



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

STABILIZAČNÍ SYSTÉMY JEDNOSTOPÝCH VOZIDEL

STABILIZATION SYSTEMS OF MOTORCYCLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bohumil Honek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bohumil Honek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Stabilizační systémy jednostopých vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci této práce by měl vzniknout přehled a popis mechanických i elektronických stabilizačních systémů jednostopých vozidel pro běžné i závodní použití.

Cíle bakalářské práce:

Popis základních principů jízdy jednostopého vozidla z pohledu dynamiky.
Stručný přehled historického vývoje stabilizačních systémů.
Vliv konstrukčních prvků a celkové geometrie motocyklu na stabilitu jízdy.
Popis možností a provedení dodatečných elektronických stabilizačních systémů.
Odhad budoucího vývoje.

Seznam doporučené literatury:

KREITH, F. The CRC Handbook of Mechanical Engineering. 1. vyd. 1998. ISBN 978-0-8493-0866-6.
MILLIKEN, W., MILLIKEN, D. Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.
GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

V rámci této bakalářské práce vzniknul ucelený přehled a popis stabilizačních systémů jednostopých vozidel, mechanických i elektronických. Je zde rozebrán též vliv konstrukce motocyklu na jeho stabilitu a jízdní dynamiku včetně stručného historického vývoje jednotlivých komponent. Práce dále poskytuje výhled do blízké budoucnosti v oblasti stability motocyklů a strojů jim podobných, včetně autorova kritického zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

jednostopé vozidlo, motocykl, stabilita, stabilizace, konstrukce, dynamika, bezpečnost

ABSTRACT

In terms of this bachelor's thesis, the author created a comprehensive overview and description of mechanical and electronic stabilizing systems of one-track vehicles. This thesis furthermore deals with the impact of a vehicle's structure on its stability and riding dynamics and also includes a brief historical development of the individual components. This thesis then offers an outlook into the close future of vehicles' and similar machinery's stability, followed by the author's critical evaluation.

KEYWORDS

single-track vehicle, motorcycle, stability, stabilization, construction, dynamics, safety

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HONEK, B. *Stabilizační systémy jednostranných vozidel*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Lubor Zháňal. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136976>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubora Zháňala, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Bohumil Honek

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Luboru Zháňalovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi k tématu poskytnul a jeho lidský přístup. Dále děkuji mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole a po celou dobu jeho trvání mě podporovala. V neposlední řadě děkuji přátelům, bez nichž bych studium jistě nedokončil.

OBSAH

Úvod	10
1 Dynamika jednostopého vozidla.....	11
1.1 Základní pojmy dynamiky	11
1.2 Konstrukční parametry ovlivňující jízdní dynamiku jednostopého vozidla	12
1.3 Stabilita jednostopého vozidla	13
2 Vliv konstrukce motocyklu na jeho stabilitu	16
2.1 Rám motocyklu.....	16
2.2 Odpružení a tlumení motocyklu	20
2.3 Pneumatiky	27
3 Stabilizační systémy.....	30
3.1 Tlumič řízení.....	30
3.2 Aerodynamická křídélka	31
3.3 ABS.....	32
3.4 CBS.....	33
3.5 TCS	35
3.6 Anti-wheelie.....	36
3.7 LC	36
4 Komplexní stabilizace motocyklu.....	39
4.1 MSC	39
4.2 Semi-aktivní odpružení.....	40
5 Budoucnost stabilizačních systémů	43
5.1 Trysková stabilizace	43
5.2 Yamaha MOTOROiD.....	44
5.3 Honda Riding Assist Concept.....	46
Závěr	49
Použité informační zdroje.....	50
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	55

Úvod

Motocykl je jednostopé vozidlo, jehož původní koncepce vychází z jízdního kola neboli bicyklu. První motocykly se objevují na konci devatenáctého století. S vývojem spalovacích motorů a zvyšováním jejich výkonů bylo brzy zjištěno, že bude třeba věnovat pozornost též stabilitě stroje, později také jeho dodatečné stabilizaci při dynamických jízdních situacích.

Ve vztahu k jednostopým vozidlům lze stabilitu chápat jako možnost dané vozidlo ovládat. Tedy řídit směr, jímž se pohybuje, a rychlost, které dosahuje. Ztráta stability se rovná ztrátě kontroly nad pohybem vozidla.

Stabilizační systém je mechanické či elektronické zařízení, jehož úkolem je zabránit ztrátě kontroly nad vozidlem, případně jej opětovně uvést do stabilního stavu pro zachování maximální možné bezpečnosti.

Bohužel ani veškeré nejmodernější stabilizační systémy v kombinaci s pokročilým návrhem vhodné konstrukce motocyklu nejsou jistou zárukou, že jezdec vždy dorazí na svém stroji bezpečně do cíle. Svě o tom jistě ví také Marc Marquez, který je na Obr. 1 zachycen při velmi nepříjemné demonstraci ztráty stability během druhé kvalifikace velké ceny Malajsie 2019.



Obr. 1 Ztráta stability při kvalifikaci MotoGP [56]

1 DYNAMIKA JEDNOSTOPÉHO VOZIDLA

Pohyb jednostopého vozidla, stejně jako všech ostatních hmotných těles a jejich soustav, lze sledovat ze dvou hledisek, kinematického a dynamického. První kapitola této práce se bude věnovat dynamické stránce pohybu jednostopých vozidel. Nejprve je věnována pozornost základním pojmům dynamiky z obecného, fyzikálního hlediska. V další části jsou pak rozebrány nejdůležitější konstrukční parametry ovlivňující jízdní dynamiku jednostopého vozidla.

