tím i chování celého vozidla. Na základě dat získaných od vedoucího práce by měl student stanovit vliv polohy jednotlivých kinematických bodů na základní kinematické charakteristiky zavěšení typu MacPherson.

Cíle bakalářské práce:

Základní popis zavěšení typu MacPherson.
Detailní analýzy vlivu polohy bodů na kinematické charakteristiky.
Shrnutí poznatků z kinematické analýzy zavěšení typu MacPherson.

Seznam doporučené literatury:

DIXON, John. Tires, suspension and handling. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1996. 621 s. ISBN 1-56091-831-4.

REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassis. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

GILLESPIE, Thomas. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas. Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem polohy významných bodů zavěšení MacPherson na kinematické charakteristiky. První část obsahuje popis vybraných parametrů zavěšení, jejich vlivu na jízdní vlastnosti automobilu a popis zavěšení MacPherson. Dále je na základě poskytnutých dat vypracovaná detailní analýza vlivu kinematických bodů na jednotlivé charakteristiky. V závěru jsou veškeré poznatky přehledně shrnuty tak, aby mohly sloužit jako návod pro změnu kinematických charakteristik.

KLÍČOVÁ SLOVA

zavěšení MacPherson, úhel odklonu, úhel příklonu rejdové osy, poloměr rejdu, úhel záklonu rejdové osy, závlek, sbíhavost, výška středu klopení karoserie, převod odpružení, anti-dive, anti-lift, kinematická analýza

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the influence of the position of significant points of MacPherson strut on kinematic characteristics. The first part contains a description of selected suspension parameters, their impact on the driving properties of the car, and a description of MacPherson strut. Furthermore, based on provided data, is prepared a detailed analysis of the influence of kinematics points to individual characteristics. In conclusion, all findings are synoptically summarized so that they can serve as a manual for change of the kinematic characteristics.

KEYWORDS

MacPherson strut, camber angle, kingpin inclination angle, scrub radius, caster angle, trail, toe-in/-out, roll center high, motion ratio of suspension, anti-dive, anti-lift, kinematic analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRNKOVÁ, Lucie. *Analýza kinematiky zavěšení MacPherson*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124187>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 54 s. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. června 2020

.....

Lucie Trnková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce panu Ing. Petru Hejtmánkovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a podnětné nápady, které mi při zpracovávání práce poskytoval. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům, přátelům a především příteli, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

OBSAH

Úvod	9
1 Parametry geometrie kol.....	10
1.1 Úhel odklonu kola	10
1.2 Příklon rejdové osy.....	11
1.3 Poloměr rejdu	12
1.4 Záklon rejdové osy	13
1.5 Závlek	14
1.6 Úhel sbíhavosti	15
1.7 Další kinematické parametry	15
2 Zavěšení MacPherson.....	19
3 Kinematická analýza.....	20
3.1 Získaná data.....	20
3.2 Analýza odklonu.....	21
3.3 Analýza příklonu rejdové osy.....	24
3.4 Analýza poloměru rejdu	27
3.5 Analýza záklonu rejdové osy	30
3.6 Analýza závleku	32
3.7 Analýza sbíhavosti	35
3.8 Analýza výšky středu klopení karoserie.....	38
3.9 Analýza převodu odpružení.....	41
3.10 Analýza anti-dive	44
3.11 Analýza anti-lift.....	46
Závěr	49
Seznam použitých zkratk a symbolů	53

ÚVOD

Jednou z nejdůležitějších součástí automobilu je zavěšení kol. V dnešní době máme mnoho typů zavěšení, které se méně či více liší svojí konstrukcí. Rozdílné typy, také můžeme kombinovat pro přední a zadní nápravu. Jednou z možností, jak definovat vlastnosti daného zavěšení je pomocí parametrů geometrie kol, jejichž hodnota se odvíjí od konstrukce zavěšení, neboli přesněji od polohy kinematických bodů (kloubů) zavěšení. Tyto parametry ovlivňují jízdní vlastnosti vozidla, jednoduchost řízení či bezpečnost. Není však možné určit jedno nastavení, které by bylo vhodné pro všechny jízdní podmínky. Volba nastavení závisí na využití vozidla, a jaké požadavky by mělo splňovat např. pro závodní účely, osobní automobil. Z toho důvodu je dobré vědět, jakým způsobem dosáhneme požadované změny hodnoty parametru. Parametry geometrie kol nemají během jízdy, respektive s měnícím se zdvihem kola, konstantní hodnotu, proto se udávají kinematické charakteristiky, což je závislost některého z parametrů na zdvihu kola.

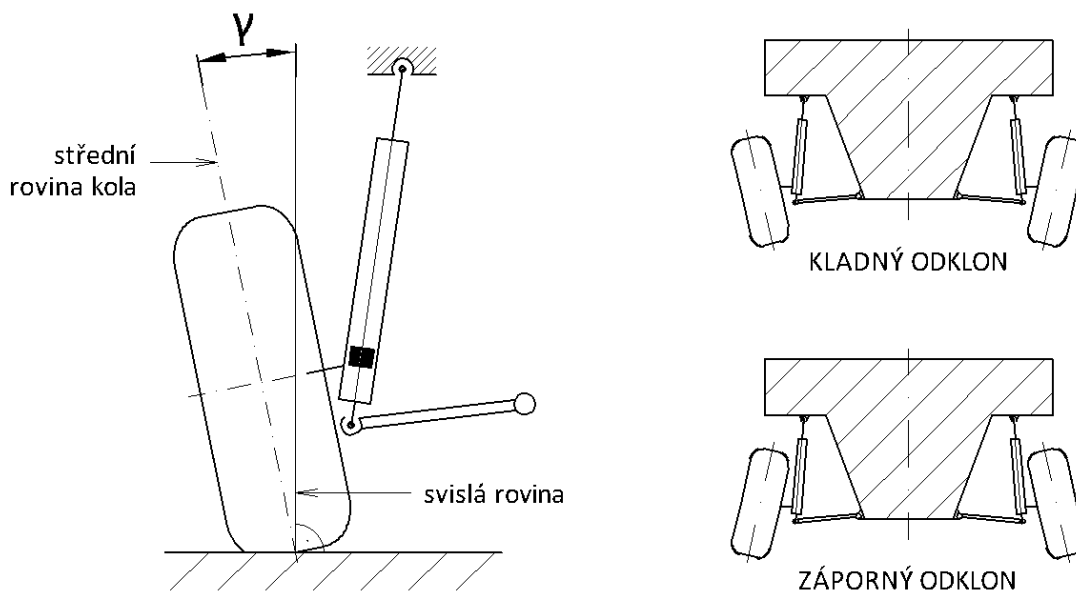
Cílem práce je tedy analyzovat vliv významných bodů zavěšení na kinematické charakteristiky. Pro analýzu bylo zvoleno zavěšení MacPherson, jelikož je to běžně používaný typ zavěšení. V práci je uveden jeho popis a vybrané kinematické body, které byly sledovány. Každá charakteristika je analyzována z hlediska jejího chování po jednotlivé změně polohy každého bodu ve všech osách. Výsledkem je ucelený přehled citlivosti kinematických charakteristik na změnu polohy důležitých bodů zavěšení. Tudíž v případě, kdy je požadována změna některé charakteristiky, je možné rychle a jednoduše určit jaký bod je třeba posunout a v jakém směru.

1 PARAMETRY GEOMETRIE KOL

Geometrií kol se rozumí geometrické odchylky řízených kol a rejdové osy vůči dané referenci. Tyto odchylky mají velký vliv na jízdní vlastnosti. Jejich správné nastavení slouží k tomu, aby řízení vozidla během zatáčení i přímé jízdy bylo pro řidiče komfortní, vozidlo bylo stabilní a kola se správně odvalovala. Definice jednotlivých parametrů a jejich vliv na jízdní vlastnosti jsou uvedeny v této kapitole. [1]

1.1 ÚHEL ODKLONU KOLA

Odklon kola γ je úhel mezi střední rovinou kola a svislou osou vozidla. Je uvažován jako kladný, pokud se horní část kola odklání od vozidla a záporný, když se přiklání k vozidlu (viz Obr. 1). [1]



Obr. 1 Úhel odklonu kola (překresleno dle [1])

Stejně jako úhel směrové úchylky se i odklon může podílet na vzniku boční síly, ačkoliv vliv směrové úchylky je podstatně větší. Nicméně boční síla může vznikat, i když je odklon a úhel směrové úchylky nulový. Obecně lze říct, že záporné nebo mírně kladné hodnoty odklonu na přední nápravě přispívají k přetáčivosti (pro potřebnou boční sílu stačí menší úhel směrové úchylky), naopak na zadní nápravě k nedotáčivosti. [2]

Úhel odklonu nezůstává během jízdy vždy stejný. Ke změně u nezávislého zavěšení dochází naklápěním karoserie při průjezdu zatáčkou a také propružením. Změna odklonu vyvolává neklid řízení a může zvýšit opotřebení pneumatik. Na druhou stranu má i svá pozitiva, především při zatáčení, kdy kompenzuje naklonění karoserie. [1]

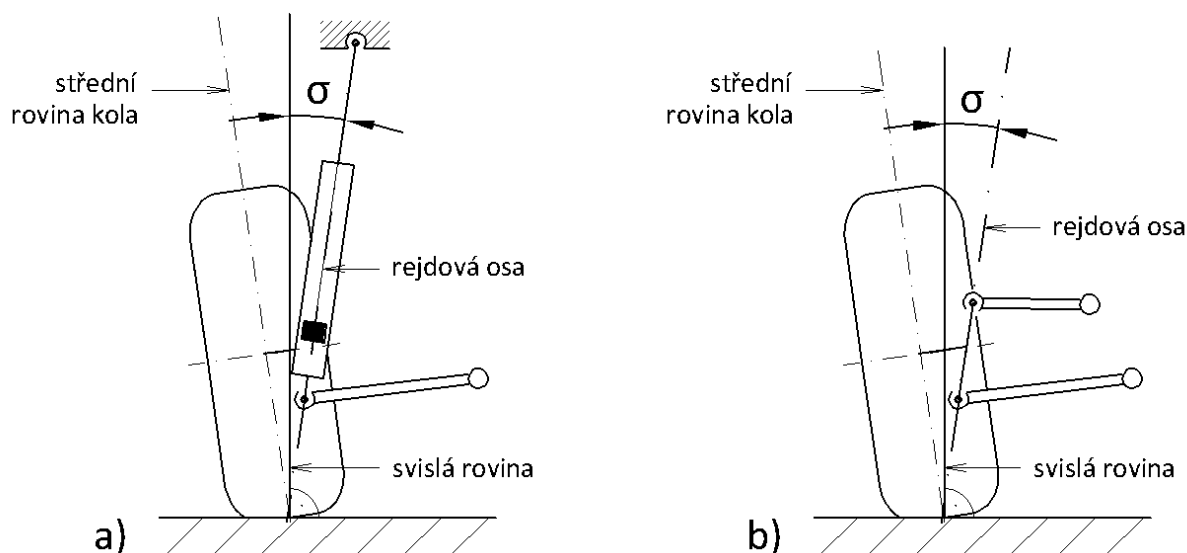
Dřívější doporučená hodnota odklonu $+2^\circ$ až $+3^\circ$, se dnes používá pouze pro zemědělská vozidla. Její smysl spočívá v eliminování vůlí v ložiskách otočného čepu. Pro silniční vozidla je jakákoliv vůle v zavěšení nežádoucí. Způsobovala by hluk a narušovala přímou jízdu. Kladný odklon také způsobuje, že má kolo tendenci se odvalovat po kružnici a ve styku s vozovkou tvoří kuželovou plochu. Pokud je však kolo dokonale uloženo, prokluzuje po vozovce a zvyšuje se tím opotřebení pneumatik. [1]

V současnosti je snahou u vozidel docílit malého záporného odklonu, díky kterému mohou vnější kola při zatáčení přenášet maximální boční sílu a zajišťovat tak jízdní stabilitu. Odklon kola přejíždějící přes hrbol by se měl měnit na záporný. Naopak při poklesu kola by měl přecházet spíše do kladných hodnot. [3]

Změna odklonu při zatáčení závisí na příklonu a záklonu rejdové osy. Kladný příklon zvyšuje odklon na vnějším kole. Kladný záklon zvětšuje záporný odklon vnějšího kola a kladný vnitřního kola. Kombinací těchto dvou vlivů je dosaženo příznivé korekce odklonu, kdy příklon snižuje záporný odklon na vnějším kole získaný záklonem. [4]

1.2 PŘÍKLON REJDOVÉ OSY

Úhel, který svírá rejdová osa se svislicí, promítnutý do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla se nazývá příklon rejdové osy σ (viz Obr. 2). [1]



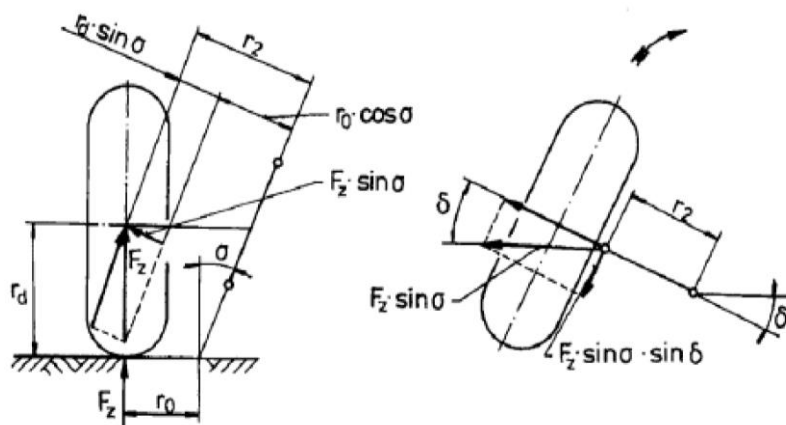
Obr. 2 Úhel příklonu a průběh rejdové osy pro různé typy zavěšení: a) MacPherson; b) lichoběžníková náprava (překresleno dle [1])

Příklon zajišťuje samočinné narovnávání řízených kol do polohy pro přímou jízdu. V důsledku otáčení řízených kol kolem rejdové osy se kola zvedají a klesají. Práce nutná k takovému pohybu musí být vykonána řidičem během řízení kol. Jakmile řidič po zatáčení uvolní volant, kola se samovolně vracejí do původní polohy pro přímou jízdu. To je zajištěno působením vratného momentu. S větším úhlem příklonu se zvětšuje vratný moment, a proto je třeba vynaložit větší úsilí pro natočení volantu. [1]

Celkový vratný moment řízených kol vlivem příklonu, dle [1] str. 231:

$$M_{\sigma} = 2 \cdot F_z \cdot \sin \sigma \cdot \sin \delta_s \cdot r_2 = G_p \cdot \sin \sigma \cdot \sin \delta_s \cdot r_2, \quad (1)$$

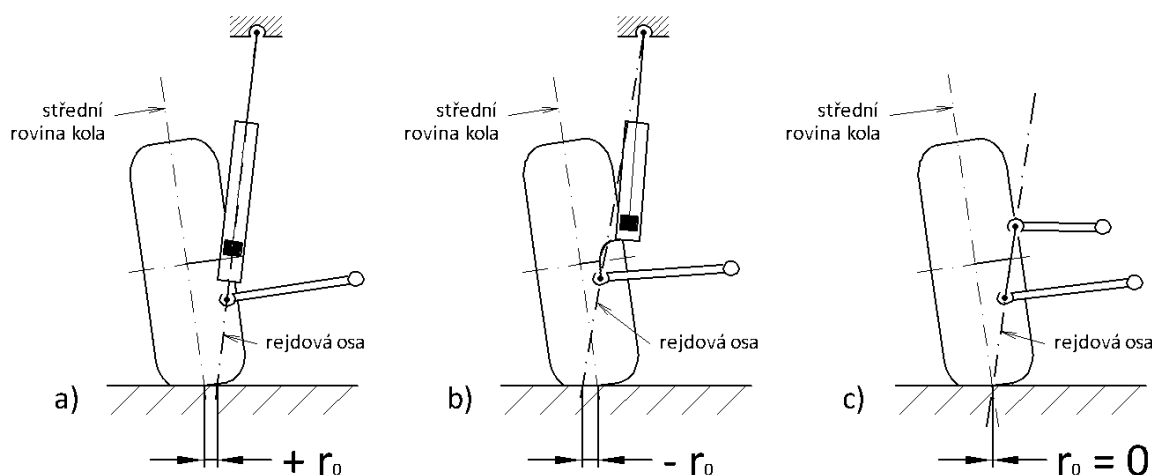
kde F_z je radiální zatížení kola, r_2 je rameno, na kterém působí složka síly $F_z \cdot \sin \sigma$ vzhledem k rejdové ose, G_p je statické zatížení nápravy a δ_s je střední úhel rejdu (viz Obr. 3).



Obr. 3 Způsob určení vratného momentu vlivem příklonu rejdové osy [1]

1.3 POLOMĚR REJDU

Poloměr rejdou r_0 je vzdálenost mezi středem styku pneumatiky a průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky, promítnutá do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Leží-li průsečík blíže středu vozidla než styk pneumatiky je poloměr rejdou kladný (viz Obr. 4). [1]

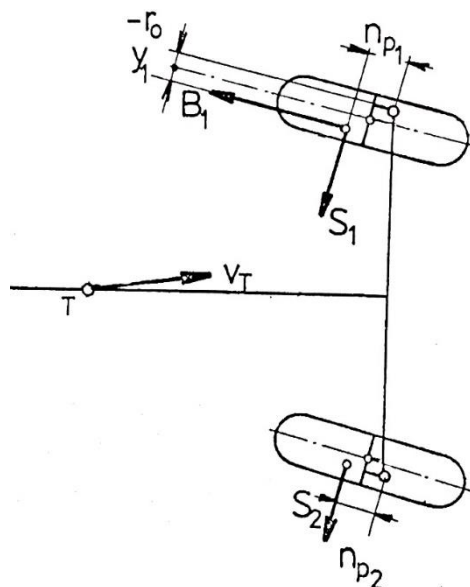


Obr. 4 Poloměr rejdou a) kladný; b) záporný; c) nulový (překresleno dle [1])

Vratný moment závisí nejenom na velikosti příklonu, ale také poloměru rejdou. Čím větší kladný poloměr, tím větší moment. U osobních automobilů se volí buď velký poloměr rejdou a malý úhel příklonu ($r_0 = 60 \text{ mm}$, $\sigma = 5^\circ$) nebo záporný poloměr rejdou a velký úhel příklonu ($r_0 = -10 \text{ mm}$ až -18 mm , $\sigma = 14^\circ$ až 18°). [1]

Poloměr rejdou způsobuje, že na kolo působí moment, který ho otáčí kolem rejdové osy. Tento moment může vznikat důsledkem působení brzděné nebo hnací síly. Kola jsou tlačena k sobě, což snižuje vůli v řízení a zároveň zmírňuje neklid řízení. Moc velký poloměr rejdou (nad 40 mm u osobních automobilů) však také není vhodný. [1]

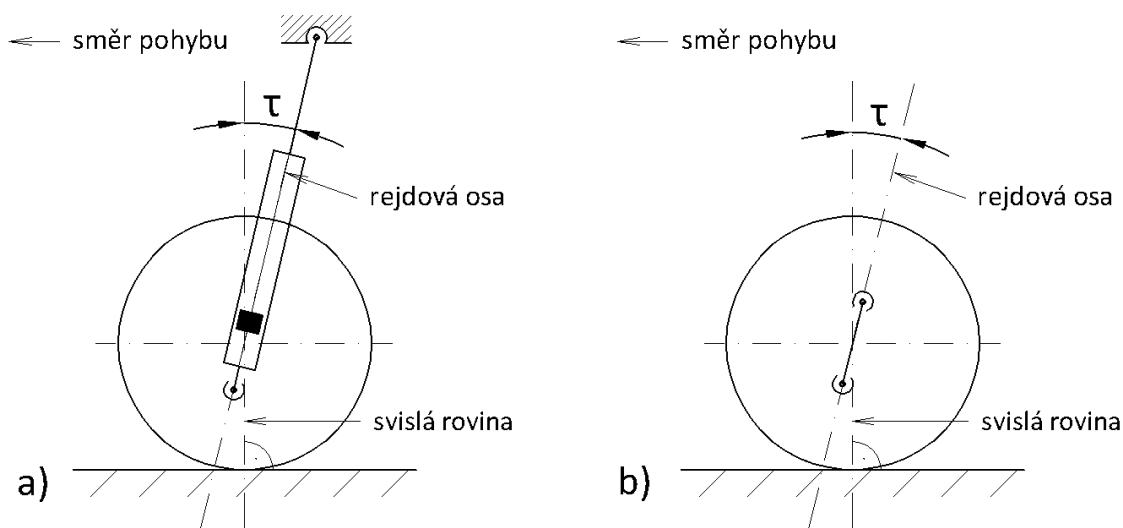
Vozidla s hnanou přední nápravou typu MacPherson mívají často záporný poloměr rejdu. V případě, že hnací nebo brzdící síla působí rozdílně na levé a pravé kolo, záporný poloměr rejdu má stabilizující efekt na řízení. Dle Obr. 5 nesouměrná síla B_1 vytváří moment $B_1 \cdot (y_1 + r_0)$ natáčející kola kolem rejdové osy. Od bočních sil S_1 , S_2 vznikají momenty $S_1 \cdot n_{p1} + S_2 \cdot n_{p2}$ působící v opačném smyslu. Kola jsou natáčena tak dlouho, dokud mezi momenty nenastane rovnováha a kola zůstanou ve stabilní poloze. [1]



Obr. 5 Vliv nesouměrné brzdící síly na řízení pro záporný poloměr rejdu [1]