1.1 ZÁKLADNÍ POJMY DYNAMIKY

Dynamika nezkoumá pouze pohyb samotný, ale zejména jeho příčiny a změny. Nejdůležitější veličinou dynamiky je síla. Síla je totiž příčinou pohybu a také jeho změn. Dalšími důležitými veličinami dynamiky jsou hmotnost a hybnost [1].

SÍLA

Síla F je vektorová fyzikální veličina, která charakterizuje vzájemné působení fyzikálních objektů (těles a polí). Základní jednotkou síly je Newton [2].

$$[F] = N = m \cdot kg \cdot s^{-2} \quad (1)$$

HMOTNOST

Hmotnost m je aditivní vlastnost hmoty, která vyjadřuje míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků dvou na sebe vzájemně působících těles. Její základní jednotkou je kilogram [3].

HYBNOST

Hybnost je vektorová fyzikální veličina definovaná jako součin hmotnosti a okamžité rychlosti hmotného tělesa. Z hlediska dynamiky tato veličina nejvhodněji charakterizuje pohybový stav tělesa.

Základními zákony dynamiky jsou 3 Newtonovy pohybové zákony:

1. Zákon setrvačnosti:
Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit.
2. Zákon síly:
Velikost zrychlení, které hmotnému tělesu uděluje výslednice sil, je přímo úměrná velikosti výslednice těchto sil a nepřímo úměrná hmotnosti hmotného tělesa. Tento zákon je vyjádřen vztahem

$$a = \frac{F}{m}, \quad (2)$$

kde F je výslednice sil působících na těleso a m je hmotnost tělesa.

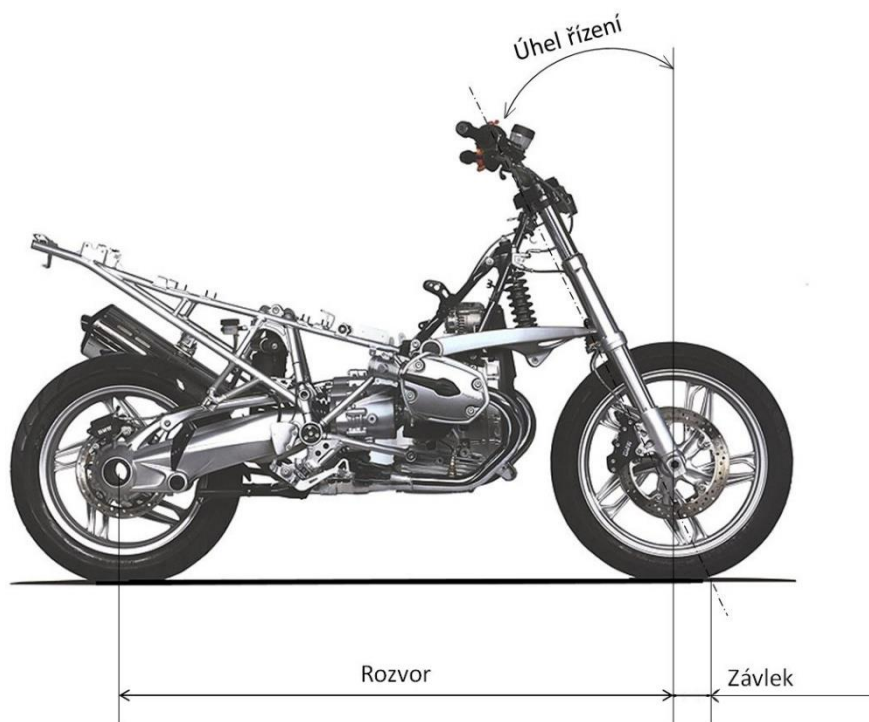
3. Zákon akce a reakce:
Působí-li první těleso na druhé silou, působí i druhé těleso na první stejně velkou silou opačného směru. Tyto síly vznikají a zanikají současně [2].

1.2 KONSTRUKČNÍ PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ JÍZDNÍ DYNAMIKU JEDNOSTOPÉHO VOZIDLA

Vzhledem k povaze konstrukce jednostopého vozidla je ve většině případů nutné brát v potaz nejen vozidlo samotné, ale soustavu vozidla a jezdce. Chování jezdce má z pohledu dynamiky zcela zásadní vliv na chování této soustavy a nemůže tedy být opomíjeno. Tato část práce je však věnována pouze základním konstrukčním parametrům, které nejzásadněji ovlivňují jízdní dynamiku jednostopého vozidla.

Těžiště je hmotný střed tělesa. U sériově vyráběných motocyklů se těžiště nachází nejčastěji v těsné blízkosti palivové nádrže. „Na polohu těžiště má vliv mnoho komponent, zejména však geometrie rámu a konstrukce motoru, resp. počet a uspořádání válců motoru. V případě umístění těžiště směrem k přední části se snižuje ovladatelnost a klesá tendence ke kmitání přední vidlice. Naopak v případě posunu směrem dozadu nastane odlehčení přední části motocyklu, což má za následek jeho lepší ovladatelnost. Nižší umístění těžiště má pozitivní vliv na stabilitu motocyklu v nižších rychlostech, zatímco těžiště ve vyšší poloze má lepší vliv na stabilitu ve vyšších rychlostech. Důležité je také posouzení umístění těžiště z hlediska celku, tj. stroje i s jezdce, kdy je možné pomocí úpravy polohy řídítek nebo stupaček do jisté míry pohybovat s těžištěm.“ [4]

Rozvor kol je definován jako podélná vzdálenost mezi kontaktními body kol s povrchem vozovky. Jeho velikost se mění v závislosti na typu a kategorii motocyklu. Obecně se pohybuje od 1 200 mm pro maloobjemové skútry až po 1 600 mm u kategorie velkých cestovních strojů. Sportovní motocykly mívají rozvor kolem 1450 mm. Spolu s úhlem řízení a závlekem je znázorněn na Obr. 2 [7].



Obr. 2 Rozvor kol, úhel řízení a závlek [6]

Při zvětšení rozvoru dochází ke znatelnému snížení torzní tuhosti rámu, což nepříznivě ovlivňuje chování a ovladatelnost motocyklu. Dále dochází ke zvětšení celkové délky motocyklu, a s tím i k nežádoucímu nárustu jeho hmotnosti. Zvětšuje se též poloměr otáčení, a tím se zhoršují manévrovací schopnosti stroje. Na druhou stranu delší rozvor umožňuje lepší rozdělení zatížení při akceleraci i brzdění, snižuje tedy pravděpodobnost převrácení a má pozitivní vliv na směrovou stabilitu, především ve vyšších rychlostech [4] [7].

Úhel řízení, označován také jako úhel sklonu osy přední vidlice, je úhel mezi svislou osou a osou rotace přední části motocyklu, respektive osou hlavy řízení. Jedná se o velice důležitý parametr při konstrukci jednostopých vozidel. O tom svědčí fakt, že u moderních motocyklů je možné regulovat tento úhel v závislosti na jízdním stylu jezdce a charakteru trati, na které se nachází [12] [5]. Dle kategorie motocyklu se úhel řízení pohybuje od 21° u sportovních motocyklů až po 34° v případě velkých cestovních strojů.

Zvětšením úhlu řízení je dosaženo lepšího stabilizačního účinku na přední vidlici. Naopak v případě menšího úhlu řízení je přední vidlice více namáhána a stává se ohybově i torzně snáze deformovatelnou. V krajním případě hrozí vznik nebezpečných vibrací v přední části kolem osy řízení. Velikost úhlu řízení úzce souvisí s dalším parametrem, kterým je závlek předního kola [4].

Závlek je vzdálenost bodu styku kola s vozovkou (kolmice na vozovku ze středu kola) a prodloužení šikmé osy řízení měřená v rovině vozovky. Podobně jako u předchozích parametrů i velikost závleku závisí na typu motocyklu. V případě předního kola se u běžných motocyklů jedná nejčastěji o 75 mm až 100 mm, u zadního kola se tato vzdálenost velmi liší, především kvůli různému rozvoru kol.

S rostoucí délkou závleku předního kola je dosaženo především lepší stability motocyklu při vyšších rychlostech. Větší závlek v kombinaci s nízkým zatížením přední vidlice značně zlepšuje také stabilitu v malých rychlostech, čehož se dá využít u motocyklů s menším úhlem sklonu přední vidlice [4] [7].

1.3 STABILITA JEDNOSTOPÉHO VOZIDLA

V průběhu jízdy jednostopého vozidla je nutné zachování jeho stability. Stabilita je však velmi abstraktní pojem, který zpravidla vnímá každý jezdec subjektivně.

„Hranici mezi stabilitou a nestabilitou lze chápat jako moment ztráty kontroly nad vozidlem. Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby k tomu nedošlo během jízdy v provozu.“ [8]

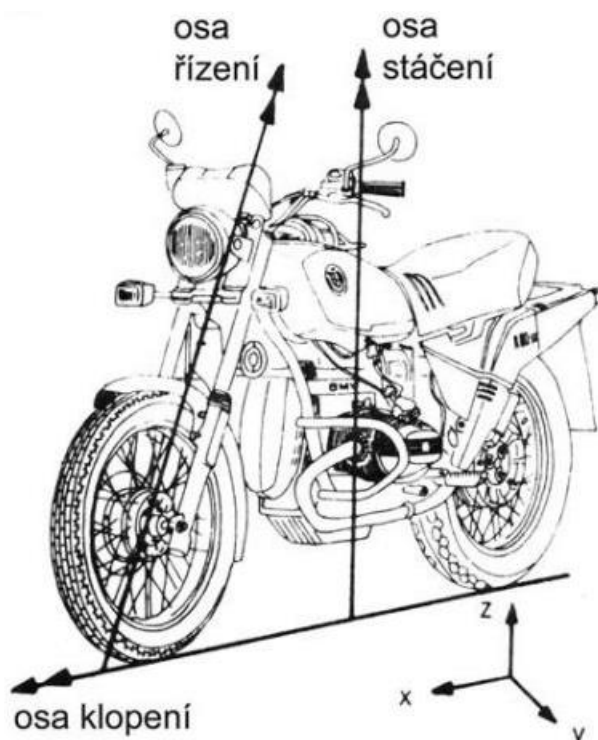
Z pohledu mechaniky není jednostopé vozidlo stále stejně stabilní. Nejvíce se tato jeho vlastnost mění v závislosti na rychlosti, kterou se pohybuje.

Pro popis pohybu jednostopého vozidla používáme třírozměrnou referenční soustavu dle ISO 4130. Tato soustava se skládá ze tří os a tří na ně kolmých rovin, Obr. 3.

- dynamika podélná (osa x) – směr jízdy,
- dynamika příčná (osa y),
- dynamika svislá (osa z).