1.4 ZÁKLON REJDOVÉ OSY

Průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla je záklon rejdové osy τ (viz Obr. 6). Je kladný pokud se rejdová osa naklání dozadu a záporný, když se naklání dopředu, pak je to předklon. [1]



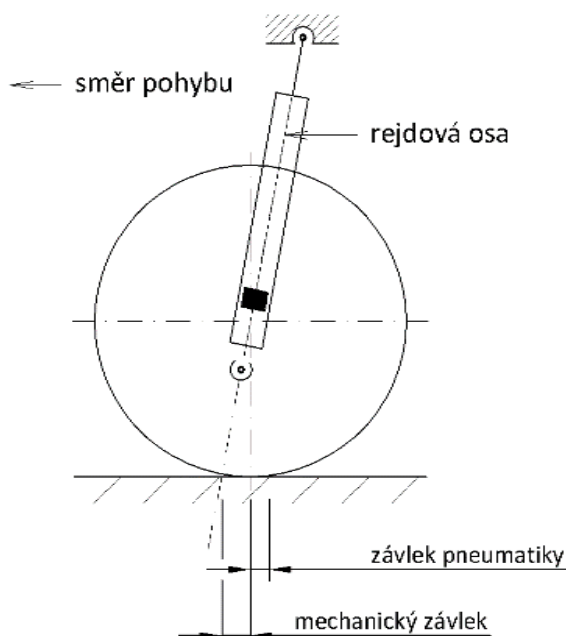
Obr. 6 Záklon rejdové osy a) MacPherson; b) lichoběžníková náprava (překresleno dle [1])

Záklon rejdové osy má stabilizující účinek na řízení, kdy napomáhá navracet kola do přímého směru. Není vhodné, aby byl však příliš velký, jelikož zvyšuje sílu potřebnou k řízení. [5]

1.5 ZÁVLEK

Mechanický závlek n_k je vzdálenost mezi středem styku pneumatiky a průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky, promítnutá do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla. Je kladný pokud se průsečík nachází před středem styku pneumatiky a záporný, když je za ním. Vytvořit mechanický závlek je možné buď záklonem rejdové osy, nebo posunutím rejdové osy dopředu. [1]

Kromě mechanického závleku má na jízdu vozidla vliv také závlek pneumatiky, což je vzdálenost mezi středem styku pneumatiky a působištem boční síly. Součet těchto dvou závleků je označován jako celkový závlek (viz Obr. 7). Mechanický závlek avšak tvoří dominantní prvek vytvářející vratný moment. [3]



Obr. 7 Mechanický závlek a závlek pneumatiky (překresleno dle [3])

Vliv závleku lze nejjednodušeji vysvětlit na principu otočného kolečka kancelářské židle. Kolo je vlečeno za průsečíkem rejdové osy s vozovkou a zarovnává se tak do směru jízdy. Závlek tvoří rameno, na kterém působí boční síla a vzniká tak vyrovnávací moment. Tento moment otáčí rovinu kola do směru pohybu, snižuje úhel směrové úchylky, čímž napomáhá ke stabilitě vozidla. Větší závlek také znamená nutnost použití větší síly pro zatočení kol. [3]

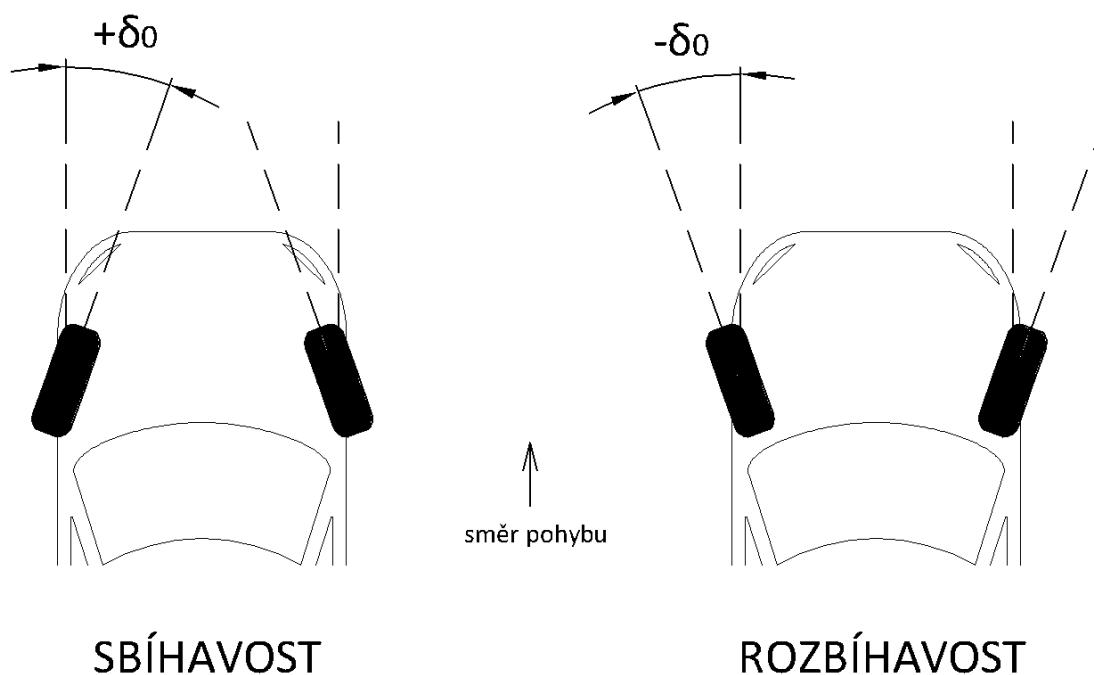
Zvolení vhodné geometrie sníží nutnou námahu řidiče při řízení a umožní řídit i velmi těžké vozidlo bez posilovače řízení. Taková geometrie zavěšení by měla malý příklon a záklon rejdové osy, minimální poloměr rejdou a malý závlek. [3]

1.6 ÚHEL SBÍHAVOSTI

Úhel sbíhavosti δ_0 je dán průmětem úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky. Pokud se přední část kola přiklání k podélné ose vozidla, kolo je sbíhavé (sbíhavost je kladná). Naopak pokud se odklání, tak je kolo rozbíhavé (sbíhavost je záporná) (viz Obr. 8). [1]

Kola vozidla jsou během jízdy kvůli působení valivých odporů, poddajnosti řízení a zavěšení tlačena do rozbíhavosti. Sbíhavost tak zajišťuje paralelní odvalování kol při přímé jízdě. [1]

Velký úhel sbíhavosti zvyšuje opotřebení pneumatik a rostou pasivní odpory, tudíž by kola měla směřovat přímo. Při kladné sbíhavosti se opotřebovává vnější strana pneumatik a při záporné sbíhavosti se více opotřebovává vnitřní strana. Kladná sbíhavost na přední nápravě snižuje přetáčivost, oproti tomu záporná sbíhavost snižuje nedotáčivost. Pro zadní nápravu je vliv na jízdní vlastnosti opačný. Osobní automobily proto mívají malou kladnou sbíhavost, zatímco závodní zápornou. [6]



Obr. 8 Sbíhavost a rozbíhavost

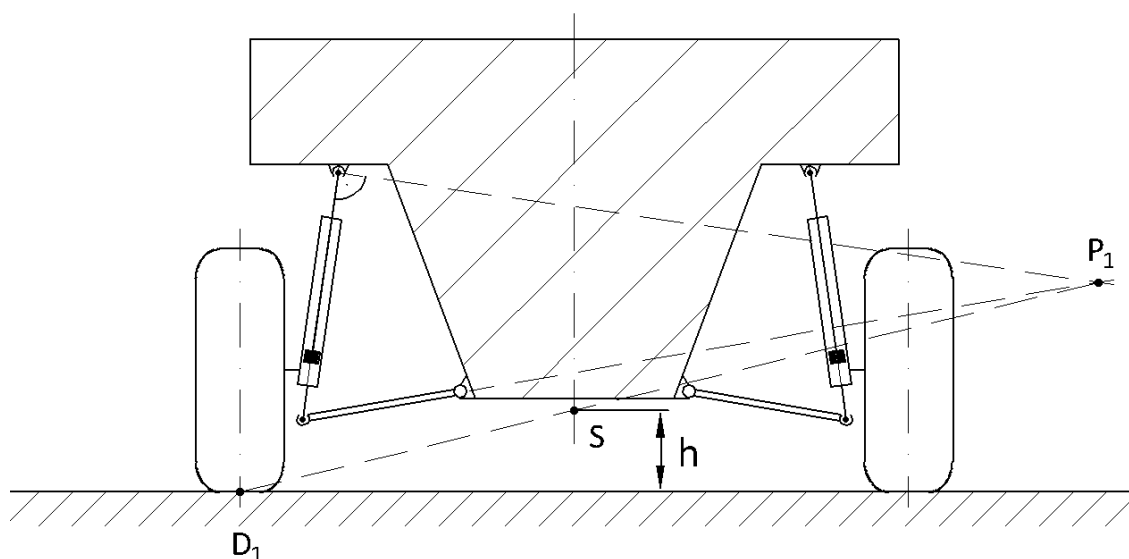
1.7 DALŠÍ KINEMATICKÉ PARAMETRY

Kromě dříve vyjmenovaných parametrů geometrie bude analýza sledovat i další vlastnosti náprav, které mají vliv na jízdní stabilitu. Jejich stručný popis bude obsahem následujících řádků.

1.7.1 VÝŠKA STŘEDU KLOPENÍ KAROSERIE

Střed klopení je bod neboli pól otáčení, kolem kterého se naklápí kolo či karoserie v příčné rovině (podle toho název pól klopení kola nebo střed klopení karoserie). Pro sestrojení pólu je potřeba nalézt dvě normály pohybu, v jejich průsečíku se nachází pól. Pozice středu klopení závisí na konstrukci zavěšení, pro zavěšení MacPherson se sestrojí způsobem uvedeným v Obr. 9. Normálami jsou kolmice na osu vzpěry a prodloužená osa spodního ramene. Levé kolo má pól klopení P_1 a dotykový bod pneumatiky s vozovkou D_1 . Pro pravé kolo je pól klopení P_2 a dotykový bod pneumatiky s vozovkou D_2 . Střed klopení karoserie S leží v průsečíku přímek $\overline{P_1D_1}$ a $\overline{P_2D_2}$. Pro zjednodušení je uvažováno, že střed klopení karoserie se nachází na ose symetrie vozidla. Přímka spojující středy klopení karoserie přední a zadní nápravy se nazývá osa klopení. Výška středu klopení karoserie h je svislá vzdálenost mezi středem klopení karoserie S a dotykovým bodem pneumatiky s vozovkou D . [7]

Během zatáčení působí na vozidlo odstředivé síly a karoserie vozidla se naklápí. Tím vzniká klopňý moment působící kolem středu klopení karoserie. Čím výše je střed klopení, tím menší je klopňý moment, který musí být vyrovnáván odpružením. [3]



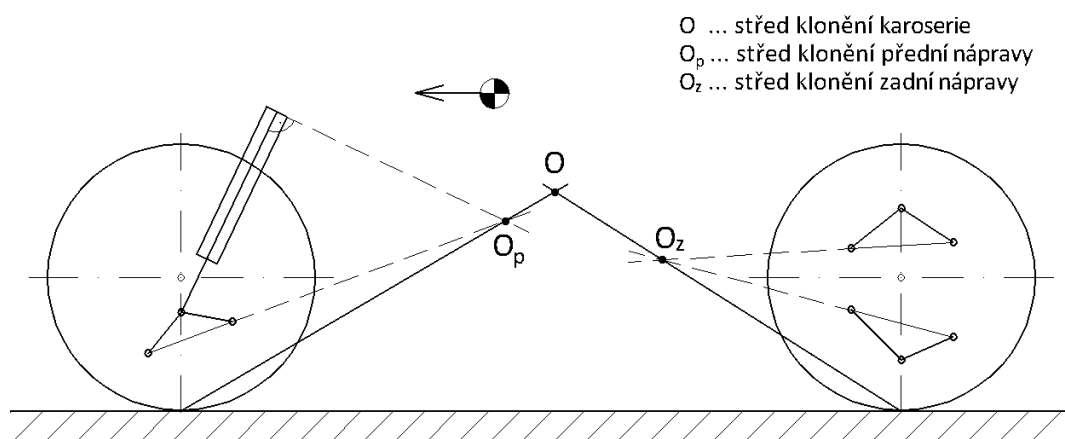
Obr. 9 Způsob určení pólu klopení kola P_1 a středu klopení karoserie S pro zavěšení MacPherson (překresleno dle [7])

1.7.2 PŘEVOD ODPRUŽENÍ

Převod odpružení p_o je poměr mezi svislým zdvihem kola a stlačením tlumiče. Udává silový poměr na kole vs. pružině (či tlumiči). Pro převod u MacPherson bývá kvůli zajištění správného fungování tlumiče doporučována hodnota blízká 1:1. [8]

1.7.3 ANTI-DIVE

„Anti“ parametry zavěšení vyrovnávají klonění vozidla v podélné rovině. Během brzdění/akceleraace vzniká reakce na podélné zrychlení, čímž dochází k odlehčení zadní/přední nápravy a přitížení přední/zadní, v důsledku toho se karoserie nakloní. Charakteristiky anti-udávají, jak moc je tomuto pohybu bráněno. Jejich hodnota se zapisuje v procentech nejčastěji od 0 % do 100 %. Hodnoty mohou být i větší než 100 % nebo naopak nižší než 0 %, ale to jsou svým způsobem speciální případy, nicméně anti-dive může takovýchto hodnot nabývat. Pokud je hodnota 0 %, dochází k maximálnímu naklonění, při 100 % se karoserie vůbec nenaklání. Míra klonění je určena velikostí momentu klonění. Moment klonění závisí na setrvačné síle působící v těžišti vozidla a délkou ramene, což je svislá vzdálenost těžiště od středu klonění karoserie. [3]



Obr. 10 Určení středu klonění karoserie O , středu klonění přední nápravy O_p (MacPherson) a středu klonění zadní nápravy O_z (překresleno dle [1])

Způsob určení polohy středu klonění karoserie a středu klonění kola pro přední a zadní nápravu je zobrazen na Obr. 10. Střed klonění kola, v případě zavěšení MacPherson (přední náprava), leží v průsečíku kolmice rejdové osy vedené z horního úchyty vzpěry a přímky procházející kontaktními body spodního ramene. Střed klonění karoserie potom leží v průsečíku přímek spojujících středy klonění kol pro přední nebo zadní nápravu s dotykovým bodem pneumatiky s vozovkou.

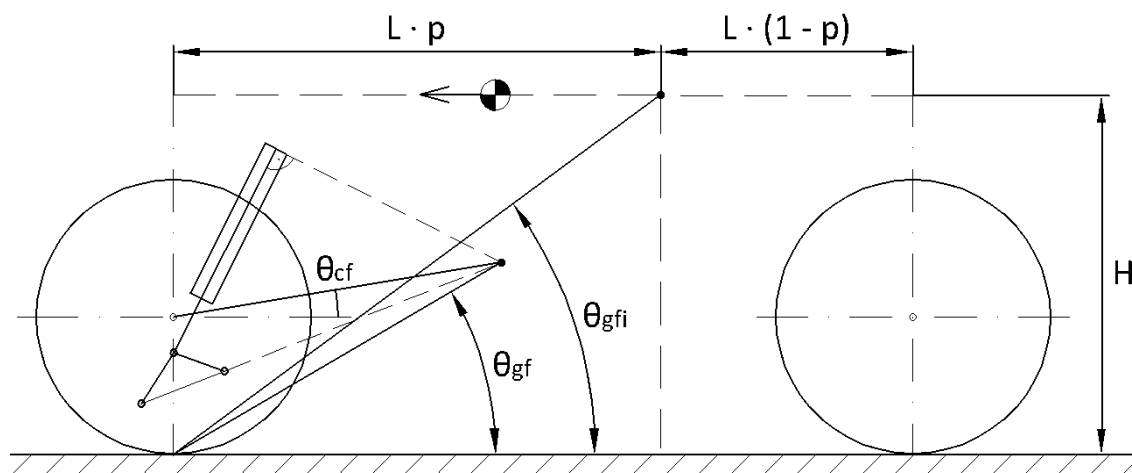
Anti-dive parametr redukuje následek působení setrvačné síly během brzdění, kterým je naklání karoserie dopředu. [3]

Hodnotu anti-dive lze vypočítat podle vztahu, dle [4] str. 275:

$$\text{Anti-dive} = \tan \theta_{gf} \cdot \frac{L \cdot p}{H} = \frac{\tan \theta_{gf}}{\tan \theta_{gfi}}, \quad (2)$$

kde p je procento brzděné síly na přední nápravě, L je rozvor kol, H je výška těžiště, θ_{gf} úhel ramene kývání, v případě, že brzda je umístěna v kole (pro brzdou mimo kolo by platil úhel θ_{cf}); θ_{gfi} ideální úhel ramene kývání (viz Obr. 11).

Pro zjištění hodnoty anti-dive je nutné znát, zda se brzda nachází v kole nebo mimo kolo. Pokud je brzda umístěna v kole, tak brzděná síla působí v bodě dotyku kola s vozovkou, proto se používá úhel θ_{gf} . V případě brzdou umístěné mimo kolo, působí brzděná síla ve středu kola, tím pádem platí úhel θ_{cf} . [3]



Obr. 11 Geometrie pro výpočet anti-dive: θ_{gfi} ideální úhel ramene kývání; θ_{gf} úhel ramene kývání (brzda v kole); θ_{cf} úhel ramene kývání (brzda mimo kolo)

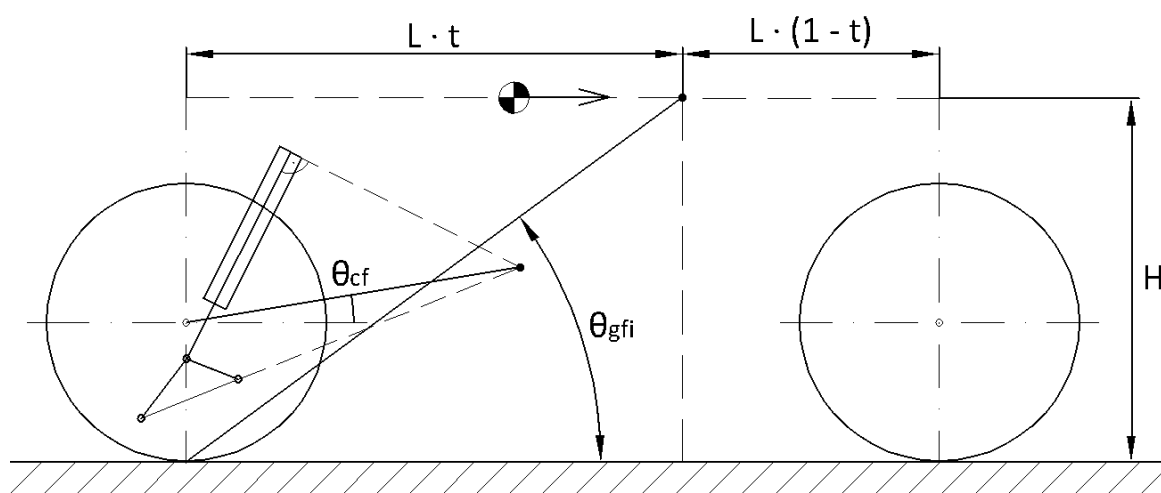
1.7.4 ANTI-LIFT

Parametr anti-lift se používá pro zadní nápravu, kde snižuje nadzvedávání zadní části karoserie při brzdění a pro přední nápravu, kde redukuje naklánění karoserie dozadu, když vozidlo akceleroje. Nachází-li se střed klonění kola nad osou kola, jde o anti-lift, pokud by však ležel pod osou, jednalo by se o pro-lift, což je efekt, který má opačné vlastnosti než anti-lift. [3]

Hodnotu anti-lift pro přední nápravu lze vypočítat podle vztahu, dle [4] str. 276:

$$\text{Anti-lift} = \tan \theta_{cf} \cdot \frac{L \cdot t}{H} = \frac{\tan \theta_{cf}}{\tan \theta_{gfi}}, \quad (3)$$

kde t je procento hnací síly na přední nápravě a θ_{cf} úhel ramene kývání (viz Obr. 12).