Hlavní otáčivé pohyby jednostopého vozidla:

- klopení kolem osy x ve styku kol s vozovkou,
- klonění kolem příčné osy y ,
- stáčení kolem svislé osy z [10].



Obr. 3 Základní pohyby jednostopého vozidla [7]

Pokud se jednostopé vozidlo nachází v klidu a nepůsobí-li a něj žádné další těleso, jako např. stojan, má tendenci se překlápět. Nejstabilnější stav, kterého je v takovém případě schopno dosáhnout, se nazývá labilní rovnováha. Ani tohoto stavu však jednostopé vozidlo nedosáhne samovolně. „Musí na něj působit vnější síla, která ustálí motocykl do polohy, v níž se těžiště vozidla dostane svisle nad plošku, která je omezena spojnicemi obrysů dotykových ploch přední a zadní pneumatiky se zemí.“ [9]

V nízkých rychlostech je stabilita jednostopého vozidla velmi výrazně závislá na umění řidiče, jeho schopnosti rychle a přesně přenášet těžiště a natáčet řídítka kolem osy řízení do vhodné polohy. Se zvyšující se rychlostí řidiči pomáhají setrvačné vlastnosti vozidla, vlastnosti pneumatik, a především gyroskopické momenty.

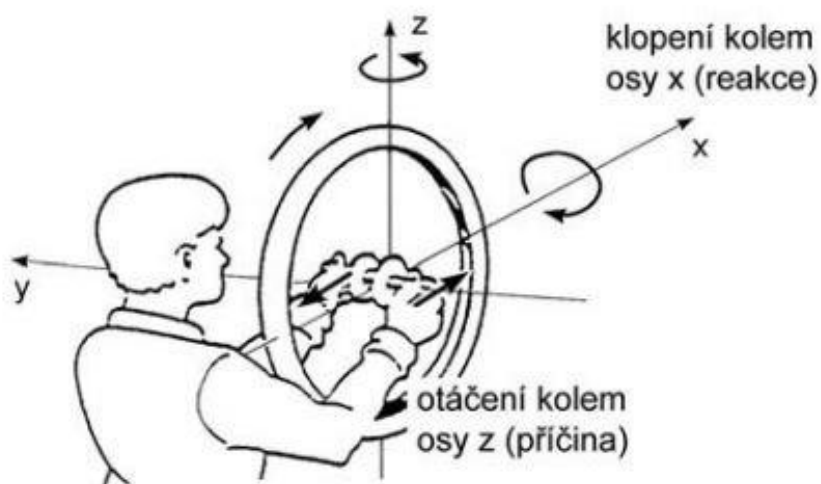
Gyroskop není v podstatě nic jiného než rychle rotující kolo, jaké známe např. právě z motocyklu. Má velmi vysokou osovou stabilitu neboli silnou tendenci zachovávat si polohu své roviny rotace v prostoru. Díky této vlastnosti je o mnoho jednodušší udržet motocykl stabilní při vyšší rychlosti. Rychle rotující kola jej díky gyroskopickým momentům udržují jak ve vzpřímené poloze, tak v přímém směru jízdy. Tyto momenty však nepůsobí pouze v případě přímé jízdy [7].

Pro gyroskopický moment vzhledem k podélné ose x (Obr. 4) platí vztah

$$M_{Gx} = J \cdot \omega_y \cdot \omega_z, \quad (3)$$

kde J je hmotnostní moment setrvačnosti kola vzhledem k ose otáčení, ω_y je úhlová rychlost otáčení kola a ω_z je úhlová rychlost natáčení kola kolem svislé ose z (řídící pohyb kola).

„Smysl působení gyroskopického momentu je například takový, že natočí-li se řídítka vlevo, gyroskopický moment se snaží naklopit stroj vpravo. Klopí-li se stroj vlevo, jsou gyroskopickým momentem řídítka natáčena také doleva.“ [7]



Obr. 4 Gyroskopický moment při natočení řídítek vlevo [7]

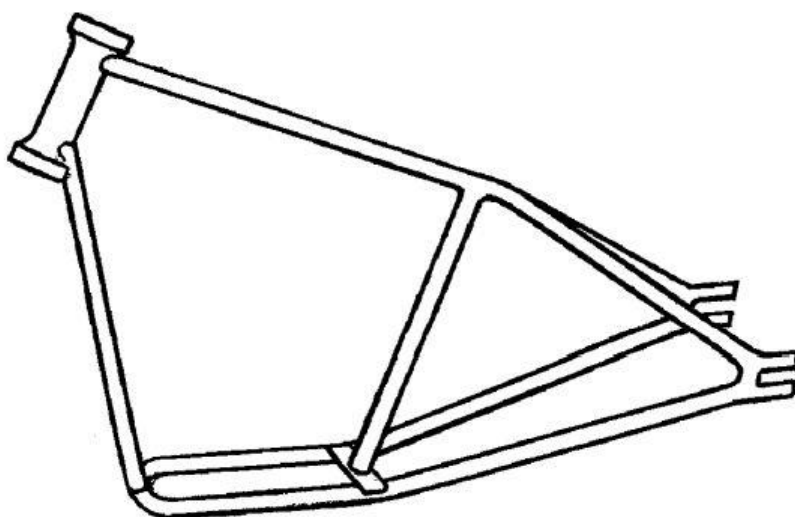
2 VLIV KONSTRUKCE MOTOCYKLU NA JEHO STABILITU

Na vozidla obecně je možno nahlížet ze značného množství úhlů pohledu. Lze je zkoumat ryze technicky, porovnávat jejich výkon, maximální dosahovanou rychlost, brzdný účinek. Je možné sledovat též jejich jízdní vlastnosti a komfort při jízdě. Srovnávat se dají také z estetického hlediska, hodnotit jejich design a kvalitu zpracování. V této kapitole je však na jednostopé vozidlo nahlíženo z velmi praktického úhlu pohledu. Vozidlo je zde rozděleno na jednotlivé součásti či dílčí soustavy a každá z nich je zkoumána ve vztahu ke stabilitě jednostopého vozidla při jeho jízdě. V každé podkapitole je také ve stručnosti uveden historický vývoj dané podsestavy.

2.1 RÁM MOTOCYKLU

Rám motocyklu, stejně jako zbytek jeho konstrukce, pochopitelně historicky vychází z konstrukčního uspořádání jízdního kola. V první části vývoje rámců motocyklu byly dokonce ponechány původní pedály, pouze prostřední část byla přizpůsobena pro dodatečnou montáž motoru. Postupně byl rám vyztužován a zpevňován, přidalo se odpružení jak předního, tak zadního kola a skrze několik vývojových slepých uliček bylo dosaženo stavu dnešních moderních rámců z lehkých slitin či karbonových vláken [13].

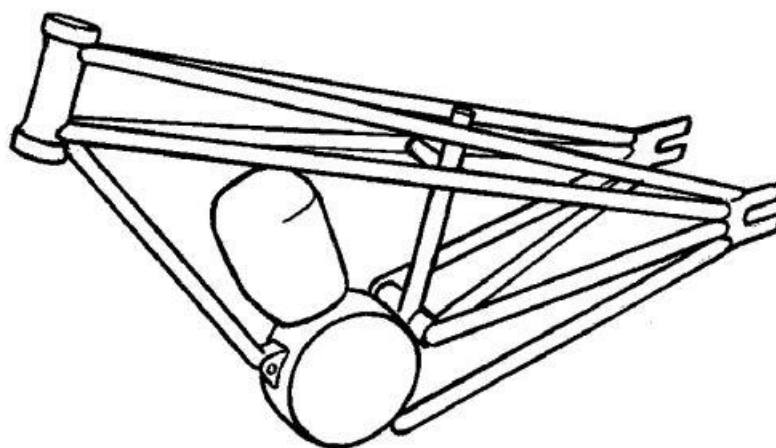
Podobně jako automobily, také motocykly je možné rozdělit dle typu podvozku do dvou základních kategorií. Motocykly se samonosnou nástavbou a nosným rámem. Jak už bylo naznačeno výše, historicky dříve vznikaly motocykly s nosným rámem, díky jejich původu v jízdním kole. Konstrukce s nosným rámem je samozřejmě také jednodušší na výrobu a celkový návrh stroje [12] [13].



Obr. 5 Jednoduchý kolébkový rám [12]

Velmi často používaným se mezi prvními zavedenými výrobci motocyklů stal kolébkový rám (Obr. 5). Jednalo se o nosný trubkový rám, který původně vycházel z koncepce pro jízdní kola, nešlo tedy o žádný převratný objev. Díky tomu však byl relativně cenově dostupný a nekladal velké požadavky na dělníky při výrobě a následné montáži. Zároveň poskytoval dostatečný prostor pro v té době nejčastěji používané vysoké jednoválcové motory s úzkou klikovou skříní [12].

Zpočátku bylo velmi málo pozornosti věnováno jak příčné, tak torzní tuhosti rámu. Tento nedostatek se pokusila vyřešit společnost Cotton v meziválečném období pomocí triangulace rámové struktury. V jejich návrhu byla hlava řízení přímo spojena se zadní částí rámu pomocí čtyř dlouhých trubek (Obr. 6). Tímto vyztužením bylo dosaženo požadované tuhosti rámu a jejich stroj se stal vyhlášeným pro své výborné jízdní vlastnosti, především v případě zatáčení [12].



Obr. 6 Triangulací vyztužený rám firmy Cotton [12]

Dalším velice zajímavým typem byly lisované a svařované nosníkové rámy. Jak už jejich název napovídá, v tomto případě byla zvolena zcela jiná koncepce. Rám se neskládal z většího množství trubek libovolného průřezu, ale ze dvou částí – levé a pravé, které byly zvlášť vylisovány z lehkého plechu a poté svařeny k sobě. Díky tomuto postupu bylo možné vyrobít rám se zcela libovolným zakřivením či ohnutím ve vertikální rovině. Nové tvary rámu také velmi usnadnily využití odpružení předního i zadního kola [12].



Obr. 7 Rozestavěný motocykl Ariel Leader / Arrow [14]

Velmi úspěšně tento typ rámu využívala např. společnost NSU. S jejich modelem NSU Rennmax twin se jim podařilo zvítězit na světovém šampionátu 1953. Nejvíce však nosníkové rámy proslavila britská společnost Ariel Motorcycles svými modely Leader a Arrow (*Obr. 7*). Díky masivnímu průřezu hlavní nosné části konstrukce bylo dosaženo velmi vysoké tuhosti a zároveň byl vytvořen prostor až pro jedenácti litrovou nádrž. Dle očekávání se pak tento rám osvědčil také při extrémním zatížení během závodního využití [12].

V současné době je u sériově vyráběných motocyklů využíváno především nosných rámu. Samonosné nástavby se používají prakticky výhradně při konstrukci skútrů o malém objemu motoru.