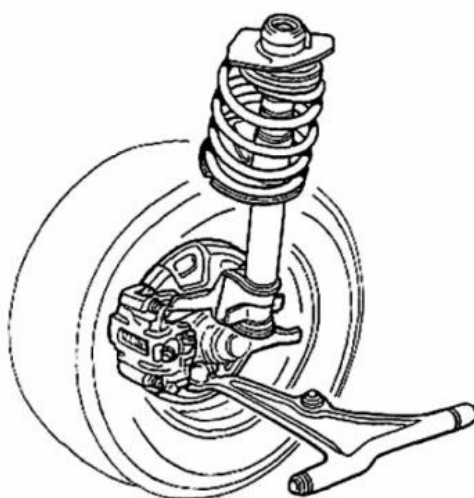


Obr. 12 Geometrie pro výpočet anti-lift přední nápravy: θ_{gfi} ideální úhel ramene kývání; θ_{cf} úhel ramene kývání

K výpočtu hodnoty anti-lift na přední nápravě se používá úhel ramena kývání θ_{cf} , jelikož hnací síla působí ve středu kola. [3]

2 ZAVĚŠENÍ MACPHERSON

Zavěšení MacPherson (Obr. 13) vychází z lichoběžníkového, kde horní rameno je nahrazeno charakteristickou vzpěrou, kolem které je navinuta pružina, a spodní rameno zůstává trojúhelníkové. Vzpěra je zároveň hydraulický tlumič s pístnicí výrazně silnější oproti normálním tlumičům a to z důvodu velkého příčného zatížení. Svislé zatížení kola je tak převážně přesouváno přímo přes kolo, rejdový čep, tlumič a pružinu do karoserie. Sférická vazba spojující vzpěru s karoserií umožňuje, aby se celá vzpěra otáčela s předními koly. U osobních automobilů se používá pryžový spoj a pro závodní automobily obvykle kulový kloub. Vlivem bočních sil se zvyšuje tření v kluzných místech tlumiče, proto se pružina umísťuje šikmo, a tak účinně působí proti bočním silám. Také je možné uložit horní kloub do měkké pryže. Příčný stabilizátor se používá pro snížení naklápění při průjezdu zatáčkou. [1]



Obr. 13 Schéma zavěšení typu MacPherson [10]

MacPherson je často používaným typem zavěšení. Především se hodí pro automobily s pohonem předních kol, protože poskytuje dostatek prostoru pro příčné motory. Jelikož je zatížení přenášeno přímo do karosérie, musí být dostatečně pevná. Proto je tento typ zavěšení vhodný pro samonosné karoserie. Dalšími výhodami je menší počet částí, nižší hmotnost a schopnost rozložit zatížení do větší oblasti karoserie. Nevýhodou je vysoká instalovaná výška, která omezuje větší snížení karoserie. [2]

Úhel odklonu je přímo dán konstrukcí zavěšení, ale při propnutí nebo naklápění karoserie dochází k jeho změně. Následkem je kmitání volantu, které je způsobeno gyroskopickým momentem M_G . Je však snaha dělat spodní rameno co nejdelší, aby změny odklonu a sbíhavosti byly minimální. Póly klopení kola P a klopení karoserie S leží v převážné většině nad rovinou vozovky. Aby bylo dosaženo vhodné polohy středu klonění nápravy O_p , musí být podélná osa kývání spodního ramene v šikmé poloze. [1]

3 KINEMATICKÁ ANALÝZA

Obsahem této kapitoly je analýza vlivu polohy kinematických bodů zavěšení na základní kinematické charakteristiky. Jak již bylo zmíněno výše parametry geometrie zavěšení a jejich změna má zásadní dopad na jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla. Při navrhování konstrukce je proto nutné vhodně zvolit polohu kinematických bodů. Avšak poloha každého bodu ovlivňuje charakteristiky různou mírou, a na některé nemá téměř žádný vliv.

3.1 ZÍSKANÁ DATA

Data pro zpracování analýzy mi byla poskytnuta vedoucím práce. Hodnoty vycházely ze simulací vytvořených pomocí analytického výpočtu v programu MATLAB R2020a.

Počítané kinematické charakteristiky:

- Odklon kola
- Příklon rejdové osy
- Poloměr rejdu
- Záklon rejdové osy
- Závlek
- Sbíhavost
- Výška středu klopení karoserie
- Převod mezi zdvihem kola a stlačením tlumiče
- Anti-dive
- Anti-lift

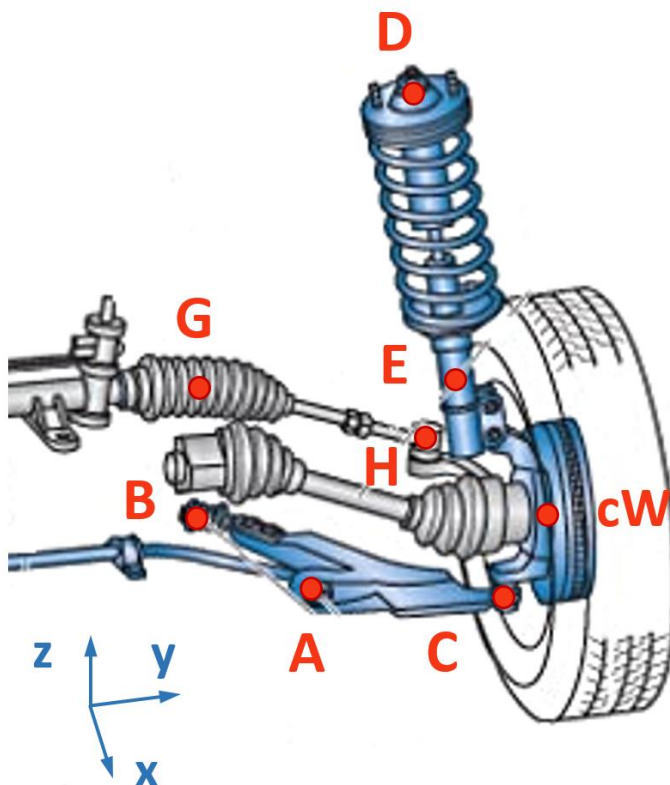
Tyto kinematické charakteristiky představují změnu geometrických parametrů v závislosti na zdvihu. Byly vypočítány pro zdvih levého kola od -100 mm po 100 mm s krokem 1 mm, a to celkově v 85 variantách. Každá varianta se liší polohou jednoho ze 7 kinematických bodů (Obr. 14) A, B, C, D, E, G, H, vždy jen v jedné ze 3 souřadnic X, Y, Z. Jednotlivé body byly posouvány ve směru každé souřadnice o -20 mm, -10 mm, +10 mm, +20 mm vůči referenční poloze Tab. 1 (7 bodů x 3 souřadnice x 4 změny + 1 výchozí poloha = 85 variant).

Kinematické body:

- A – přední úchyt ke karoserii spodního ramene
- B – zadní úchyt ke karoserii spodního ramene
- C – úchyt k těhlici spodního ramene
- D – horní úchyt tlumiče ke karoserii
- E – pomocný bod na ose vzpěry
- G – vnitřní úchyt spojovací tyče řízení
- H – vnější úchyt spojovací tyče řízení
- cW – střed kola

Souřadný systém:

- osa x – kladný směr dopředu ve směru jízdy vozidla
- osa y – kladný směr doleva vůči směru jízdy vozidla
- osa z – kladný směr nahoru



Obr. 14 Poloha kinematických bodů na levém předním kole se zavěšením MacPherson [11] (upraveno)

Tab. 1 Souřadnice referenční polohy kinematických bodů

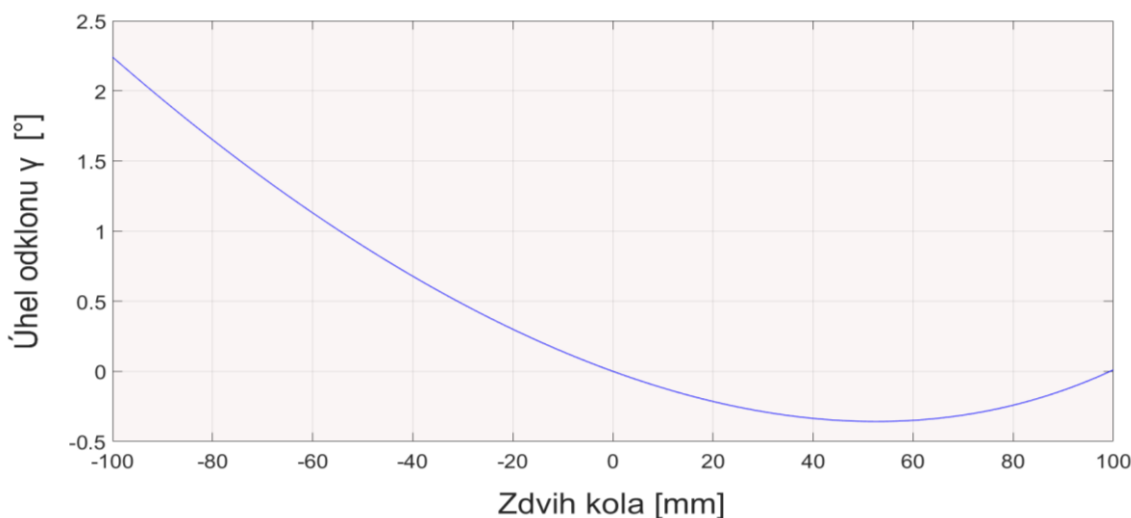
Referenční poloha kinematických bodů [mm]								
	A	B	C	D	E	G	H	cW
x	0	-301	10	-51	-29	-183	-131	-5
y	367	342	708	550	585	313	676	757
z	155	158	138	790	457	250	242	289

K analýze bylo zvoleno zavěšení typu MacPherson, které je jedno z nejčastěji používaných zavěšení. Využívá se především pro přední nápravu u vozidel s předním náhonem. Avšak je možno jej použít i pro zadní nápravu. Charakteristika a hlavní znaky byly popsány v předešlé kapitole.

3.2 ANALÝZA ODKLONU

Průběh závislosti odklonu na zdvihu kola pro referenční polohu bodů je zobrazen na Obr. 15. Úhel odklonu je ve výchozí poloze (nulový zdvih) pro všechny varianty poloh bodů roven nule. Odklon je kladný pro záporný zdvih (kolo jde dolů), kdy maximální hodnoty nabývá při zdvihu

-100 mm. Naopak při kladném zdvihu (kolo jde nahoru) jsou hodnoty odklonu záporné, ale jak se zdvih přibližuje 100 mm, tak odklon zase stoupá ke kladným hodnotám. Všechny ostatní varianty poloh bodů sledují tento trend, pouze mají větší nebo menší sklon.



Obr. 15 Závislost úhlu odklonu na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Tab. 2 zobrazuje aritmetický průměr absolutních hodnot rozdílu $|\overline{\Delta_\gamma}|$ mezi hodnotou odklonu pro referenční polohu bodů a pro posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a to pro zvolený zdvih -80 mm a +80 mm. Je možné si všimnout, že na změnu odklonu má významný vliv vždy jen jedna nebo žádná ze souřadnic polohy bodů. Ve většině případů je to svislá poloha (osa z), pouze u bodů D a E je podstatnější souřadnice y. Poloha v ose x je pro všechny body z hlediska změny odklonu nepodstatná. Vliv jednotlivých bodů na chování odklonu je podrobněji popsán na následujících stránkách.

Tab. 2 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek úhlu odklonu od referenční hodnoty při posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm a 80 mm

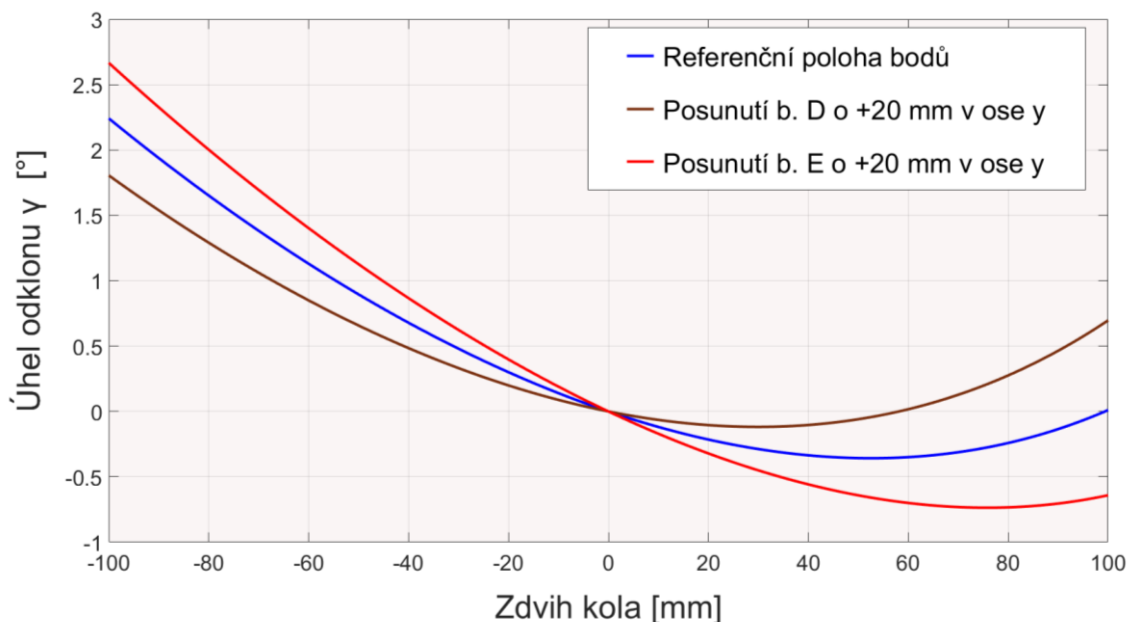
Odchylka úhlu odklonu pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm						
$ \overline{\Delta_\gamma} [^\circ]$						
Body	zdvih -80 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,00	0,04	0,25	0,01	0,02	0,33
B	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,04
C	0,00	0,03	0,19	0,01	0,02	0,29
D	0,01	0,35	0,08	0,01	0,50	0,06
E	0,00	0,36	0,04	0,01	0,50	0,05
G	0,00	0,02	0,16	0,00	0,02	0,21
H	0,00	0,02	0,14	0,01	0,02	0,20

Vliv polohy bodu A na úhel odklonu lze vidět pouze v ose z. Změna odklonu při posunutí bodu v osách x a y je pouze v setinách stupně, což můžeme považovat za nepodstatné. Pro posunutí bodu o 20 mm v ose z při zdvihu kola -80 mm je změna odklonu $0,25^\circ$ a při zdvihu kola 80 mm je trochu větší $0,33^\circ$. Posunutí bodu A v kladném směru osy z zvyšuje absolutní hodnotu odklonu a v záporném směru ji naopak zmenšuje, dokud v případě kladného zdvihu nedojde do nuly, pak se zase začne zvyšovat.

Změna polohy bodu B nemá na průběh odklonu žádný nebo v případě osy z má nepodstatný vliv (v setinách stupně). Důvodem takového může být to, že bod B leží výrazně dál od středu kola (v ose x) než bod A, který leží v podstatě v rovině středu kola, a tudíž mění osu kývání jiným způsobem.

Posunutí bodu C má na odklon podobný vliv jako bod A. Rozdíl úhlu odklonu při posunutí bodu o 20 mm v ose z je při zdvihu -80 mm $0,19^\circ$ a při zdvihu 80 mm $0,29^\circ$. Posun bodu C v kladném směru osy z zmenšuje absolutní hodnotu odklonu a v záporném směru ji zvětšuje.

Poloha bodů D a E ovlivňuje průběh odklonu v největší míře. Avšak oproti bodům A a C není významná poloha v ose z, ale poloha v ose y. Tyto body jsou umístěné na vzpěře a y souřadnice polohy bodů určuje její příčný sklon. Změna odklonu při posunutí bodu o 20 mm v ose y je pro oba body stejně velká $0,35^\circ$ při zdvihu -80 mm a $0,50^\circ$ při zdvihu 80 mm. Ačkoliv je změna odklonu způsobená shodným posunutím obou bodů stejně velká, tak je v opačném smyslu (viz Obr. 16). Posunutím bodu D v kladném směru osy y se absolutní hodnota odklonu zmenšuje (záporný zdvih). V případě kladného zdvihu se absolutní hodnota také zmenšuje, jakmile však dojde do nuly, začne se zase zvětšovat. Posunutím bodu E v kladném směru osy y se absolutní hodnota odklonu zvyšuje (platí pro kladný i záporný zdvih).

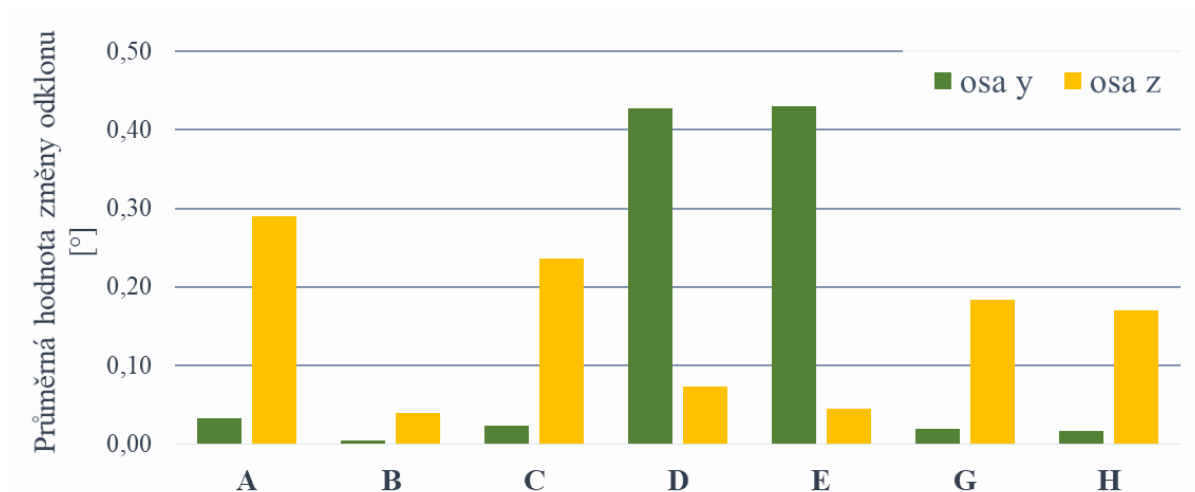


Obr. 16 Rozdíl v průběhu úhlu odklonu při posunutí bodu D o +20 mm v ose y nebo bodu E o +20 mm v ose y vůči referenční poloze bodů

Bod G ovlivňuje charakteristiku odklonu změnou polohy pouze v ose z. Posunutím bodu v kladném směru osy z se absolutní hodnota odklonu zvětšuje, v záporném směru se naopak zmenšuje. Rozdíl úhlu odklonu vzniklý posunutím bodu o 20 mm v ose z je při zdvihu -80 mm $0,16^\circ$ a při zdvihu 80 mm $0,21^\circ$.

Poslední bod H má na odklon podobný vliv jako bod G. Významný je jeho pohyb pouze v ose z. Změna odklonu při posunutí bodu o 20 mm je při zdvihu -80 mm $0,14^\circ$ a při zdvihu 80 mm $0,20^\circ$, což jsou téměř stejné hodnoty jako pro bod G. Nicméně posun bodu H v kladném směru osy z zmenšuje absolutní hodnotu odklonu, v záporném ji zvětšuje. Body G a H po bodu B, který nezpůsobuje žádnou změnu odklonu, nejméně ovlivňují průběh odklonu (rozdíl v odklonu je pro daný zdvih nejmenší).

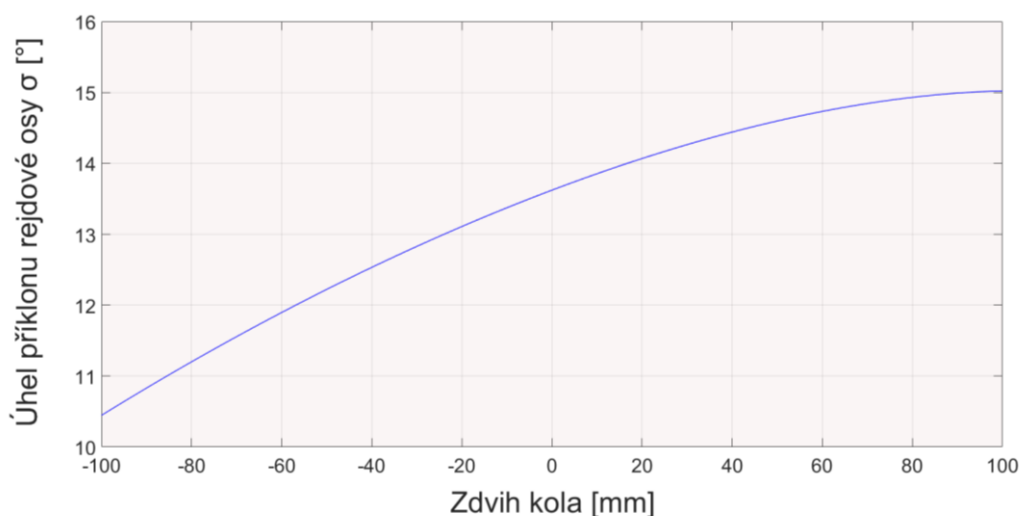
Obr. 17 zobrazuje průměrné odchylky úhlu odklonu od výchozí hodnoty, kdy se všechny body nacházejí v referenční poloze. Uvedená velikost změny odklonu je průměrem odchylek z Tab. 2 pro zdvihy -80 mm a 80 mm při posunutí bodů o 20 mm pouze v osách y a z, jelikož posunutí bodů v ose x nemá na odklon žádný vliv. Hodnoty pod hranicí $0,1^\circ$ jsou z hlediska změny odklonu a jeho vlivu na jízdní vlastnosti nepodstatné. Dále vzestupně podle velikosti odchylky jsou to body H, G, C, A, D, E, z nichž první čtyři vyjmenované způsobují změnu odklonu v závislosti na jejich poloze v ose z. Vliv bodů D a E na chování odklonu je výrazně vyšší, a na rozdíl od ostatních bodů je podstatná jejich poloha v ose y.



Obr. 17 Průměrná změna odklonu pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách y a z

3.3 ANALÝZA PŘÍKLONU REJDOVÉ OSY

Charakteristika úhlu příklonu rejdové osy pro referenční polohu bodů je zobrazena na Obr. 18. Úhel příklonu je v celém rozsahu zdvihu kladný a křivka má rostoucí charakter. Totéž platí také pro ostatní varianty poloh bodů.



Obr. 18 Závislost úhlu příklonu rejdové osy na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Hodnota příklonu pro nulový zdvih a ref. polohu bodů je $13,62^\circ$, a jelikož není pro všechny varianty stejná, obsahuje Tab. 3 sloupec s hodnotami odchylek příklonu i pro zdvih 0 mm. Posunutí bodů nevyvolává změny průběhu příklonu v takové míře jako u odklonu. Je možné si všimnout, že poloha v ose x u jakéhokoliv bodu nemá na příklon žádný vliv. Důležitá je pouze poloha v ose y a z, která u bodů A, C a D způsobuje výraznou změnu příklonu. Poloha ostatních bodů B, G, E, H je z hlediska chování příklonu nepodstatná.

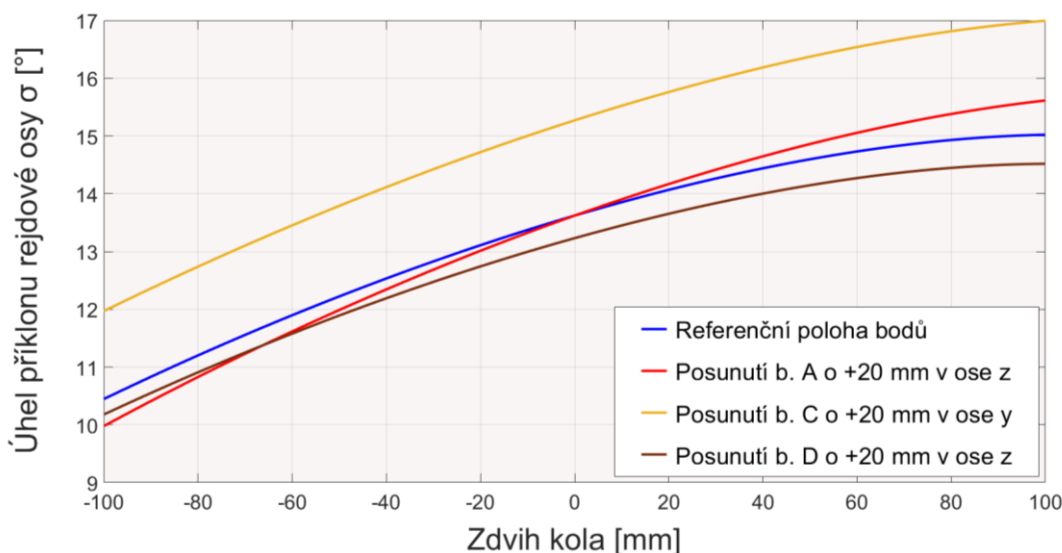
Tab. 3 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek úhlu příklonu rejdové osy od referenční hodnoty při posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka úhlu příklonu pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$ \overline{\Delta_\sigma} [^\circ]$									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,00	0,06	0,37	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,46
B	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
C	0,01	1,55	0,66	0,00	1,66	0,40	0,01	1,90	0,05
D	0,00	1,52	0,30	0,00	1,66	0,40	0,00	1,87	0,50
E	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Posunutí bodu A má na průběh příklonu vliv jen v ose z. Úhel příklonu se při záporném zdvihu zvětšuje, pokud bod posuneme v záporném směru osy z a zmenšuje při posunutí v kladném směru. Během kladného zdvihu působí posunutí bodu obráceně. Příklon se zvětšuje posunutím bodu v kladném směru osy z a zmenšuje, když bod posuneme v záporném směru (viz Obr. 19). Průměrná odchylka příklonu při posunutí bodu o ± 20 mm v ose z je pro zdvih -80 mm $0,37^\circ$, zdvih 80 mm $0,46^\circ$. Hodnota úhlu příklonu při zdvihu 0 mm je u všech variant posunutí bodu A stejná jako pro referenční polohu (nulové posunutí bodů).

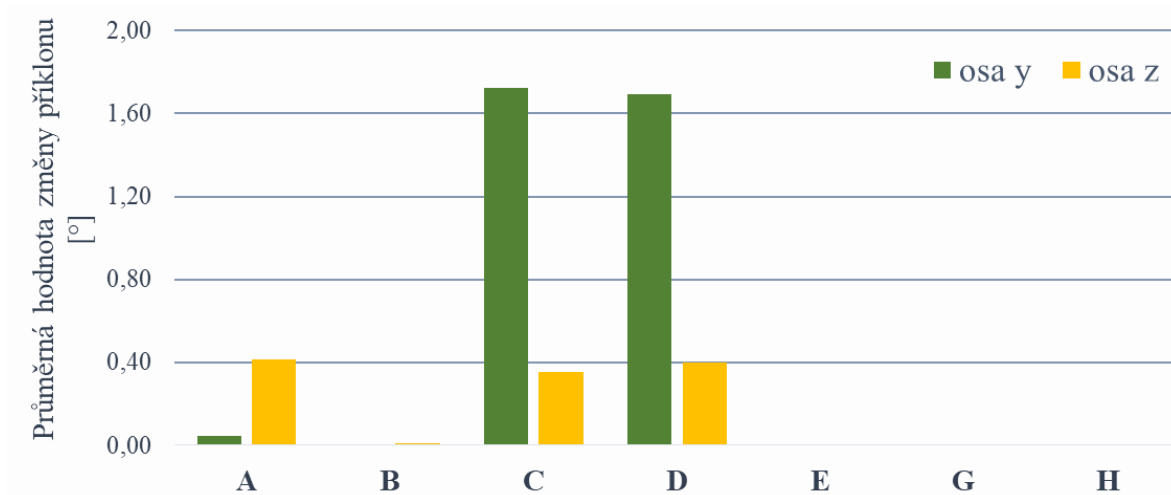
Poloha bodu C ovlivňuje úhel příklonu rejdové osy souřadnicí y a z, avšak souřadnice y má mnohem větší vliv. Posunutí v kladném směru osy y zvětšuje příklon v celém průběhu zdvihu kola (viz Obr. 19), v záporném směru jej zmenšuje. Rozdíl v úhlu příklonu při posunutí bodu C o 20 mm v ose y je při zdvihu -80 mm $1,55^\circ$, při zdvihu 0 mm $1,66^\circ$ a při zdvihu 80 mm $1,9^\circ$. Odchylka příklonu se s narůstajícím zdvihem zvětšuje. Naopak odchylka příklonu vzniklá posunutím bodu v ose z se s rostoucím zdvihem zmenšuje. Posunutí v kladném směru osy z zvětšuje příklon a v záporném zmenšuje. Konkrétně změna příklonu při posunutím bodu C o 20 mm v ose z je pro zdvih -80 mm $0,66^\circ$, pro zdvih 0 mm $0,4^\circ$ a pro zdvih 80 mm $0,05^\circ$. V tomto případě je změna (pokles) odchylky v průběhu zdvihu ještě výraznější než pro posunutí v ose y.

Poloha bodu D má na příklon velice podobný vliv jako bod C, ale v opačném smyslu. Posunutí bodu D v kladném směru osy y i z zmenšuje odklon (viz Obr. 19) a v záporném směru jej zvětšuje. Změna příklonu posunutím bodu o 20 mm v ose y je při zdvihu -80 mm $1,52^\circ$, při zdvihu 0 mm $1,66^\circ$ a při zdvihu 80 mm $1,87^\circ$. Velikost odchylek je tak téměř stejná jako v případě bodu C, a tudíž i její nárůst. Posunutím bodu D o 20 mm v ose z dosáhneme rozdílu v úhlu příklonu $0,3^\circ$ při zdvihu -80 mm, $0,4^\circ$ při zdvihu 0 mm a $0,5^\circ$ při zdvihu 80 mm. Změna odchylky v průběhu zdvihu je sice patrná, ale není tolik výrazná jako pro bod C a s rostoucím zdvihem se odchylka zvyšuje.



Obr. 19 Rozdíl v průběhu příklonu rejdové osy pro posunutí bodů o 20 mm; posun bodů A, D v ose z a bodu C v ose y

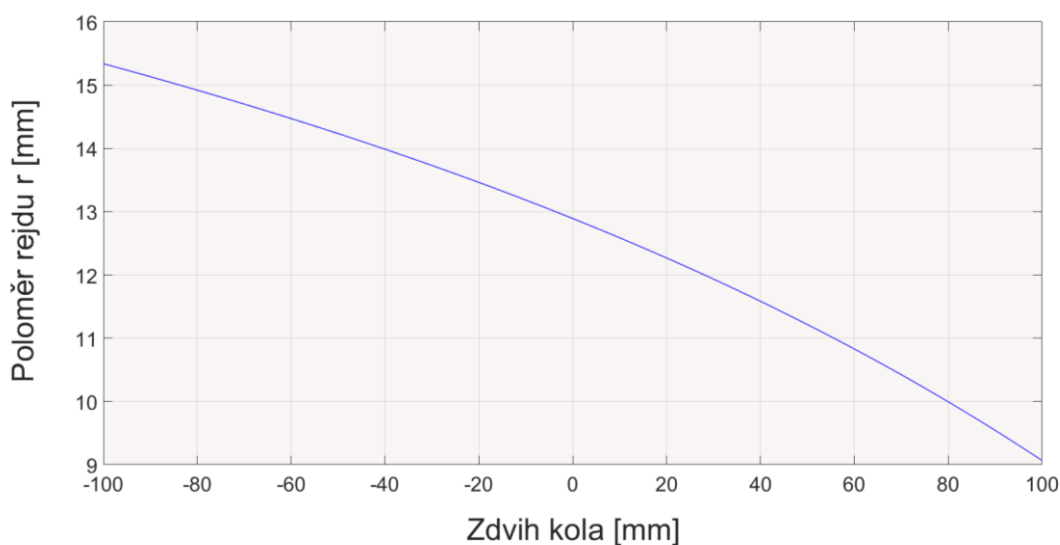
Obr. 20 zobrazuje průměrnou změnu příklonu pro zdvih ± 80 mm a posunutí jednotlivých bodů o 20 mm pouze v osách y a z, jelikož posunutí v ose x nemá na příklon vliv. Poloha bodů C a D v ose y má na úhel příklonu velmi výrazný vliv, což dává smysl, jelikož těmito body prochází rejdová osa, a tak přímo určují její sklon. Poloha bodů A, C a D v ose z způsobuje, oproti y souřadnicím bodů C a D, mnohem menší změnu příklonu, ale pořád je významná. Vliv posunutí bodu A v ose y je nepodstatný, stejně tak poloha zbylých bodů B, E, G a H.



Obr. 20 Průměrná změna příklonu pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách y a z

3.4 ANALÝZA POLOMĚRU REJDU

Průběh kinematické charakteristiky poloměru rejdu pro referenční polohu bodů ukazuje Obr. 21. Hodnota rejdu je v celém rozsahu zdvihu kladná, přičemž s rostoucím zdvihem klesá.



Obr. 21 Závislost poloměru rejdu na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Tak jako v předchozí charakteristice, není ani hodnota rejdu ve zdvihu 0 mm stejná pro všechny varianty poloh bodů. Z toho důvodu obsahuje Tab. 4 sloupec pro zdvih 0 mm. Velikost poloměru rejdu pro nulový zdvih a referenční polohu bodů je 12,89 mm. Významný vliv na poloměr rejdu, jenž je podrobněji popsán níže, mají body C, D a E. Stejně jako pro předchozí parametry, poloha bodů v ose x a její změna nezpůsobuje rozdílný průběh poloměru rejdu.

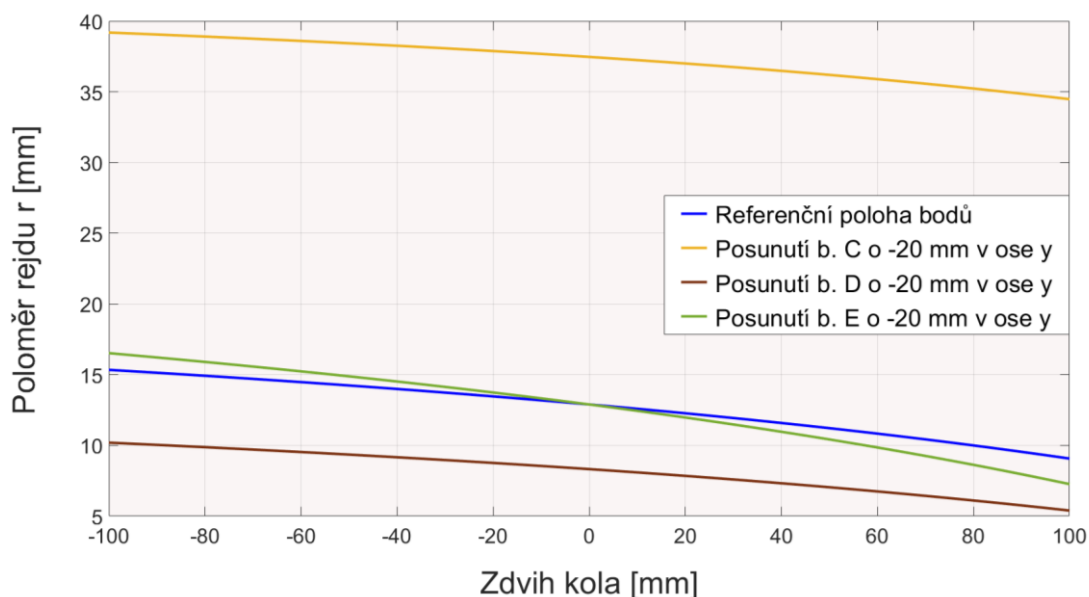
Tab. 4 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek poloměru rejdu od referenční hodnoty při posunutí bodů o +/-20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka poloměru rejdu pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$\overline{ \Delta_{r_0} }$ [mm]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08
B	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07
C	0,04	23,96	5,47	0,00	24,57	5,96	0,09	25,24	6,62
D	0,03	5,06	1,04	0,00	4,57	1,11	0,06	3,88	1,23
E	0,03	0,96	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	1,34	0,14
G	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10
H	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10

Bod C svojí polohou v osách y a z velmi ovlivňuje poloměr rejdu (viz Obr. 22). Posunutím bodu v záporném směru osy y nebo z způsobuje zvýšení hodnoty poloměru, a to v celém rozsahu zdvihu. Posunutí v kladném směru snižuje hodnotu poloměru. V případě osy y je změna poloměru rejdu tak výrazná, že při posunutí bodu o +10 mm se hodnota poloměru dostává do mínusu a při posunutí o +20 mm má dokonce zápornou hodnotu v celém průběhu. Odchylka poloměru rejdu při posunutí bodu C v ose y o 20 mm je 23,96 mm pro zdvih -80 mm, 24,57 mm pro zdvih 0 mm a 25,24 mm pro zdvih 80 mm. Posun v ose z vyvolává mnohem menší změnu poloměru. Při posunutí o 20 mm v ose z je odchylka 5,47 mm pro zdvih -80 mm, 5,96 mm pro zdvih 0 mm a 6,62 mm pro zdvih 80 mm.

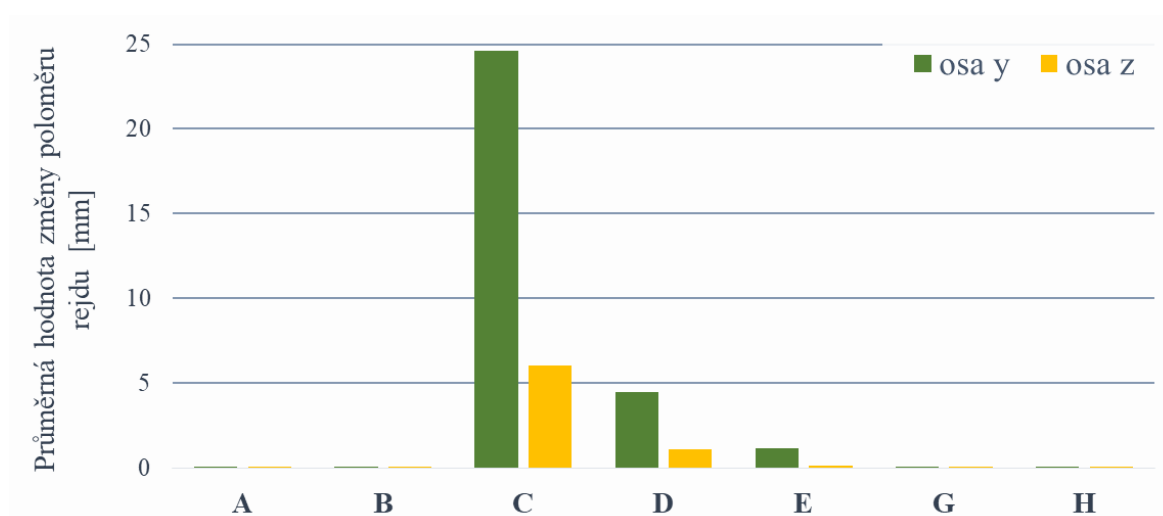
Vliv bodu D na poloměr rejdu o něco mírnější než vliv bodu C. Důležité souřadnice polohy bodu D jsou y a z. Posunutí v jejich směru má na průběh poloměru rejdu oproti bodu C opačný účinek (viz Obr. 22). Zvětšení poloměru rejdu docílíme posunutím bodu D v kladném směru osy y nebo z a naopak zmenšení posunutím v záporném směru. Rozdíl poloměru při posunutí bodu o 20 mm v ose y je 5,06 mm pro zdvih -80 mm, 4,57 mm pro zdvih 0 mm a 3,88 mm pro zdvih 80 mm. Posun o 20 mm v ose z způsobuje změnu poloměru 1,04 mm při zdvihu -80 mm, 1,11 mm při zdvihu 0 mm a 1,23 mm při zdvihu 80 mm.

Reakce poloměru rejdu na změnu polohy bodu E je docela odlišná od reakce na polohu bodů C a D. U všech variant polohy bodu E je hodnota poloměru při nulovém zdvihu stejná jako pro referenční polohu (viz Obr. 22). Při záporném zdvihu velikost poloměru roste, pokud bod E posuneme v záporném směru osy y a klesá při posunutí bodu v kladném směru. Pro kladný zdvih působí posunutí bodu opačně, jestliže bod posuneme v záporném směru osy y, velikost poloměru se zmenší, při posunutí v kladném směru se velikost zvýší. Konkrétně pro posunutí bodu E o 20 mm v ose y je změna poloměru rejdu 0,96 mm při zdvihu -80 mm a 1,34 mm při zdvihu 80 mm.



Obr. 22 Rozdíl v průběhu poloměru rejdu při posunutí bodů C, D a E o -20 mm v ose y vůči referenční poloze bodů

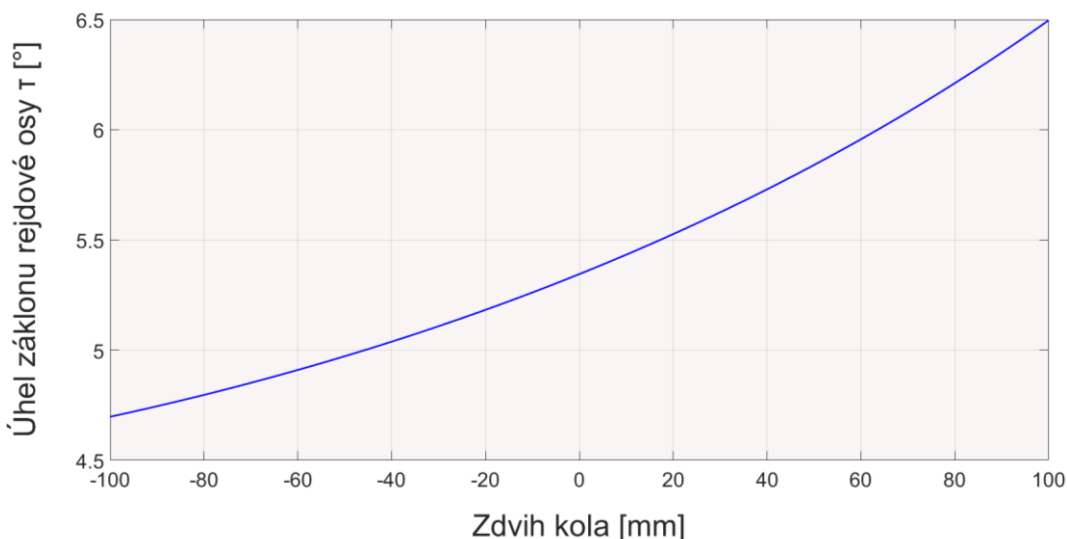
Sloupcový graf na Obr. 23 porovnává vliv polohy všech bodů v osách y a z. Body A, B, G a H nezpůsobují žádnou podstatnou změnu poloměru rejdu. Bod E vyvolává změnu poloměru svojí polohou v ose y a body C a D polohou v osách y i z. Odchylna poloměru, která vzniká v důsledku posunutí bodu C v ose y, několikanásobně převyšuje ostatní odchylny.



Obr. 23 Průměrná změna poloměru rejdu pro zdvih +/-80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách y a z

3.5 ANALÝZA ZÁKLONU REJDOVÉ OSY

Záklon rejdové osy je pro dané zavěšení kladný v celém rozsahu zdvihu, a to i v případě posunutí kteréhokoliv z bodů o 20 mm. Na Obr. 24 lze vidět závislost záklonu na zdvihu kola pro referenční polohu bodů. Průběh úhlu záklonu má rostoucí charakter.