Nosné rámy jsou děleny dle polotovaru užitého při jejich výrobě na čtyři hlavní typy:

- trubkové,
- lisované,
- lité,
- kombinované [13].

Každý z těchto typů rámu je možné vyrobit ve značném množství různých modifikací, což může působit na první pohled velmi zmatečně. V zásadě jsou však u sériově vyráběných motocyklů používány pouze dva druhy rámu, které se dále liší pouze polotovarem užitým při jejich výrobě, jak je zmíněno výše, a sice kolébkový (*Obr. 8*) a páteřový (*Obr. 9*).



Obr. 8 Moderní dvojitý kolébkový rám [38]

Kolébkový rám je historicky nejpoužívanější variantou motocyklového rámu. Původně velmi jednoduchý koncept převzatý z jízdního kola je postupně upravován, např. otevřením spodní strany a využitím bloku motoru jako nosného prvku. V tomto provedení je u méně výkonných motocyklů využíván dodnes. S nástupem velkých víceválcových výkonných motorů je však

čím dál složitější tyto pohonné jednotky umístit do zástavbového prostoru v rámu. Je třeba jeho části dělat demontovatelné, což zvyšuje jeho hmotnost, a především snižuje tuhost celku [37].



Obr. 9 Moderní páteřový rám, nazývaný též „Perimeter frame“ [38]

Páteřový rám je odvozen ze základního kolébkového rámu. Odstraněním spodních trubek vznikne velký prostor pro umístění objemné pohonné jednotky, ta je „zavěšena“ pod horní rámovou strukturou. Vrchní strana rámu musí být naopak velmi vyztužena, aby byla zachována požadovaná tuhost. Moderní dvojitý páteřový rám umožňuje splnění všech požadavků kladených na běžné silniční motocykly, proto je v současnosti nejvyužívanějším řešením [37].

Z pohledu stability či stabilizace motocyklu měl jeho rám historicky dva zdánlivě jednoduché úkoly. Udržet celý stroj vcelku a dosáhnout co nejvyšší tuhosti. Tuhost je totiž zcela zásadní vlastností pro ovladatelnost motocyklu. Nejvyšší tuhosti bylo dosaženo přímým spojením hlavy řízení se středem rotace zadního kola v případě motocyklů bez zadního pérování. U strojů s odpruženým zadním kolem šlo pak o spojení hlavy řízení s osou kyvné vidlice zadního kola [12] [13].

Postupným vývojem materiálů a konstrukčního uspořádání se nosné struktury motocyklů stávaly stále tužšími, a tedy vhodnějšími pro přenos stále se zvětšujících sil, které na ně působí kvůli současnému zvyšování výkonu motorů. Kolem roku 1990 byl však objeven zcela nový problém. Pro správné fungování odpružení, tedy udržení kontaktu mezi pneumatikou a vozovkou je totiž nutné, aby rám nebyl tuhý příliš. V tu chvíli začala nová kapitola vývoje motocyklových rámu. Jeden ze dvou historických úkolů pro konstruktéry byl předdefinován. Už nebylo třeba hledat řešení, které poskytne maximální tuhost, ale nalézt ideální kompromis poskytující dokonalou rovnováhu mezi tuhostí a pružností rámu [15].

Běžně používanými materiály při výrobě motocyklových rámců jsou ocel a slitiny lehkých kovů – hlavně hliníku. Dalším materiálem, který je však zatím využíván velmi zřídka, je karbonové vlákno. Není také žádným pravidlem, že na celý rám musí být použit pouze jeden materiál, jejich kombinace jsou užívány velmi často [7] [13].

2.2 ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ MOTOCYKLU

Dalším velice důležitým celkem z pohledu stability motocyklu je jeho odpružení a tlumení. Historicky se jednalo o dvě oddělené části – tlumič a pružinu, u moderních motocyklů jsou tyto dvě části spojovány do jedné pružicí a tlumicí jednotky. Nejdůležitějšími úkoly soustavy odpružení a tlumení jsou zajištění co nejlepšího, v ideálním případě trvalého, styku pneumatiky s vozovkou a zvýšení komfortu jezdce či posádky. Trvalý kontakt pneumatiky s vozovkou je nezbytný předpoklad pro ovladatelnost a stabilitu motocyklu, zvýšení komfortu posádky je důležité zejména pro snížení únavy řidiče, čímž je zvýšena bezpečnost provozu. Dále je pružení a tlumení důležité pro snížení namáhání ostatních součástí motocyklu, především rámu a v neposlední řadě také pro zachování geometrie motocyklu při různých jízdních situacích [11] [12] [13].

Podobně jako u automobilů, také v případě motocyklů je velmi důkladně sledovaným parametrem poměr odpružené a neodpružené hmoty. Jedná se v zásadě o dva velmi jednoduché a snadno rozlišitelné pojmy, při nesprávném výkladu však často způsobují nedorozumění. Jednoduše by se dalo říct, že odpružená hmota motocyklu je veškerá hmota nacházející se nad soustavou pružení a tlumení. Zpravidla jde tedy o celou hmotu stroje mínus hmota pneumatik, kol, brzdových třmenů a kotoučů. Neodpruženou hmotu potom tvoří právě tyto součásti. Zmíněné nedorozumění vyvolává samotná hmota pružicí a tlumicí soustavy. Například pružina v tlumiči je odpružená či neodpružená hmota? V závislosti na použité literatuře se dozvídáme, že odpružená hmota pružiny je přibližně jedna šestina až jedna polovina její celkové hmoty. Na celkový poměr odpružené a neodpružené hmoty bude mít tato jedna pružina velmi malý vliv, je to ovšem skvělá ukázka toho, jak komplexní a nejednoznačný systém může být jednostopé vozidlo [7] [12].