Obr. 24 Závislost úhlu záklonu rejdové osy na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

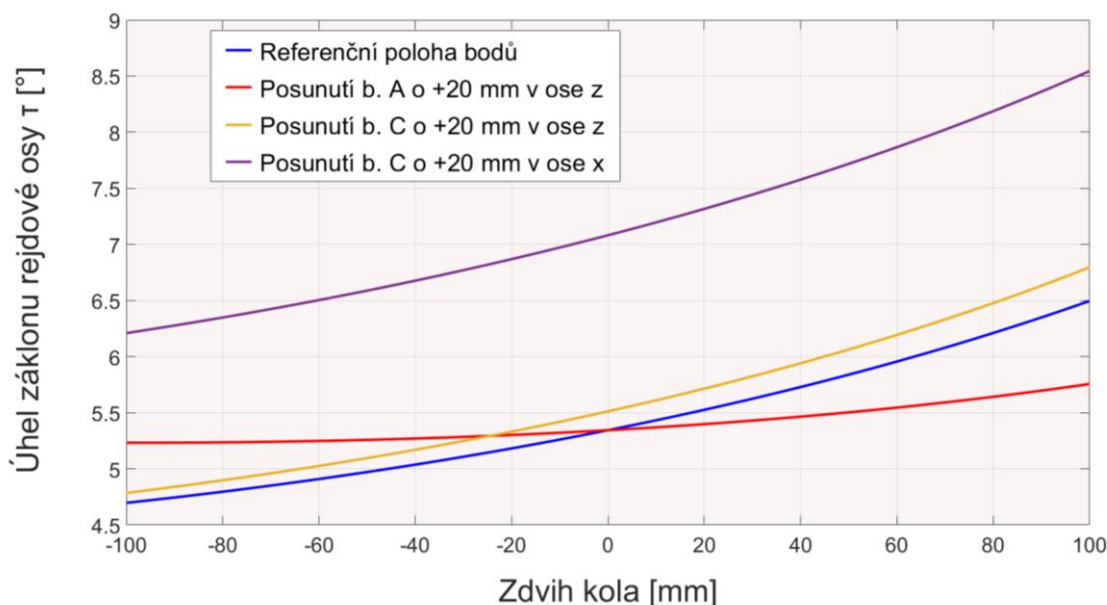
Vliv posunu jednotlivých bodů na úhel záklonu a velikost odchylky obsahuje Tab. 5. Když se body nacházejí ve své referenční poloze a kolo má nulový zdvih, tak velikost úhlu záklonu je $5,24^\circ$. Tuto hodnotu při nulovém zdvihu některé body zachovávají, ačkoli mají jinou polohu, která způsobuje zvýšení nebo snížení záklonu pro jiný zdvih. Z hlediska změny záklonu je důležité sledovat souřadnice x a z u bodů A, B, C, a D.

Tab. 5 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek úhlu záklonu od referenční hodnoty při posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka úhlu záklonu pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$ \overline{\Delta_\tau} [^\circ]$									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,00	0,07	0,44	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,57
B	0,00	0,07	0,41	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,53
C	1,56	0,01	0,10	1,74	0,00	0,16	1,98	0,00	0,26
D	1,56	0,00	0,13	1,74	0,00	0,16	1,98	0,01	0,22
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

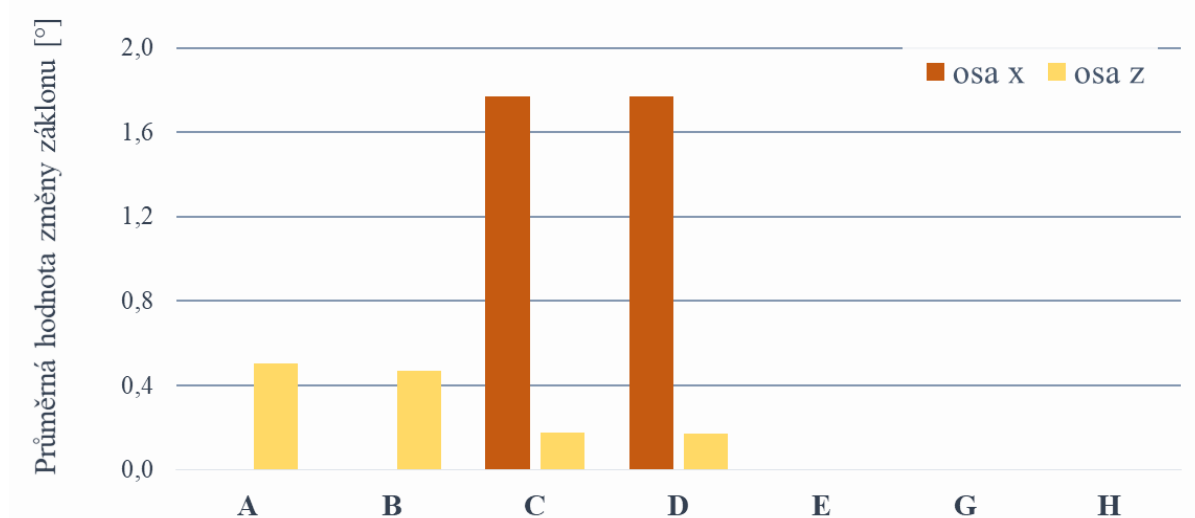
Body A a B mají na záklon velice podobný vliv, ačkoliv jejich posunutí působí v opačném smyslu. Významná je pouze jejich souřadnice v ose z. Posunutím bodu A v kladném směru osy z se zvýší záklon při záporném zdvihu a zmenší při kladném zdvihu. Posunutím bodu A v záporném směru osy z se velikost záklonu zmenší při záporném zdvihu a zvětší při kladném. Jinak řečeno charakteristika záklonu získá větší sklon, pokud bod A posuneme v záporném směru osy z a naopak se sklon sníží, posuneme-li bod A v kladném směru (viz Obr. 25). V případě bodu B dojde ke zvětšení sklonu, posunutím bodu v kladném směru osy z a ke snížení sklonu, posunutím v záporném směru. Velikost odchylky záklonu je při posunutí bodu o 20 mm v ose z, při zdvihu -80 mm $0,44^\circ$ pro bod A a $0,41^\circ$ pro bod B. Při stejném posunutí, ale zdvihu 80 mm je odchylka $0,57^\circ$ pro bod A a $0,53^\circ$ pro bod B.

Ještě výraznější vliv na průběh záklonu mají body C a D. U nich je důležitá především poloha v ose x, ale i polohou v ose z vyvolávají mírnou změnu úhlu záklonu rejdové osy. Oproti bodům A a B, způsobují buď zvýšení, nebo snížení úhlu záklonu v celém rozsah zdvihu. Posunutí bodu C v kladném směru osy x či z má za následek zvětšení záklonu a v záporném směru jeho snížení (viz Obr. 25). Bod D má opačný vliv, posunutí v kladném směru osy x nebo z zmenšuje úhel záklonu a v záporném směru jej zvětšuje. Odchylka záklonu při posunutí bodu C o 20 mm v ose x je $1,56^\circ$ pro zdvih -80 mm, $1,74^\circ$ pro zdvih 0 mm a $1,98^\circ$ pro zdvih 80 mm. Lze si všimnout, že se odchylka v průběhu narůstajícího zdvihu zvětšuje. To platí i pro posunutí o 20 mm v ose z, kde je velikost změny záklonu $0,1^\circ$ pro zdvih -80 mm, $0,16^\circ$ pro zdvih 0 mm a $0,26^\circ$ pro zdvih 80 mm. Bod D totožným posunutím způsobuje téměř stejnou velkou odchylku.



Obr. 25 Rozdíl v průběhu záklonu rejdové osy při posunutí bodů A a C o +20 mm v ose z a bodu C o +20 mm v ose x vůči referenční poloze bodů

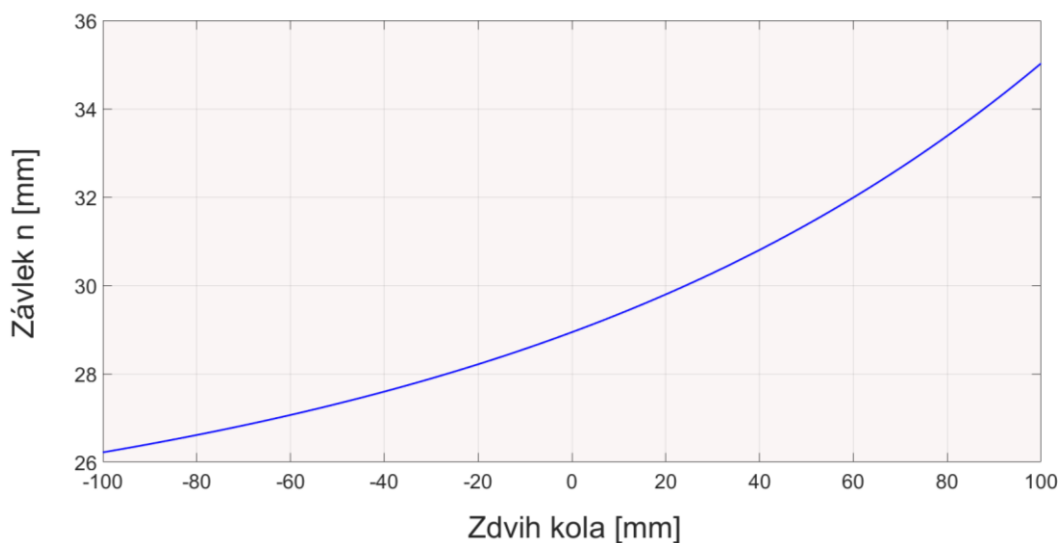
Body E, G a H nemají na úhel odklonu žádný vliv. Na Obr. 26 je možné vidět porovnání velikostí průměrných odchylek, které vznikají posunutím bodů v osách x a z. Osa y není zahrnuta, jelikož změna polohy jakéhokoliv bodu v této ose nemá na záklon žádný dopad. Nejpodstatnější je poloha bodů C a D v ose x, velikost způsobené změny úhlu záklonu výrazně převyšuje ostatní. Pro zbylé body A a B je podstatná pouze poloha v ose z, jež ovlivňuje záklon ve větší míře než poloha bodů C a D v ose z.



Obr. 26 Průměrná změna úhlu záklonu pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách x a z

3.6 ANALÝZA ZÁVLEKU

Křivka kinematické charakteristiky závleku je rostoucí a v celém rozsahu zdvihu má závlek kladnou hodnotu, což platí pro všechny varianty poloh bodů. Průběh závleku pro referenční polohu bodů je zobrazen na Obr. 27.



Obr. 27 Závislost závleku na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Hodnota závleku ve výchozí pozici (nulový zdvih) a referenční poloze bodů je 28,94 mm. Body A, B, E, G a H při posunutí tuto hodnotu v nulovém zdvihu zachovávají. Pro body C a D to platí pouze u posunutí v ose y. Na rozdíl od předešlých parametrů, je průběh závleku nějakým způsobem ovlivňován posunutím kteréhokoliv bodu, o žádném nelze říct, že by na závlek neměl vůbec vliv. Velikosti průměrných odchylek při daném posunutí a zdvihu jsou pro jednotlivé body uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek úhlu závleku od referenční hodnoty při posunutí bodů o +/-20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka závleku pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$\overline{ \Delta_{nk} }$ [mm]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,00	0,13	0,76	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,95
B	0,01	0,43	2,54	0,00	0,00	0,00	0,05	0,20	2,97
C	24,09	0,17	3,66	24,57	0,00	2,30	25,14	0,21	0,63
D	3,14	0,32	0,33	4,57	0,00	0,43	6,28	0,55	0,63
E	0,97	0,33	0,03	0,00	0,00	0,00	1,06	0,61	0,01
G	0,03	0,28	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	2,61
H	0,03	0,22	1,83	0,00	0,00	0,00	0,11	0,23	2,54

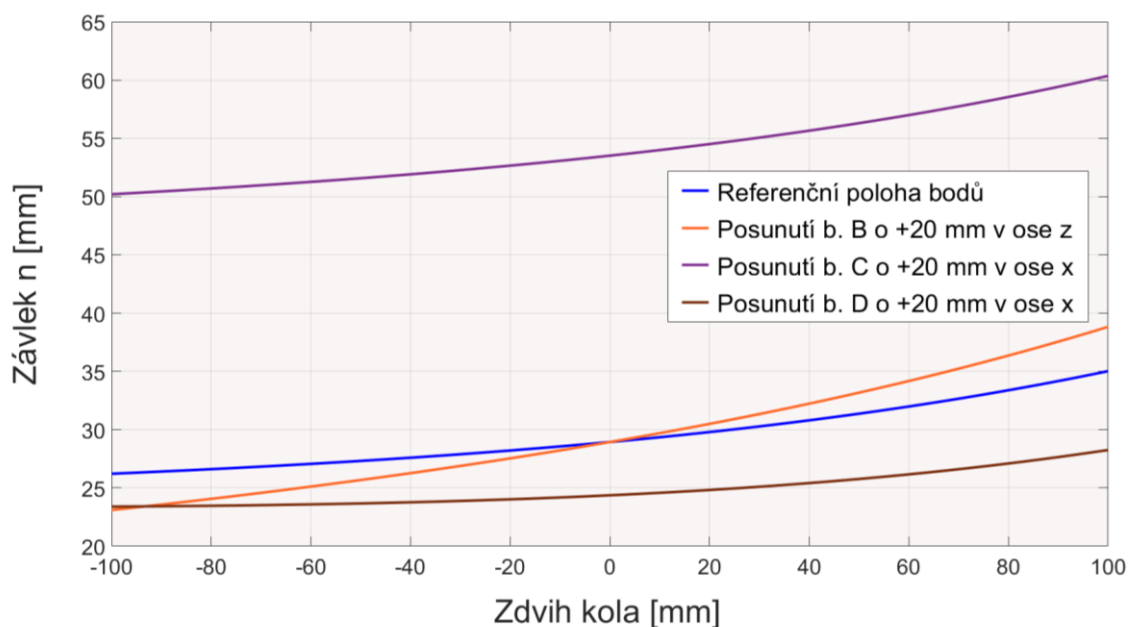
Závlek je významně ovlivňován bodem A pouze jeho z souřadnicí. Posunutím bodu A v kladném směru osy z dochází při záporném zdvihu ke zvětšení velikost závleku, při kladném ke zmenšení. Posunutí v záporném směru vyvolává opačnou změnu závleku, při záporném zdvihu se závlek zmenšuje a při kladném se zvětšuje. Rozdíl úhlu při posunutí bodu A o 20 mm v ose z a zdvihu -80 mm je 0,76 mm, při zdvihu 80 mm je 0,95 mm.

Bod B způsobuje změnu záklonu ve větší míře a v opačném smyslu než bod A. Kromě polohy v ose z, dochází také k mírnému ovlivnění závleku polohou v ose y. Pro záporný zdvih je velikost závleku větší než při referenční poloze, když je bod B posunut v záporném směru osy z nebo y, a menší je při posunutí v kladném směru osy z nebo y. V kladném zdvihu působí posun bodu přesně naopak (viz Obr. 28). Velikost odchylky při posunutí bodu B o 20 mm v ose z je 2,54 mm a v ose y 0,43 mm pro zdvih -80 mm. Při stejném posunutí, ale zdvihu 80 mm je odchylka pro osu z 2,97 mm a pro osu y 0,2 mm.

Poloha bodu C má na závlek ze všech bodů největší vliv. Posunutí bodu v kladném směru osy x způsobuje zvětšení závleku, v záporném směru naopak zmenšení, a to v celém rozsahu zdvihu přibližně o stejnou hodnotu (viz Obr. 28). Pokud je bod C posunut v kladném směru osy z, závlek se zvětší tak, že čím menší je zdvih kola, tím větší je odchylka závleku. Rozdíl

při posunutí o 20 mm v ose x je 24,09 mm pro zdvih -80 mm a 25,14 mm pro zdvih 80 mm. Při posunutí o 20 mm v ose z je rozdíl v závleku 3,66 mm pro zdvih -80 mm, 2,3 mm pro zdvih 0 mm a 0,63 mm pro zdvih 80 mm.

U bodu D jsou podstatné všechny tři souřadnice, nejvíce však x. Posunutím bodu D v kladném směru osy x, y nebo z docílíme zmenšení velikosti závleku (viz Obr. 28), ale pro osu y to platí pouze při záporném zdvihu. Při kladném zdvihu se závlek posunutím bodu v kladném směru osy y zvětšuje. Posunutí bodu v záporném směru os působí přesně opačně. Odchylka závleku při posunutí bodu D o 20 mm v ose x je 3,14 mm pro zdvih -80 mm, 4,57 mm pro zdvih 0 mm a 6,28 mm pro zdvih 80 mm. Při posunutí bodu o 20 mm v ose y je odchylka 0,32 mm pro zdvih -80 mm, 0 mm pro zdvih 0 mm a 0,55 mm pro zdvih 80 mm. Posunutím bodu o 20 mm v ose z vznikne odchylka 0,33 mm pro zdvih -80 mm, 0,43 mm pro zdvih 0 mm a 0,63 mm pro zdvih 80 mm. Velikost odchylek se tedy se zvětšujícím se zdvihem také zvětšuje.

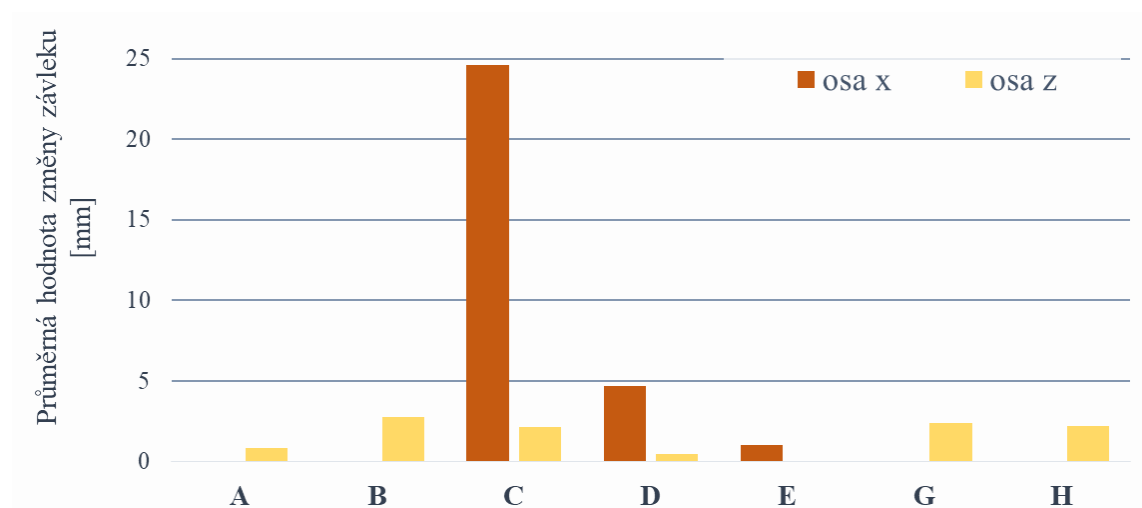


Obr. 28 Rozdíl v průběhu závleku při posunutí bodu B o +20 mm v ose z a bodů C a D o +20 mm v ose x vůči referenční poloze bodů

Bod E je poslední, u kterého je důležitá poloha v ose x. Mírná změna závleku nastává, také posunutím bodu v ose y. Posunutím bodu v kladném směru osy x se závlek při záporném zdvihu zmenšuje a při kladném zdvihu se zvětšuje. Naopak při posunutí bodu v kladném směru osy y se závlek zvětšuje v záporném zdvihu a zmenšuje v kladném. Změna závleku pro zdvih 80 mm je při posunutí o 20 mm v ose x 0,97 mm a v ose y 0,33 mm. Při zdvihu -80 mm a stejně velkém posunutí je odchylka 1,06 mm pro osu x a 0,61 mm pro osu y.

Chování závleku v závislosti na změnách polohy bodů G a H je velice podobné. Avšak ke stejnému zvětšení/zmenšení závleku dochází posunutím bodů opačným směrem. Při záporném zdvihu způsobí posunutí bodu G v kladném směru osy z zvětšení závleku, ale stejné posunutí bodu H způsobí zmenšení. Při kladném zdvihu je vliv obrácený. Odchylka závleku při posunutí o 20 mm v ose z a zdvihu -80 mm je 2,12 mm pro bod G, 1,83 mm pro bod H a při zdvihu 80 mm je 2,61 mm pro bod G, 2,54 mm pro bod H.

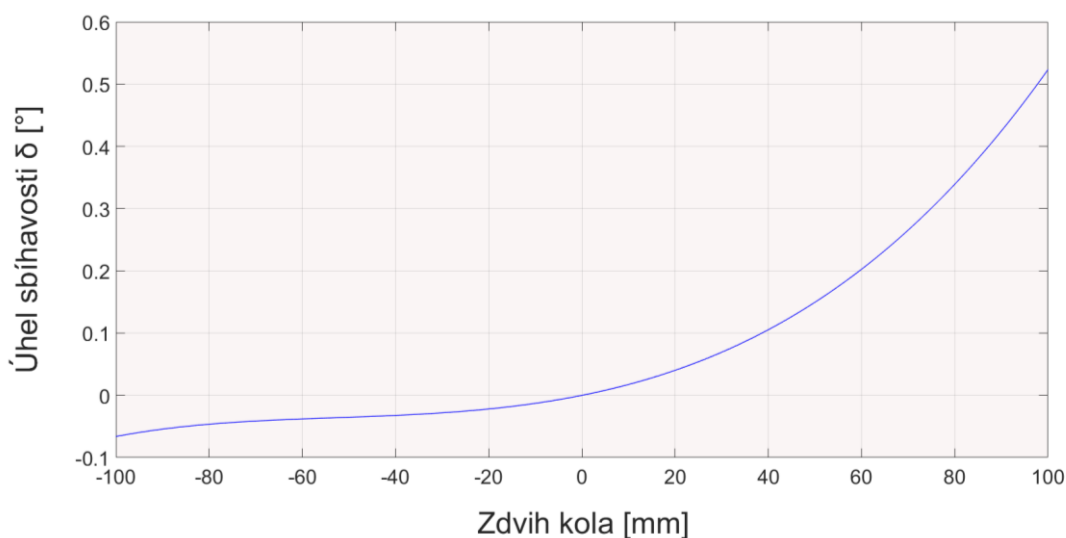
V Obr. 29 je možné vidět porovnání průměrných hodnot odchylek závleku vzniklých posunutím jednotlivých bodů v osách x a z. Osa y není zahrnuta, jelikož vliv posunutí bodů v této ose je malý. Výrazný vliv, převyšující všechny ostatní, má bod C svojí souřadnicí x. Podstatná je také jeho poloha v ose z, avšak odchylka závleku se výrazně zmenšuje s rostoucím zdvihem. Dalšími body, u kterých je důležitá poloha v ose x jsou D a E. Nicméně změna závleku zapříčiněná posunutím bodu E v ose x je poměrně nízká. Bod E se tak spolu s bodem A, u kterého je podstatná pouze souřadnice z, řadí na místo bodů vyvolávajících nejmenší změnu. Zbylé body B, G a H mění velikost závleku v závislosti na jejich poloze v ose z. Změna způsobená posunutím těchto bodů je přibližně stejně velká.



Obr. 29 Průměrná změna závleku pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách x a z

3.7 ANALÝZA SBÍHAVOSTI

Závislost úhlu sbíhavosti na zdvihu při referenční poloze bodů lze vidět na Obr. 30. Průběh má rostoucí charakter, což se však s posunutím některých bodů mění. Pro referenční polohu bodů je hodnota sbíhavosti záporná v záporném zdvihu a kladná v kladném.



Obr. 30 Závislost úhlu sbíhavosti na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Pro všechny varianty poloh bodů platí, že v nulovém zdvihu je sbíhavost také nulová, proto Tab. 7 obsahuje pouze dva sloupce zobrazující průměrné odchylky při zdvihu -80 mm a 80 mm. Tak jako o předchozím parametru se ani o sbíhavosti nedá říct, že by na ni některý z bodů neměl vůbec žádný vliv. Posunutí kteréhokoliv z bodů způsobuje významnou odchylku, a to nejčastěji při posunutí v osách y nebo z.

Tab. 7 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek úhlu sbíhavosti od referenční hodnoty při posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm a 80 mm

Odchylka úhlu sbíhavosti pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm						
$ \overline{\Delta_{\delta_0}} [^\circ]$						
Body	zdvih -80 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,01	0,26	1,54	0,02	0,10	1,52
B	0,00	0,06	0,34	0,00	0,01	0,11
C	0,01	0,25	1,64	0,08	0,11	1,59
D	0,04	0,27	0,06	0,13	0,37	0,06
E	0,04	0,27	0,03	0,14	0,37	0,05
G	0,03	0,26	2,00	0,00	0,16	1,84
H	0,03	0,20	1,73	0,08	0,16	1,79

Posunutím bodu A v ose y o 20 mm vzniká odchylka sbíhavosti, která při zdvihu -80 mm dosahuje hodnoty $0,26^\circ$ a při zdvihu 80 mm $0,1^\circ$. Pokud je bod posunut kladným směrem osy y, úhel sbíhavosti se zmenší při kladném i záporném zdvihu. Změna polohy obráceným směrem osy y působí přesně opačně. Posunutí bodu v ose z má mnohem výraznější dopad na chování sbíhavosti. Změna polohy v kladném směru osy z zvýší zápornou hodnotu sbíhavosti při záporném zdvihu a také kladnou hodnotu při kladném zdvihu. Naopak posunutím bodu v záporném směru osy z se zvětšuje sbíhavost při záporném zdvihu a zmenšuje při kladném, takže křivka závislosti je klesající. Odchylka při posunutí bodu A v ose z o 20 mm je $1,54^\circ$ pro zdvih -80 mm a $1,52^\circ$ pro zdvih 80 mm.

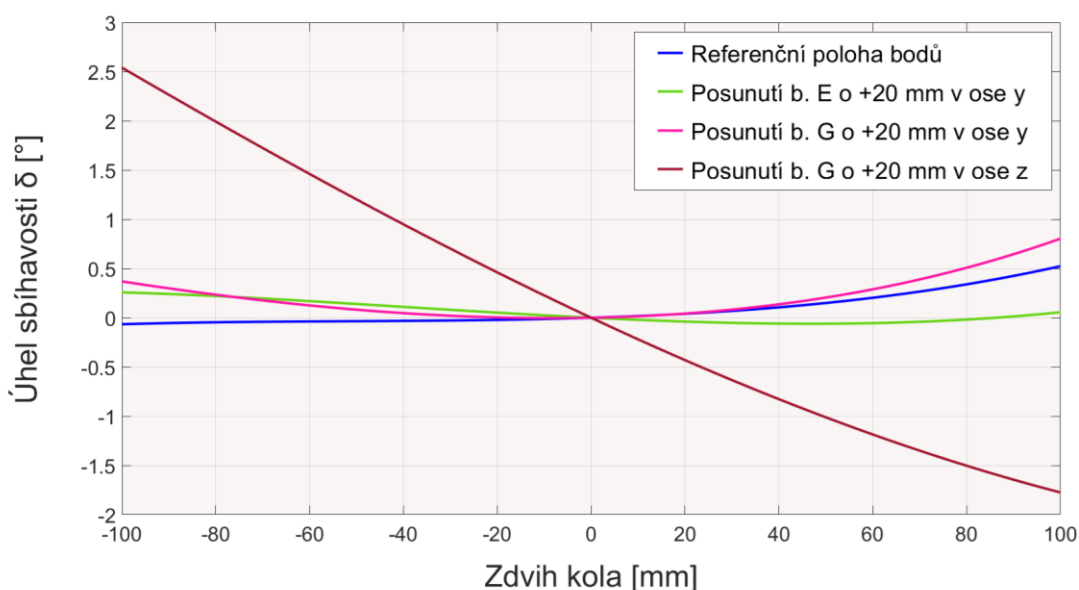
Pro bod B je důležitá souřadnice z. Tak jako pro bod A posunutí bodu v kladném směru osy z zvyšuje absolutní hodnotu sbíhavosti, s rostoucím zdvihem roste i úhel sbíhavosti. Pokud bod B posuneme v záporném směru osy z, úhel sbíhavosti se bude zvětšovat pro záporný zdvih a zmenšovat pro kladný. Nicméně odchylka sbíhavosti dosahuje v kladném zdvihu menších hodnot než v záporném zdvihu při stejném posunutí. Rozdíl v úhlu je pro posun bodu o 20 mm v ose z $0,34^\circ$ při zdvihu -80 mm a $0,11^\circ$ při zdvihu 80 mm.

Reakce sbíhavosti na posunutí bodu C v ose z je přibližně stejně velká jako u bodu A, ale je v opačném smyslu. Posunutí bodu C v kladném směru osy z zvětší sbíhavost pro záporný zdvih a zmenší pro kladný. Změna úhlu je při posunutí o 20 mm v ose z $1,64^\circ$ pro zdvih -80 mm a $1,59^\circ$ pro zdvih 80 mm. Posuneme-li bod C v kladném směru osy y, úhel sbíhavosti se zvětší a v kladném směru osy x se zmenší. Odchylka při posunutí bodu o 20 mm v ose y má velikost $0,25^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,11^\circ$ při zdvihu 80 mm. Při stejně velkém posunutí v ose x je odchylka $0,01^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,08^\circ$ pro zdvih 80 mm.

Poloha bodu D ovlivňuje sbíhavost nejvíce souřadnicí y. Posunutí bodu D v kladném směru osy x zvětšuje sbíhavost, ale v kladném směru osy y nebo z ji zvětšuje pouze při kladném zdvihu, při záporném zdvihu ji zmenšuje. Změna úhlu sbíhavosti při posunutí bodu D o 20 mm v ose x je $0,04^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,13^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose y $0,27^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,37^\circ$ pro zdvih 80 mm. V obou dvou případech lze vidět větší odchylku při kladném zdvihu, což neplatí pro osu z. Posunutím o 20 mm v ose z vznikne odchylka $0,06^\circ$ pro zdvih -80 mm a také 80 mm.

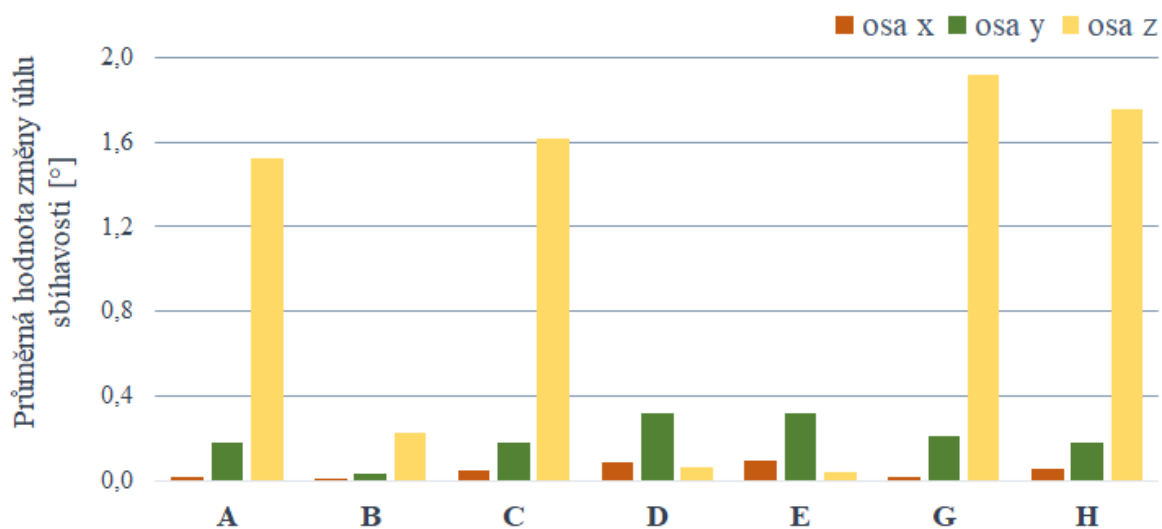
Téměř stejné hodnoty odchylek, jako v případě bodu D, vznikají také posunutím bodu E. Totožná změna polohy bodu E, jako bodu D, vyvolá opačnou reakci sbíhavosti, tam kde se v případě bodu D zvyšuje, se v případě bodu E zmenšuje (viz Obr. 31). Odchylka při posunutí bodu E o 20 mm v ose x je $0,04^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,14^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose y $0,27^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,37^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose z $0,03^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,05^\circ$ pro zdvih 80 mm.

Vliv bodů G a H se velice podobá vlivu bodů A a C (viz Obr. 31). Přesněji bod G kopíruje působení bodu C a bod H způsobuje změny sbíhavosti v opačném smyslu, takže se chová jako bod A. Vliv polohy bodu G v ose x je nepodstatný, ale v případě bodu H je vzniklá odchylka výraznější. Konkrétní odchylka při posunutí bodu G o 20 mm v ose y je $0,26^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,16^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose z 2° pro zdvih -80 mm a $1,84^\circ$ pro zdvih 80 mm. Posunutí bodu H o 20 mm v ose x vyvolává odchylku $0,03^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,08^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose y $0,2^\circ$ pro zdvih -80 mm a $0,16^\circ$ pro zdvih 80 mm, v ose z $1,73^\circ$ pro zdvih -80 mm a $1,79^\circ$ pro zdvih 80 mm.



Obr. 31 Rozdíl v průběhu sbíhavosti při posunutí bodů E a G o +20 mm v ose y a bodu G o +20 mm v ose z vůči referenční poloze bodů

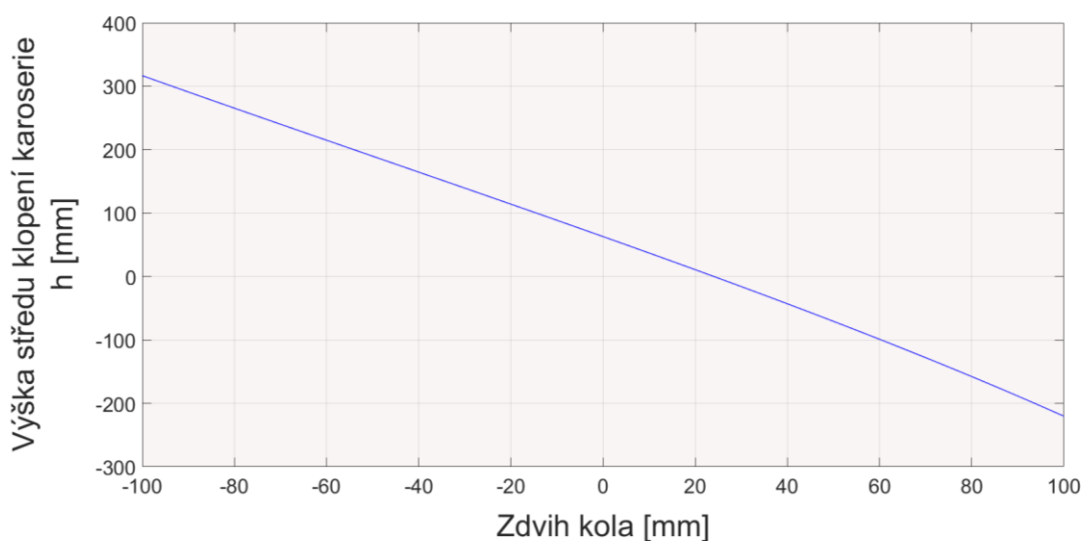
Nejdůležitějšími body z hlediska vlivu na sbíhavost jsou A, C, G a H (viz Obr. 32). Podstatná je především jejich poloha v ose z, ale také poloha v ose y má nezanedbatelný vliv na sbíhavost. Dále jsou to body D a E, jejichž poloha v ose y způsobuje mírně větší odchylku, než již zmíněné body polohou v ose y. Poslední bod B, který také ovlivňuje sbíhavost polohou v ose y, ale její vliv je mnohem menší, než v případě bodů A, C, G a H. Odchylna vznikající posunutím bodů v ose x bývá, kromě bodů D a E, nejmenší nebo je nepodstatná.



Obr. 32 Průměrná změna sbíhavosti pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách x, y a z

3.8 ANALÝZA VÝŠKY STŘEDU KLOPENÍ KAROSERIE

Výška středu klopení karoserie s rostoucím zdvihem kola klesá až do záporných hodnot. Její závislost na zdvihu kola pro referenční polohu bodů je zobrazena na Obr. 33.



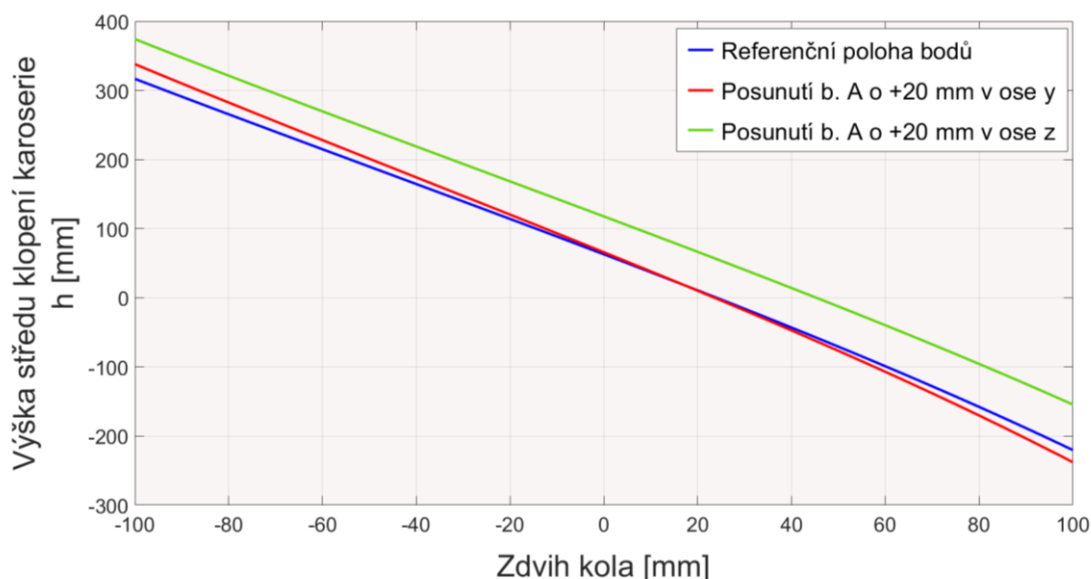
Obr. 33 Závislost výšky středu klopení karoserie na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Hodnota výšky ve výchozí poloze a při referenční poloze bodů je 62,91 mm. Pouze při posunutí bodů G a H zůstává tato hodnota v nulovém zdvihu zachována. Ačkoliv v Tab. 8 není vidět mnoho nulových odchylek, většina z nich má velmi malou nepodstatnou hodnotu. Jen několik málo bodů způsobuje významnou změnu výšky středu klopení karoserie, a to především body A a C. Je možné si všimnout, že nejmenší nebo žádnou odchylku vyvolává posunutí bodů v ose x.

Tab. 8 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek výšky středu klopení karoserie od referenční hodnoty při posunutí bodů o +/-20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka výšky středu klopení karoserie pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$\overline{ \Delta_h }$ [mm]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,78	15,91	54,50	0,32	2,75	55,07	1,61	11,65	64,47
B	0,02	0,37	1,18	0,01	0,08	1,57	0,08	0,51	3,41
C	0,93	11,72	45,09	0,29	2,46	49,36	2,42	11,35	63,72
D	0,02	5,50	1,68	0,15	9,27	1,73	0,23	15,43	1,11
E	0,04	5,59	0,59	0,10	9,36	0,98	0,19	15,42	1,61
G	0,01	0,11	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,95
H	0,01	0,09	0,72	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,93

U bodu A je podstatná poloha v ose y a z (viz Obr. 34). Posunutí bodu kladným směrem osy y zvyšuje hodnotu výšky středu klopení karoserie v levé části grafu, přibližně do zdvihu 16 mm, v pravé části grafu se hodnota výšky zmenšuje. Toto chování se podstatně liší od chování ostatních charakteristik, kde hraničním bodem mezi zvětšováním a zmenšováním byl nulový zdvih. Posunutím bodu kladným směrem osy z dochází ke zvýšení hodnoty výšky, a to v celém rozsahu zdvihu, naopak posunutím záporným směrem dochází ke snížení. Odchylka vzniklá posunutím bodu A o 20 mm v ose y je 15,91 mm pro zdvih -80 mm, 2,75 mm pro zdvih 0 mm a 11,65 mm pro zdvih 80 mm, v ose z 54,5 mm pro zdvih -80 mm, 55,07 mm pro zdvih 0 mm a 64,47 mm pro zdvih 80 mm.



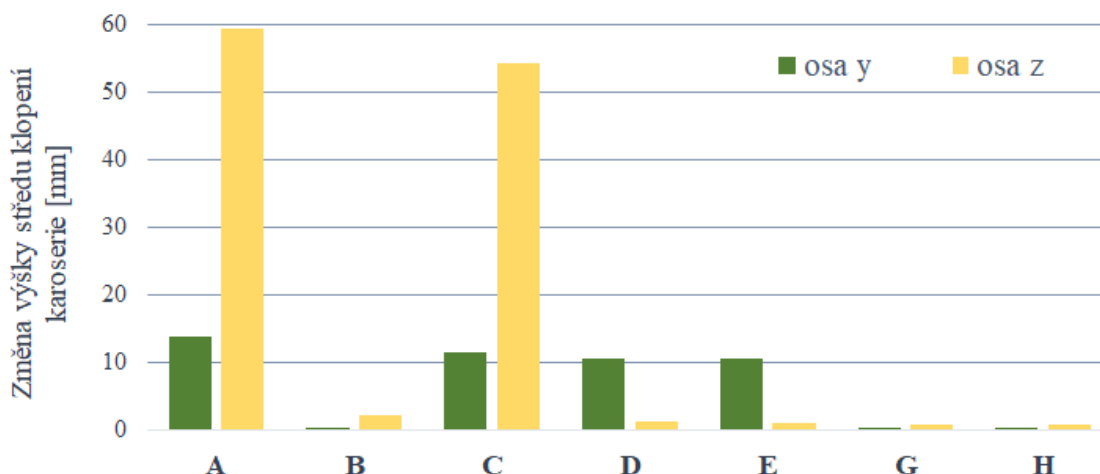
Obr. 34 Rozdíl v průběhu výšky středu klopení karoserie při posunutí bodu A o +20 mm v osách y a z vůči referenční poloze bodů

Bod B způsobuje zajímavou změnu výšky pouze svojí souřadnicí z. Posunutí bodu kladným směrem osy z zmenšuje hodnotu výšky tak, že rozdíl se s rostoucím zdvihem zvyšuje. Oproti tomu posunutí záporným směrem osy z hodnotu výšky zvětšuje, avšak její rozdíl se s rostoucím zdvihem zmenšuje. Průměrné hodnoty odchylek pro posunutí bodu B o 20 mm v ose z jsou 1,18 mm pro zdvih -80 mm, 1,57 mm pro zdvih 0 mm a 3,41 mm pro zdvih 80 mm. Nicméně přesné odchylky při posunutí bodu B o -20 mm v ose z jsou 2,03 mm pro zdvih -80 mm a 2,3 mm pro zdvih 80 mm, při posunutí o +20 mm v ose z jsou 0,34 mm pro zdvih -80 mm a 4,52 mm pro zdvih 80 mm. Tudíž k nejvýraznější změně výšky dochází při posunutí bodu B kladným směrem osy z a kolo má kladný zdvih.

Vliv změny polohy bodu C je téměř stejný jako bodu A, pouze působí v opačném smyslu. Posunutí bodu C v kladném směru osy y zmenšuje hodnotu výšky v levé části grafu a přibližně od zdvihu 15 mm ji zvětšuje. Posunutí v kladném směru osy z zmenšuje hodnotu výšky v celém rozsahu zdvihu. Odchylka výšky při posunutí bodu C o 20 mm v ose y je 11,72 mm pro zdvih -80 mm, 2,46 mm pro zdvih 0 mm a 11,35 mm pro zdvih 80 mm. Při stejné velké posunutí v ose z je odchylka 45,09 mm pro zdvih -80 mm, 49,36 mm pro zdvih 0 mm a 63,72 mm pro zdvih 80 mm.