Stejně jako v případě tuhosti rámu, také pružení a tlumení nebyla věnována takřka žádná pozornost při návrhu a výrobě prvních motocyklů. Je to zcela logické, prvotní motivací bylo jezdit na dvou kolech bez fyzické námahy s pomocí motoru. Teprve postupným vývojem se zlepšovala dynamika těchto strojů a bylo tedy třeba soustředit úsilí také do oblastí jejich stability a bezpečnosti.



Obr. 10 Motocykl Laurin&Klement (1903) bez odpružení podvozku [6]

První motocykly vznikaly zcela bez systému pružení a tlumení (Obr. 10). Jediným prvkem, který mohl zlepšit komfort při jízdě tak byly pneumatiky a jejich různé nahuštění vzduchem. Systémy odpružení se u motocyklů začaly standardně využívat ve třicátých a čtyřicátých letech minulého století [11]. Můžeme je rozlišovat podle toho, zda jsou použity na předním nebo zadním kole. V obou případech se však dělí z hlediska kinematiky. V závislosti na trajektorii pohybu osy kola v průběhu zdvihu rozlišujeme:

- pružení po přímce,
- pružení po kružnici,
- pružení po obecné křivce [6].

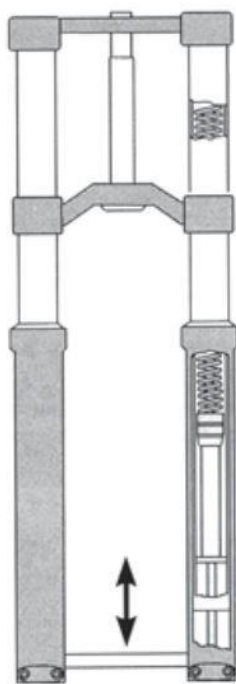
V případě předního kola byl poměrně brzy objeven systém, který se velice rychle rozšířil do celého světa, teleskopická vidlice. Poprvé byl tento druh odpružení použit v roce 1935 na motocyklu BMW R-12 (Obr. 11), kterých bylo do roku 1942 vyrobeno přes 36 tisíc.



Obr. 11 BMW R-12 s postranním vozíkem [16]

Teleskopická vidlice se stala tak populární, že i v dnešní době je tento systém nazýván jako konvenční a je nejčastěji využíván u běžných typů sériově vyráběných motocyklů. S mírnou modifikací do tzv. “upside down“ verze je využívána také u moderních sportovních a závodních strojů.

Klasická verze teleskopické vidlice (Obr. 12) se skládá ze dvou dutých trubek upevněných k hornímu a spodnímu nosníku. Po těchto nosných trubkách kloužou pohyblivé kluzáky. Na spodních koncích kluzáků je uchycena osa předního kola. Uvnitř nosných trubek teleskopické vidlice se nacházejí vinuté pružiny spolu s hydraulickými tlumiči. Tlumiče jsou umístěny ve spodní části nosných trubek. Na spodním konci pístnic tlumičů jsou upevněny kluzáky, které sledují pohyby předního kola. Kluzáky, které jsou zastrčeny do nosných trubek, jsou na vnější straně opatřeny těsnicím kroužkem a uvnitř otvory pro průtok tlumicího oleje. Tlumicí olej ve vidlici při jejích pohybech protéká právě těmito otvory, kde se zbrzdí a způsobuje tak tlumicí efekt. Tento tlumicí efekt zabraňuje vzniku netlumeného kmitání. Otvory jsou zkonstruovány tak, aby byl tlumicí efekt při stlačování vidlice menší než při roztahování. To je nutné pro zachování komfortu jízdy [7].



Obr. 12 Náčrt klasické teleskopické vidlice [13]

Velkou výhodou teleskopické vidlice jsou její kompaktní rozměry a celkové uspořádání. Všechny díly jsou zapouzdřené a je možné u nich snadno zajistit dostatečné mazání. Boční pevnost je zajištěna přesným slícováním sloupků a jezdců. Čím větší je průměr použitých trubek, tím vyšší je také pevnost celé vidlice. Teleskopická vidlice poskytuje dostatečný zdvih, je nenáročná na údržbu, málo poruchová a má velkou životnost. Nevýhodou teleskopických vidlic je jejich silné stlačování při brzdění, kdy se těžiště motocyklu posouvá dopředu a motocykl se v důsledku toho předklání [7] [11].

Obrácená, invertní nebo tzv. „upside down“ vidlice je v podstatě běžná teleskopická vidlice obrácená vzhůru nohama. Její nosné trubky jsou uchyceny k přednímu kolu a kluzáky jsou spojeny s nosníkem řídítek (Obr. 13) [7].



Obr. 13 KTM Duke 390 s obrácenou teleskopickou vidlicí [17]

Největší výhody těchto vidlic oproti klasickým jsou úspora hmotnosti, menší stlačení při brzdění, a tím i menší předklonění celého motocyklu. Díky těmto vlastnostem se obrácené teleskopické vidlice dodnes používají prakticky u všech sportovních motocyklů [7] [11].