Body D a E mají velice podobný účinek na chování charakteristiky výšky středu klopení karoserie. Jedinou významnou souřadnicí pro tyto body je y. Posunutí bodu D v kladném směru osy y způsobuje zmenšení hodnoty výšky, posunutí bodu E stejným směrem naopak vyvolává zvýšení její hodnoty. Posunutí bodů v záporném směru osy y působí přesně opačně. Odchylka vzniklá posunutím bodu D o 20 mm v ose y je 5,5 mm pro zdvih -80 mm, 9,27 mm pro zdvih 0 mm a 15,43 mm pro zdvih 80 mm. Stejně posunutí v případě bodu E vyvolá změnu výšky 5,59 mm pro zdvih -80 mm, 9,36 mm pro zdvih 0 mm a 15,42 mm pro zdvih 80 mm. V obou případech vidíme výrazné zvětšování odchylek s rostoucím zdvihem.

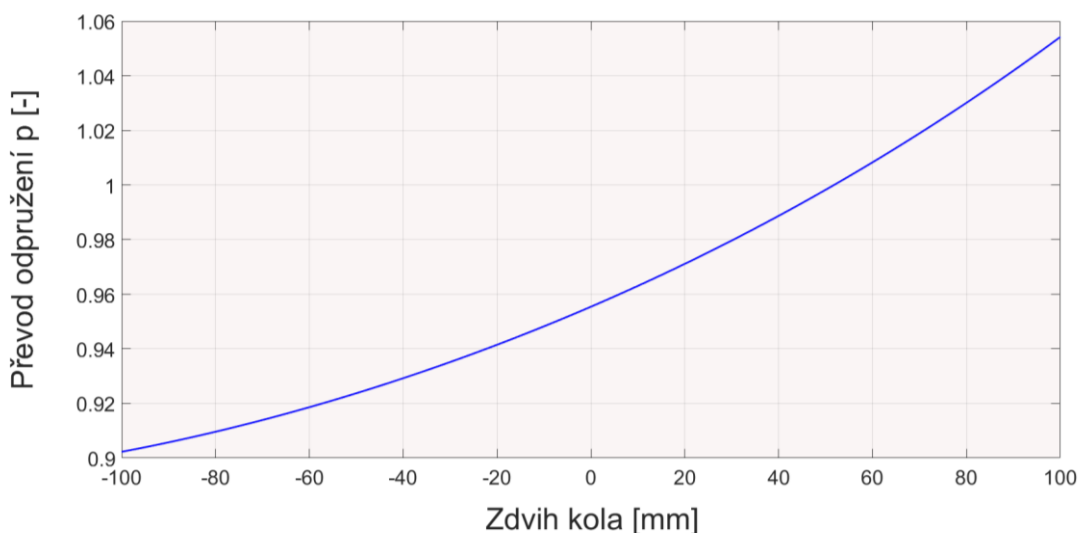
Vliv bodů G a H není blíže zmíněn, jelikož, jak je i vidět na Obr. 36, nemají tyto body z hlediska změny výšky středu klopení karoserie podstatný vliv. Ani poloha bodu B nemá moc výrazný dopad na hodnotu výšky. Oproti tomu body A a C, D a E způsobují posunutím v ose y důležitější změnu výšky, která se pohybuje kolem 10 mm. Nejvýznamnější je poloha bodů A a C v ose z, která vyvolává několikanásobně větší odchylku výšky než předchozí případy.



Obr. 36 Průměrná změna výšky středu klopení karoserie pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách y a z

3.9 ANALÝZA PŘEVODU ODPRUŽENÍ

Průběh charakteristiky převodu odpružení pro referenční polohu bodů ukazuje Obr. 35. Hodnota převodu odpružení má kladnou hodnotu a s rostoucím zdvihem se zvětšuje, tak jako u všech ostatních variant poloh bodů.



Obr. 35 Závislost převodu odpružení na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Převod odpružení při nulovém zdvihu a referenční poloze bodů má velikost 0,955. Tuto hodnotu při nulovém zdvihu zachovává pouze několik málo bodů, pokud se hodnota převodu vlivem posunutí bodu zvětší/zmenší, tak většinou v celém průběhu. Z toho důvodu Tab. 9 obsahuje sloupec s hodnotami odchylek i pro nulový zdvih.

Tab. 9 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek převodu odpružení od referenční hodnoty při posunutí bodů o ± 20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

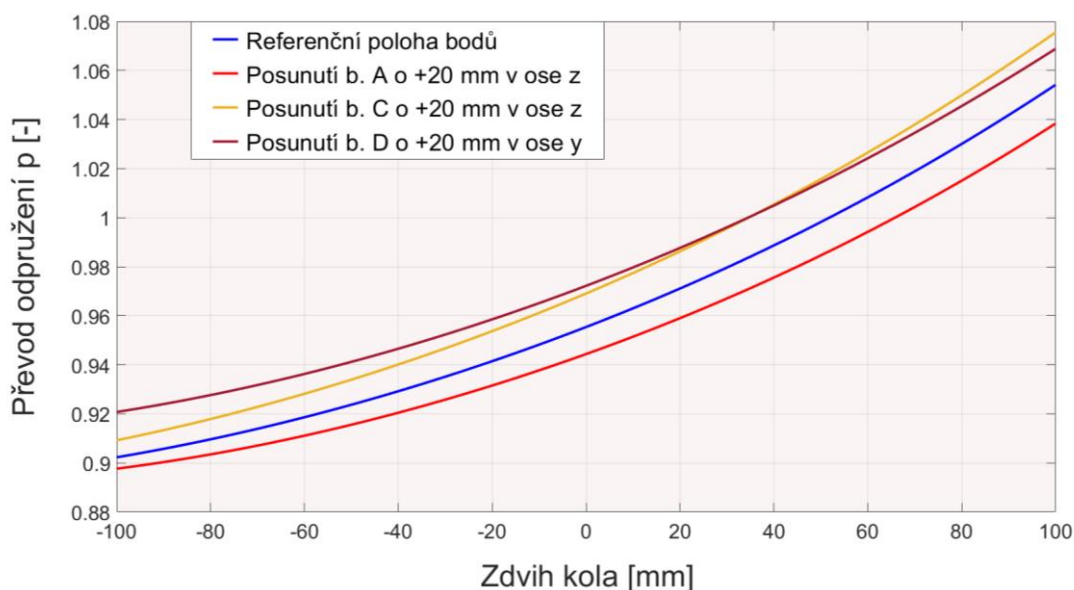
Odchylka převodu odpružení pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$\overline{ \Delta_{po} }$ [-]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,000	0,002	0,007	0,000	0,001	0,011	0,000	0,002	0,014
B	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,004
C	0,000	0,002	0,008	0,000	0,001	0,013	0,002	0,004	0,019
D	0,001	0,018	0,003	0,002	0,017	0,003	0,003	0,015	0,001
E	0,000	0,008	0,001	0,000	0,012	0,001	0,000	0,018	0,002
G	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,005
H	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,005

Významná změna převodu odpružení nastává pouze vlivem posunutí bodu A v ose z. Posunutí bodu kladným směrem osy z zmenšuje velikost převodu pro celý rozsah zdvihu a záporným směrem ji naopak zvětšuje (viz Obr. 37). Odchylka se s rostoucím zdvihem zvětšuje, při posunutí bodu A o 20 mm v ose z je její velikost 0,007 pro zdvih -80 mm, 0,011 pro zdvih 0 mm a 0,014 pro zdvih 80 mm.

Vliv bodu B na převod odpružení je v podstatě stejný jako vliv bodu A, ale velikost odchylky je výrazně menší. Posunutím bodu B o 20 mm v ose z vznikne odchylka 0,003 pro zdvih -80 mm, 0,004 pro zdvih 0 mm a 0,004 pro zdvih 80 mm.

U bodu C je nejdůležitější poloha v ose z. Chování průběhu charakteristiky je velice podobné jako u bodu A, změna převodu je pouze v opačném smyslu a má větší velikost (viz Obr. 37). Posun bodu C kladným směrem osy z vyvolá zvýšení hodnoty převodu. Rozdíl vzniklý posunutím bodu C o 20 mm v ose z je 0,008 pro zdvih -80 mm, 0,013 pro zdvih 0 mm a 0,019 pro zdvih 80 mm.

Bod D na rozdíl od předchozích bodů způsobuje změnu převodu odpružení svojí polohou v ose y. Posunutí kladným směrem osy y vyvolá zvětšení hodnoty převodu a záporným směrem naopak zmenšení, vzniklý rozdíl se s rostoucím zdvihem zmenšuje (viz Obr. 37). Odchylka převodu při posunutí bodu D o 20 mm v ose y je 0,018 pro zdvih -80 mm, 0,017 pro zdvih 0 mm a 0,015 pro zdvih 80 mm.

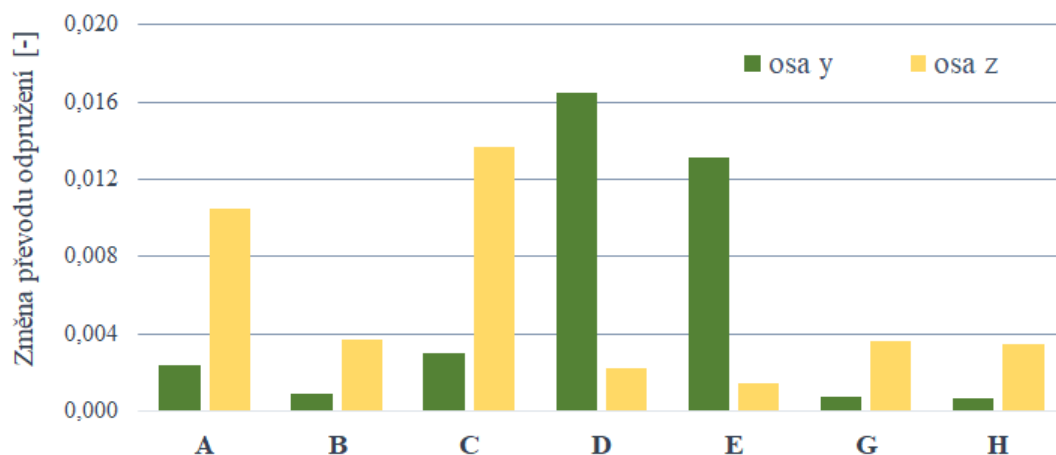


Obr. 37 Rozdíl v průběhu převodu odpružení při posunutí bodů A a C o +20 mm v ose z a bodu D o +20 mm v ose y vůči referenční poloze bodů

Důležitou souřadnicí bodu E je, tak jako u bodu D, souřadnice y. Posunutím bodu E kladným směrem osy y se hodnota převodu odpružení zmenšuje a výsledná odchylka se s rostoucím zdvihem zvětšuje. Velikost změny převodu způsobené posunutím bodu E o 20 mm v ose y je 0,008 pro zdvih -80 mm, 0,012 pro zdvih 0 mm a 0,018 pro zdvih 80 mm.

Body G a H mají na průběh převodu odpružení stejný vliv. Jediný rozdíl je, pokud bod G posuneme kladným směrem osy z hodnota převodu se sníží, posuneme-li bod H stejným směrem, hodnota se zvýší. Posunutím bodu G nebo H o 20 mm vznikne stejně velká odchylka 0,002 pro zdvih -80 mm, 0,003 pro zdvih 0 mm a 0,005 pro zdvih 80 mm.

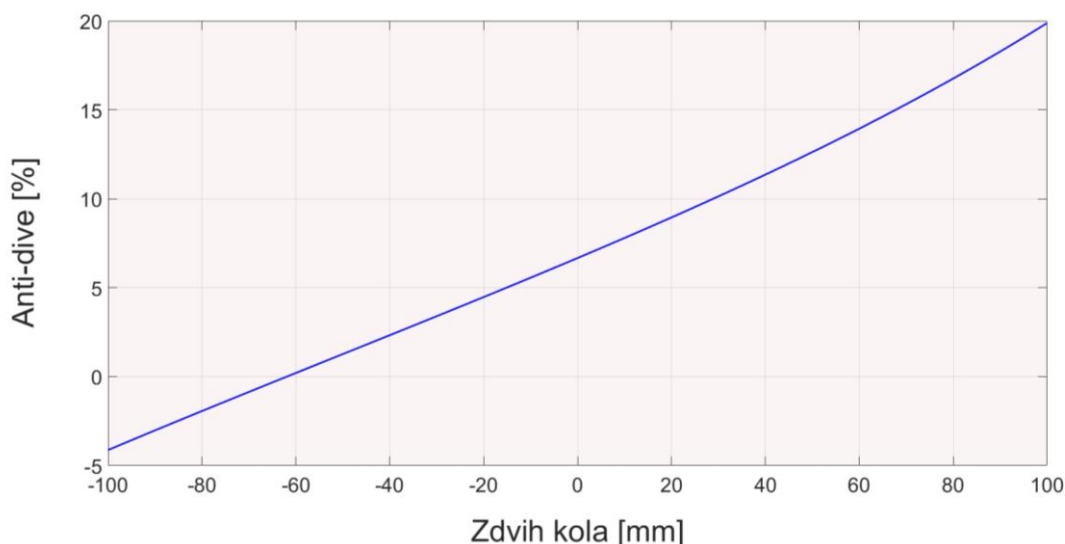
Na Obr. 38 můžeme vidět porovnání průměrných velikostí změn převodu odpružení způsobených posunutím jednotlivých bodů v osách y a z. Osa x není zahrnuta, protože posunutí bodů v této ose má na převod nepodstatný nebo žádný vliv. Body, které způsobují největší změnu převodu, jsou A, C, D a E. U bodů D a E je významná pouze souřadnice y, u ostatních bodů je důležitá poloha v ose z a z nich body B, G a H ovlivňují převod odpružení nejméně.



Obr. 38 Průměrná změna převodu odpružení pro zdvih +/-80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách y a z

3.10 ANALÝZA ANTI-DIVE

Charakteristika anti-dive pro referenční polohu bodů je rostoucí, což platí také pro všechny ostatní varianty poloh bodů. Na Obr. 39 lze vidět, že hodnota anti-dive je ze začátku (zdvih -100 mm až cca -60 mm) záporná, poté přechází do kladných hodnot.



Obr. 39 Závislost anti-dive na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Hodnota anti-dive při referenční poloze bodů a nulovém zdvihu je 6,67 %. Posunutí bodů většinou způsobí zvětšení nebo zmenšení anti-dive i ve výchozí poloze, avšak při posunutí bodů G či H zůstává tato hodnota zachována (viz Tab. 10). Kromě posunutí v ose z a y, drobné změny hodnoty anti-dive vyvolává i posunutí ose x. Vliv změny polohy jednotlivých bodů na průběh anti-dive je podrobněji popsán na dalších stránkách.

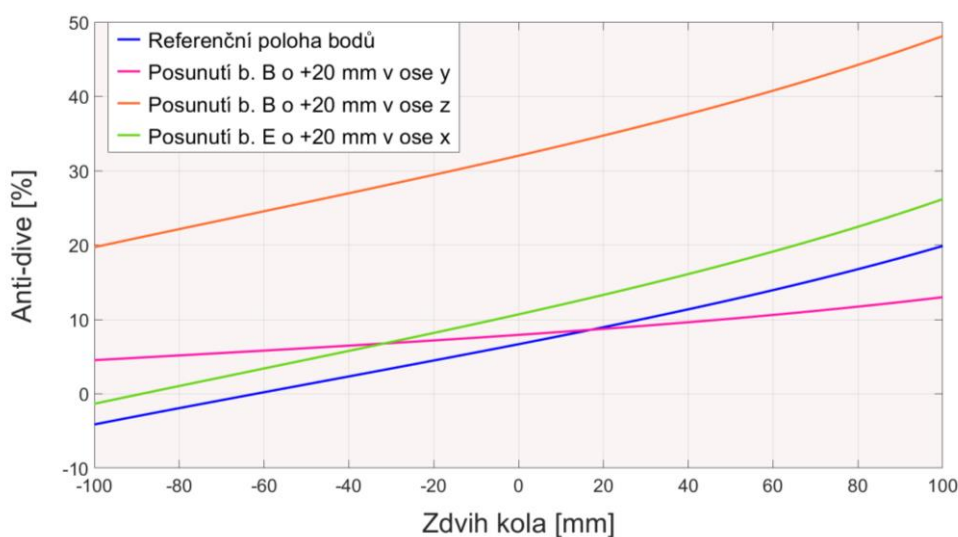
Tab. 10 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek anti-dive od referenční hodnoty při posunutí bodů o +/-20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

Odchylka anti-dive pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$ \Delta_{AD} $ [%]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,38	7,76	26,34	0,16	1,36	27,29	0,75	5,48	29,38
B	0,35	7,11	24,09	0,15	1,26	25,31	0,70	5,06	27,36
C	0,05	0,67	2,65	0,02	0,14	2,78	0,12	0,63	3,47
D	2,99	0,04	0,27	4,01	0,10	0,40	5,68	0,42	0,67
E	2,99	0,04	0,20	4,03	0,09	0,26	5,72	0,41	0,34
G	0,00	0,04	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,48
H	0,00	0,03	0,24	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,47

Body A a B působí na průběh anti-dive téměř stejně, jediným rozdílem je, že k dosažení stejné změny anti-dive je třeba posunout body v opačném směru. Posunutí bodu A v kladném směru osy y vyvolá zvýšení sklonu charakteristiky, která protíná referenční křivku závislosti přibližně při zdvihu 17 mm. Stejným posunutím bodu B dosáhneme naopak snížení sklonu (viz Obr. 40). Pokud je bod A posunut kladným směrem osy z, anti-dive se zmenší v celém rozsahu zdvihu, v případě bodu B se jeho hodnota zvětší (viz Obr. 40). Odchylka způsobená posunutím bodu A o 20 mm v ose y je 7,76 % pro zdvih -80 mm, 1,36 % pro zdvih 0 mm a 5,48 % pro zdvih 80 mm, v ose z 26,34 % pro zdvih -80 mm, 27,29 % pro zdvih 0 mm a 29,38 % pro zdvih 80 mm. Jestliže bod B posuneme o 20 mm v ose y, vznikne odchylka 7,11 % pro zdvih -80 mm, 1,26 % pro zdvih 0 mm a 5,06 % pro zdvih 80 mm, při stejném posunutí v ose z bude odchylka 24,09 % pro zdvih -80 mm, 25,31 % pro zdvih 0 mm a 27,36 % pro zdvih 80 mm.

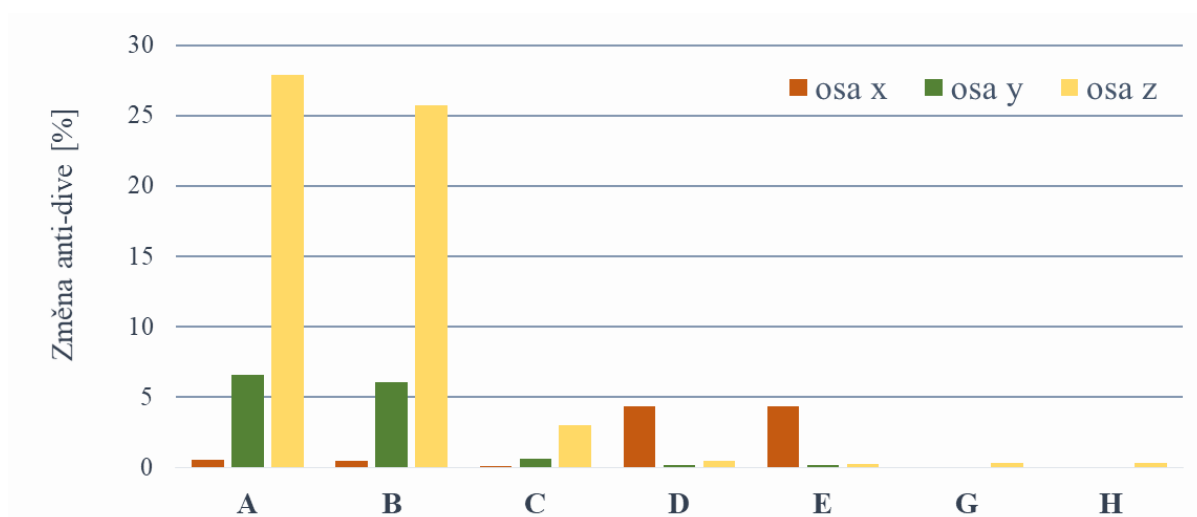
Jedinou souřadnicí bodu C, která způsobuje významnou změnu hodnoty anti-dive je souřadnice z. Posunutí bodu C kladným směrem osy z vyvolá zvětšení anti-dive. Změníme-li polohu bodu C v ose z o 20 mm, vznikne rozdíl v anti-dive oproti původní hodnotě o velikosti 2,65 % pro zdvih -80 mm, 2,78 % pro zdvih 0 mm a 3,47 % pro zdvih 80 mm.

Body D a E jako jediné způsobují rozdílný průběh anti-dive změnou polohy v ose x. Posunutím bodu D kladným směrem osy x se zmenší hodnota anti-dive a vzniklá odchylka se s rostoucím zdvihem zvětšuje, posunutím záporným směrem se hodnota naopak zvětší. Změna polohy bodu E působí obráceně, velikost anti-dive se zvětší při posunutí bodu kladným směrem osy x (viz Obr. 40) a zmenší při posunutí záporným směrem. Odchylka anti-dive způsobená posunutím bodu D o 20 mm v ose x je 2,99 % pro zdvih -80 mm, 4,01 % pro zdvih 0 mm a 5,68 % pro zdvih 80 mm. Stejným posunutím bodu E vznikne odchylka 2,99 % pro zdvih -80 mm, 4,03 % pro zdvih 0 mm a 5,72 % pro zdvih 80 mm.



Obr. 40 Rozdíl v průběhu anti-dive při posunutí bodu B o +20 mm v osách y a z a bodu E o +20 mm v ose x vůči referenční poloze bodů

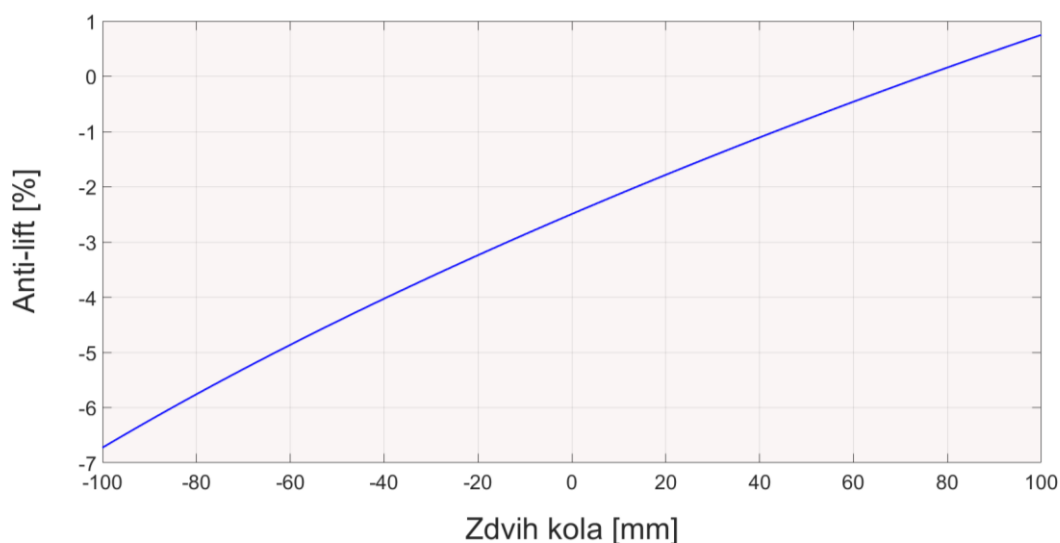
Obr. 41 zobrazující průměrnou odchylku anti-dive pro zdvih ± 80 mm jednoznačně ukazuje, že nejvýznamnější jsou body A a B a především jejich poloha v ose z. Výrazně menší, ale stále důležitou změnu anti-dive způsobují i polohou v ose y. Dále je to dvojice bodů D a E a jejich poloha v ose x. Posledním bodem, který ještě podstatně ovlivňuje anti-dive, je bod C a jeho poloha v ose z. Zbylé body G a H nezpůsobují žádnou významnou změnu anti-dive.



Obr. 41 Průměrná změna anti-dive pro zdvih ± 80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách x, y a z

3.11 ANALÝZA ANTI-LIFT

Charakteristika anti-lift pro referenční polohu bodů je, tak jako anti-dive, rostoucí (viz Obr. 42). Pro téměř celý rozsah zdvihu má anti-lift zápornou hodnotu, až do zdvihu přibližně 75 mm, kde přechází do kladných hodnot.



Obr. 42 Závislost anti-lift na zdvihu kola pro referenční polohu bodů

Velikost anti-lift ve výchozí pozici kola a při referenční poloze bodů je -2,5 %. Body ovlivňují anti-lift velice podobným způsobem jako anti-dive. Jenom velikost odchylek je menší. Významnou změnu anti-lift způsobují body A a B posunutím v ose z, naopak odchylka vyvolaná body G a H je nepodstatná

Tab. 11 Aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek anti-lift od referenční hodnoty při posunutí bodů o +/-20 mm v osách x, y, z a zdvihu -80 mm, 0 mm a 80 mm

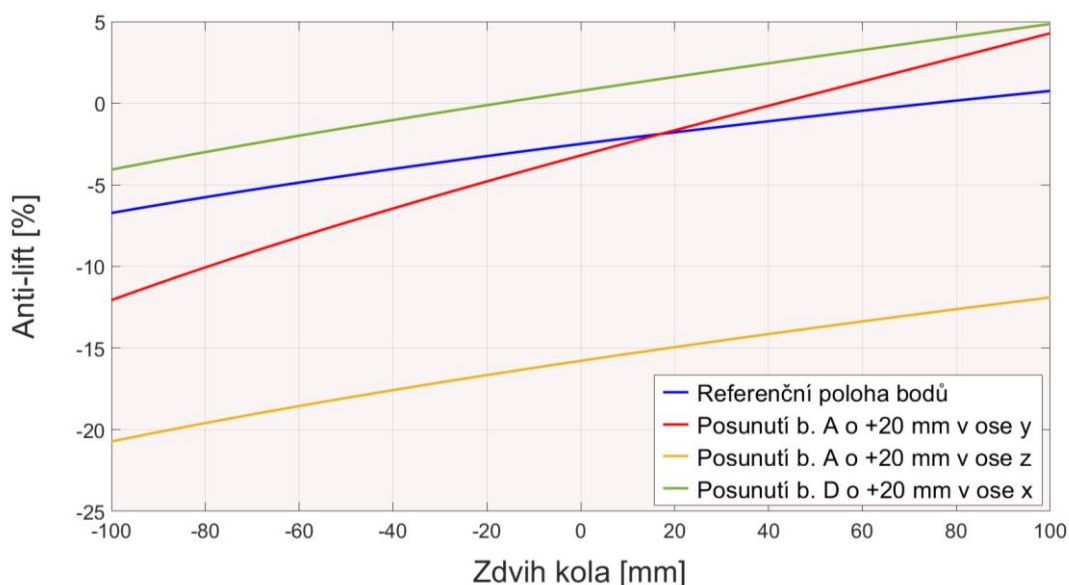
Odchylka anti-lift pro daný zdvih a posuv bodů o 20 mm									
$\overline{ \Delta_{AL} }$ [%]									
Body	zdvih -80 mm			zdvih 0 mm			zdvih 80 mm		
	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z	osa x	osa y	osa z
A	0,20	4,04	13,86	0,08	0,67	13,36	0,34	2,48	12,92
B	0,18	3,75	12,98	0,07	0,62	12,40	0,31	2,26	11,67
C	0,02	0,31	1,14	0,01	0,07	1,36	0,07	0,33	1,86
D	2,75	0,03	0,23	3,23	0,08	0,32	3,86	0,21	0,46
E	2,75	0,02	0,18	3,24	0,07	0,21	3,88	0,20	0,24
G	0,00	0,03	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,27
H	0,00	0,02	0,18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,27

Stejnou změnou polohy bodů A a B dostaneme téměř stejně velkou odchylku anti-lift. Posuneme-li bod A kladným směrem osy y, hodnota anti-lift se zmenší, to platí v levé části grafu přibližně do zdvihu 17 mm, poté se jeho hodnota zvětšuje. Pokud je bod A posunut kladným směrem osy z dojde ke snížení hodnoty anti-lift v celém rozsahu zdvihu a záporným směrem k její zvýšení (viz Obr. 43). Stejně posunutí bodu B jako bodu A vytváří přesně opačnou změnu než u bodu A. Velikost odchylky při posunutí bodu A o 20 mm v ose y je 4,04 % pro zdvih -80 mm, 0,67 % pro zdvih 0 mm a 2,48 % pro zdvih 80 mm, v ose z je 13,86 % pro zdvih -80 mm, 13,36 % pro zdvih 0 mm a 12,92 % pro zdvih 80 mm. Rozdíl hodnoty anti-lift způsobený posunutím bodu B o 20 mm v ose y je 3,75 % pro zdvih -80 mm, 0,62 % pro zdvih 0 mm a 2,26 % pro zdvih 80 mm, v ose z je 12,98 % pro zdvih -80 mm, 12,40 % pro zdvih 0 mm a 11,67 % pro zdvih 80 mm.

Bod C způsobuje významnou změnu hodnoty anti-lift posunutím v ose z. Posunutí bodu kladným směrem osy z zvyšuje anti-lift v celém průběhu, záporným směrem naopak zmenšuje. Odchylka vzniklá posunutím bodu C o 20 mm v ose z je 1,14 % pro zdvih -80 mm, 1,36 % pro zdvih 0 mm a 1,86 % pro zdvih 80 mm.

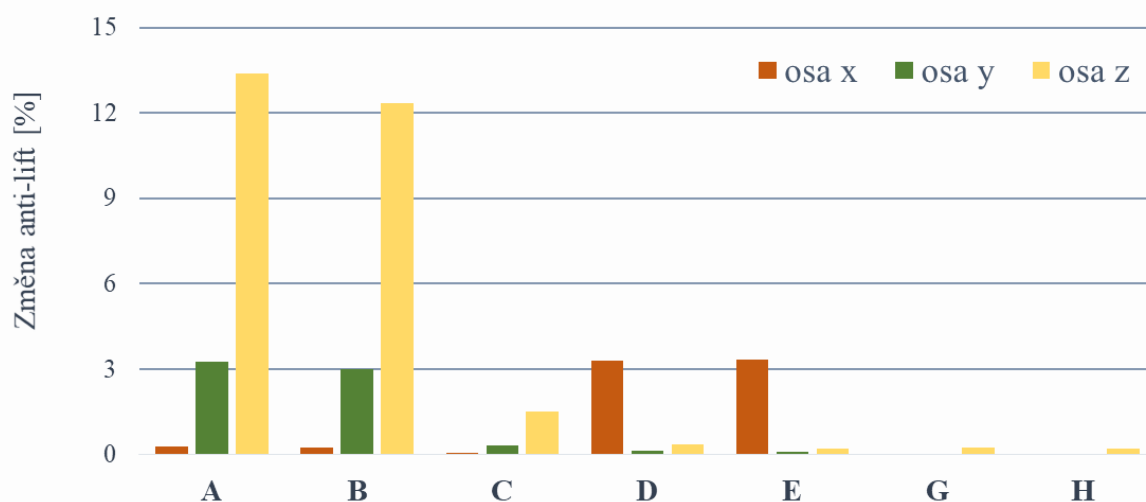
Reakce závislosti anti-lift na změnu polohy bodů D a E je téměř stejná jako u anti-dive, jenom je v opačném smyslu. Posunutí bodu D kladným směrem osy x způsobí zvětšení hodnoty anti-lift (viz Obr. 43), záporným směrem její zmenšení. Totožným posunutím bodu E

dosáhneme protichůdné reakce, posunutí bodu E kladným směrem osy x způsobí zmenšení velikosti anti-lift, záporným směrem její zvětšení. Změna polohy bodu D v ose x o 20 mm vyvolá odchylku 2,75 % pro zdvih -80 mm, 3,23 % pro zdvih 0 mm a 3,86 % pro zdvih 80 mm, v případě bodu E bude odchylka 2,75 % pro zdvih -80 mm, 3,24 % pro zdvih 0 mm a 3,88 % pro zdvih 80 mm.



Obr. 43 Rozdíl v průběhu anti-lift při posunutí bodu A o +20 mm v osách y a z a bodu D o +20 mm v ose x vůči referenční poloze bodů

Tak jako u parametru anti-dive jsou nejvýznamnější body A a B, které svojí polohou především v ose z, ale i v ose y, velmi ovlivňují hodnotu anti-lift. Tyto dva body leží na spodním rameni zavěšení, jejich umístění tak přímo určuje sklon ramene, a tudíž i polohu středu klonění kola, na kterém závisí hodnota anti-lift i anti-dive. Dále můžeme na Obr. 44 vidět významnou odchylku vyvolanou změnou polohy bodů D a E v ose x. Mírnou odchylku vytváří i bod C posunutím v ose z. Body G a H podstatnou změnu hodnoty anti-lift nepůsobují.



Obr. 44 Průměrná změna anti-lift pro zdvih +/-80 mm a při posunutí bodů o 20 mm v osách x, y a z

ZÁVĚR

Parametry geometrie kol můžeme rozdělit na ty, které se zobrazují v příčné rovině jako odklon, příklon rejdivé osy, poloměr rejdu nebo v podélné rovině záklon rejdivé osy, závlek. U první skupiny se dá předpokládat, že změna polohy bodů v ose x na ně nebude mít vliv a důležitá bude poloha v osách y a z. U druhé skupiny zase nebude podstatná poloha v ose y, ale změna polohy v osách x a z může způsobit výraznou změnu. Což mimo jiné potvrzuje Tab. 12, ve které jsou pomocí rozdílných barev označeny body a osy podle toho, jak velkou změnu kinematických charakteristik jejich posunutí v dané ose způsobí.

Tab. 12 Barevné znázornění citlivosti jednotlivých kinematických charakteristik na posunutí bodů v daných osách

		ODKLON	PŘÍKLON REJDVÉ OSY	POLOMĚR REJDU	ZÁKLON REJDVÉ OSY	ZÁVLEK	SBÍHAVOST	VÝŠKA STŘEDU KLOPENÍ	PŘEVOD ODPRUŽENÍ	ANTI-DIVE	ANTI-LIFT
A	x										
	y										
	z										
B	x										
	y										
	z										
C	x										
	y										
	z										
D	x										
	y										
	z										
E	x										
	y										
	z										
G	x										
	y										
	z										
H	x										
	y										
	z										

VELKÁ ZMĚNA
 STŘEDNÍ ZMĚNA
 MALÁ ZMĚNA
 ŽÁDNÁ/VELMI MALÁ ZMĚNA

Pokud bychom chtěli změnit úhel odklonu, bylo by nejefektivnější zaměřit se na polohu bodů D a E v ose y. Jelikož tyto body leží na vzpěře zavěšení, tak na jejich poloze v ose y závisí její příčné naklonění. Dále menší změny odklonu je možné dosáhnout posunutím bodů A nebo C v ose z. Oba dva body spolu s bodem B leží na spodním rameni, nicméně poloha bodu B nemá na odklon žádný vliv, což může být vysvětleno tím, že leží v ose x mnohem dál od středu kola a ovlivňuje tak osu kývání jiným způsobem než zmíněné dva body. Poslední dvojice bodů, která má na odklon ještě mírný vliv, jsou body G a H a jejich poloha v ose z.

Příklon rejdové osy nejvíce ovlivňují body, jak už název napovídá, kterými prochází rejdová osa, těmi jsou C a D. Nejvýraznější změna nastává při jejich posunutí v ose y a mírnější při posunutí v ose z nebo také změnou polohy bodu A v ose z.

Poloměr rejdu a příklon rejdové osy spolu úzce souvisí, tudíž i vliv bodů je podobný. Bod C leží blíže u povrchu vozovky než bod D, takže změna jeho polohy v osách y a z má větší dopad na chování poloměru rejdu, než stejná změna polohy bodu D. Drobnou výjimkou je bod E, který polohou v ose y způsobuje malou změnu poloměru.

Záklon rejdové osy a závlek se oproti předchozím parametrům určují v podélné rovině vozidla, z toho důvodu bude více záležet na poloze bodů v ose x než v ose y, ale zároveň jejich velikost závisí na rejdové ose, proto je nejvíce ovlivňují stejné body. Největší změnu záklonu způsobuje tedy posunutí bodů C a D v ose x, a malou změnu posunutí v ose z. Potom ještě středně velká změna nastává v důsledku posunutí bodů A nebo B v ose z. Velké změny závleku lze dosáhnout posunutím bodu C v ose x, o něco menší změny posunutím bodu D v ose x. Mírný vliv na závlek má poloha bodů B, C, G a H v ose z.

Sbíhavost je víceméně citlivá na polohu všech bodů, nejvíce však na svislou (osa z) polohu bodů A, C, G a H. Dále je to poloha bodů A, C, D, E, G a H v ose y a u bodu B poloha v ose z. Jen malá změna nastává posunutím bodů C a H v ose x a bodů D a E v osách x i z.

Poloha středu klopení karoserie, a tak i jeho výška závisí na sklonu vzpěry a spodního ramene v příčné rovině vozidla. Z toho důvodu je nejdůležitější poloha bodů A a C v ose z, o něco menší změnu způsobují body A, C, D a E svojí polohou v ose y. Nakonec bod B, který posunutím v ose z vyvolává malou změnu výšky.

Pro změnu převodu odpružení je vhodné se zaměřit na polohu bodu D v ose y. Další body, které způsobují středně velkou změnu převodu, jsou A a C posunutím v ose z a E posunutím v ose y. Drobné změny můžeme dosáhnout posunutím bodů B, G a H v ose z a bodu C v ose y.

Parametry anti-dive a anti-lift závisí mimo jiné na poloze středu klonění kola, která se odvíjí od sklonu vzpěry a spodního ramene v podélné ose vozidla. Proto nejdůležitější, z hlediska změny charakteristik těchto parametrů, jsou body A a B a jejich poloha v ose z, o něco menší změnu způsobuje jejich poloha v ose y. Pro parametr anti-lift jsou to také body D a E se svojí polohou v ose x. V případě anti-dive vyvolává poloha bodů D a E v ose x jen malou změnu. Podobně je na tom bod C, jenž polohou v ose z ovlivňuje v malé míře anti-dive i anti-lift.

Obecně se dá říct, že nejdůležitější je poloha bodů C, D a A, jelikož má vliv na většinu charakteristik. Nicméně taková vlastnost není vždy žádoucí např., když chceme změnit jen jednu charakteristiku a posunutím těchto bodů bychom si rozhodili i ostatní. V takovém případě je lepší využít body E, G a H.

Vypracovaná kinematická analýza se vztahuje na přední nápravu se zavěšením typu MacPherson. Rešeršní část práce obsahuje popis parametrů geometrie kol, jejich vlivu na jízdní vlastnosti a chování vozidla. Kinematické charakteristiky těchto parametrů byly následně analyzovány. Důležitou součástí je také popis zvoleného zavěšení MacPherson.

K vytvoření analýzy mi byla poskytnuta data obsahující informace o různých polohách 7 vybraných bodů zavěšení a o průběhu tomu odpovídajících kinematických charakteristik. Na základě sledování měnících se charakteristik v závislosti na rozdílných polohách bodů jsem zhodnotila, jak moc jsou jednotlivé charakteristiky citlivé na změnu polohy daných bodů.

Výsledky by mohly sloužit jako návod v případě, kdy je požadována změna některé kinematické charakteristiky. Jednoduchý přehled potom umožňuje rychle najít bod a směr, ve kterém je potřeba jej posunout, aby bylo dosaženo dané změny. Podobnou analýzu lze provést také pro jiné typy zavěšení, pouze vybrané body by se lišily tak, aby odpovídaly danému zavěšení.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] GILLESPIE, Thomas. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.
- [3] MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas. *Race Car Vehicle Dynamics*. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.
- [4] DIXON, John. *Tires, suspension and handling*. 2nd ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, c1996. ISBN 1-56091-831-4.
- [5] SAJDL, Jan. Záklon rejdové osy a závlek. In: Autolexicon.net [online]. Česká republika: Sajdl, c2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/zaklon-rejdove-osy-a-zavlek/>
- [6] HAGERMAN, John. Caster, Camber, Toe. *Grassroots Motorsports* [online]. 2014, **31**(5), 1-9 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://www.ozebiz.com.au/racetech/theory/align.html>
- [7] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [8] TOMÁŠEK, Pavel. *Návrh zadní nápravy formule SAE* [online]. Brno, 2008 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ka2E11EiRygJ:https://core.ac.uk/download/pdf/30306292.pdf+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Portěš.
- [9] ZAWADA, Jakub a Justin CORDES. Effect of anti-lift kit (ALK). In: Whiteline Performance UK | Engineered Suspension Components [online]. Dunfermline: Whiteline Performance UK, c2020, February 15, 2019 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://ukwhitelineperformance.com/blogs/whiteline-blog/effect-of-anti-lift-kit-alk>
- [10] SAJDL, Jan. Náprava MacPherson (McPherson). In: Autolexicon.net [online]. Česká republika: Sajdl, c2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>
- [11] What does a strut do for a car: To Strut or Not to Strut. In: *London's Automotive* [online]. Corvallis: London's Automotive, c2020, 9 October 2017 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://londonsauto.com/to-strut-or-not-to-strut/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

B_1	[N]	Brzdná síla
F_z	[N]	Radiální zatížení kola
G_p	[N]	Statické zatížení nápravy
h	[mm]	Výška středu klopení karoserie
H	[mm]	Výška těžiště
L	[mm]	Rozvor kol
M_G	[N·mm]	Gyroskopický moment
M_σ	[N·mm]	Celkový vratný moment řízených kol
n_k	[mm]	Závlek
n_{p1}	[mm]	Rameno síly, na kterém působí boční síla levého kola
n_{p2}	[mm]	Rameno síly, na kterém působí boční síla pravého kola
ρ	[%]	Procento brzdné síly na přední nápravě
ρ_o	[-]	Převod odpružení
r_0	[mm]	Poloměr rejdu
r_2	[mm]	Rameno síly, na kterém působí složka svislé síly
S_1	[N]	Boční síla na levém kole
S_2	[N]	Boční síla na pravém kole
t	[%]	Procento hnací síly na přední nápravě
y_1	[mm]	Pružné vybočení pneumatiky
γ	[°]	Úhel odklonu kola
δ_0	[°]	Úhel sbíhavosti
Δ_{AD}	[%]	Odchylka anti-dive
Δ_{AL}	[%]	Odchylka anti-lift
Δ_h	[mm]	Odchylka výšky středu klopení karoserie
Δ_{nk}	[mm]	Odchylka závleku
Δ_p	[-]	Odchylka převodu odpružení
Δ_{r0}	[mm]	Odchylka poloměru rejdu
δ_s	[°]	Střední úhel rejdu
Δ_γ	[°]	Odchylka úhlu odklonu
Δ_{δ_0}	[°]	Odchylka úhlu sbíhavosti
Δ_σ	[°]	Odchylka úhlu příklonu rejdové osy
Δ_τ	[°]	Odchylka úhlu záklonu rejdové osy

θ_{cf}	[°]	Úhel ramene kývání přední nápravy (střed kola-střed klonění)
θ_{gf}	[°]	Úhel ramene kývání přední nápravy (vozovka-střed klonění)
θ_{gfi}	[°]	Ideální úhel ramene kývání přední nápravy
σ	[°]	Příklon rejdové osy
τ	[°]	Záklon rejdové osy