Vývoj odpružení zadního kola nebyl tak přímočarý jako v případě kola předního. Jedním z prvních strojů s odpruženým zadním kolem byl motocykl Pope z roku 1913 (Obr. 14). Využíval tzv. pístové pružení, jeho zadní kolo se tedy pohybovalo po přímce. Z dnešního pohledu poskytovalo toto pružení velice dobrou lineární charakteristiku, avšak jeho zdvih byl nedostatečný. Náročnost výroby a vysoké nároky na údržbu pak odsoudily tento typ pružení k postupnému zániku. Další velice zajímavý pokus byl uskutečněn v padesátých letech v anglické firmě Triumph. Jednalo se o odpružení osy kola v jeho náboji. Toto inovativní a velice kompaktní řešení však také nebylo využíváno dlouho, především kvůli malému zdvihu [6].



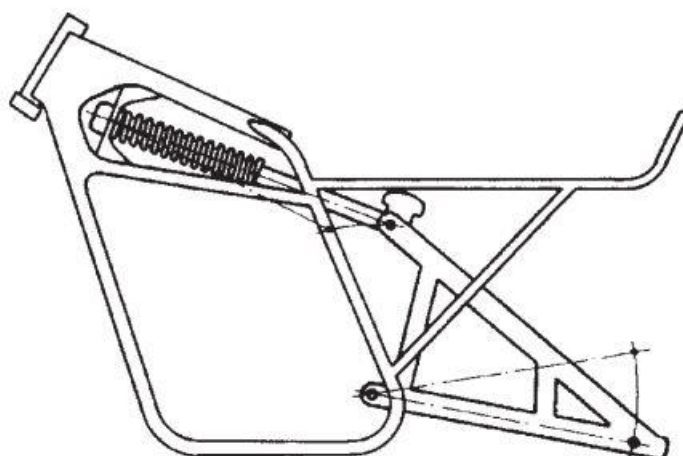
Obr. 14 Motocykl Pope (1913) s pístovým pružením [6]

V současné době jsou využívány 4 hlavní druhy zadních kyvných vidlic:

- konvenční dvouramenná vidlice,
- jednoramenná vidlice,
- konzolová vidlice,
- vidlice s pákovým mechanismem a s centrální pružicí a tlumicí jednotkou [7].

Konvenční dvouramenná vidlice je momentálně takřka na sklonku své éry. Je velmi jednoduchá při konstrukci, poskytuje snadný a efektivní odvod tepla vznikajícího v tlumičích a přenáší pouze slabé reakce do ostatních částí podvozku. Na druhou stranu však není dostatečně stabilní, je poměrně těžká, a také je velice náročné, ne-li nemožné, nastavit oba tlumiče a jejich pružiny stejně, což může způsobit torzní namáhání celé zadní kyvné vidlice. Své místo si ale určitě udrží v případě tzv. oldtimerů či café racerů napodobujících vzhled motocyklů z dřívějších dob [7] [11].

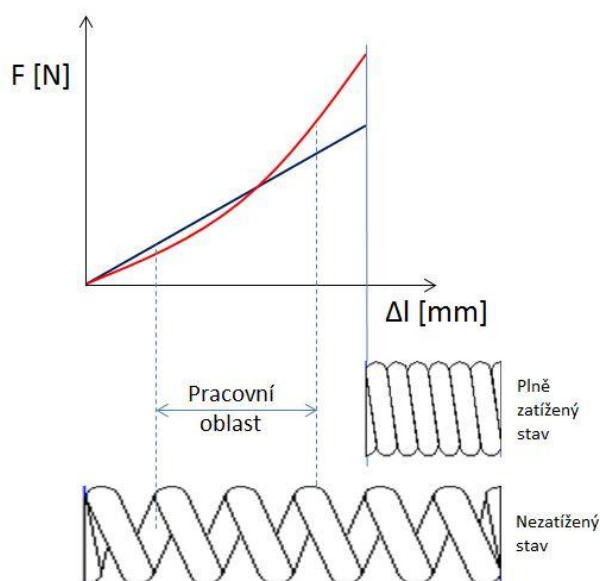
Konzolová zadní vidlice (Obr. 15) řeší problém rozdílného nastavení pružicích a tlumicích jednotek na každé straně motocyklu, obsahuje pouze jednu. Tato jednotka je uložena v prostoru pod nádrží v téměř vodorovné poloze a poskytuje relativně dlouhý a stabilní zdvih. Pro umístění masivní centrální jednotky je však potřeba velké množství prostoru, což je v případě motocyklů dost podstatná komplikace. S tímto uspořádáním je spojen také nežádoucí nárůst neodpružené hmoty [7] [11].



Obr. 15 Konzolová zadní vidlice Yamaha Cantilever [13]

Jednoramenná vidlice je u sériových motocyklů využívána stále častěji. Její hlavní výhodou je úspora hmotnosti. Ačkoliv může na první pohled vypadat nestabilně, není to pravda. Jednoramenné vidlice disponují srovnatelnou stabilitou a tuhostí jako odpovídající klasické vidlice, podporují navíc velmi atraktivní design motocyklu. Další výhodou je pak snadná demontáž a montáž zadního kola, čehož bylo a je využíváno ve vytrvalostních závodech [7].

Prvotní motivací pro vznik centrálních pružicích jednotek byl požadavek na stále větší zdvih a s tím spojené komplikace v konstrukci klasické kyvné vidlice s dvěma postranními jednotkami. Dalším požadavkem pak byla progresivita pružení. Oba tyto požadavky dokázala uspokojit zadní vidlice s pákovým mechanismem a s centrální pružicí a tlumicí jednotkou, která byla vyvinuta počátkem osmdesátých let minulého století [7].



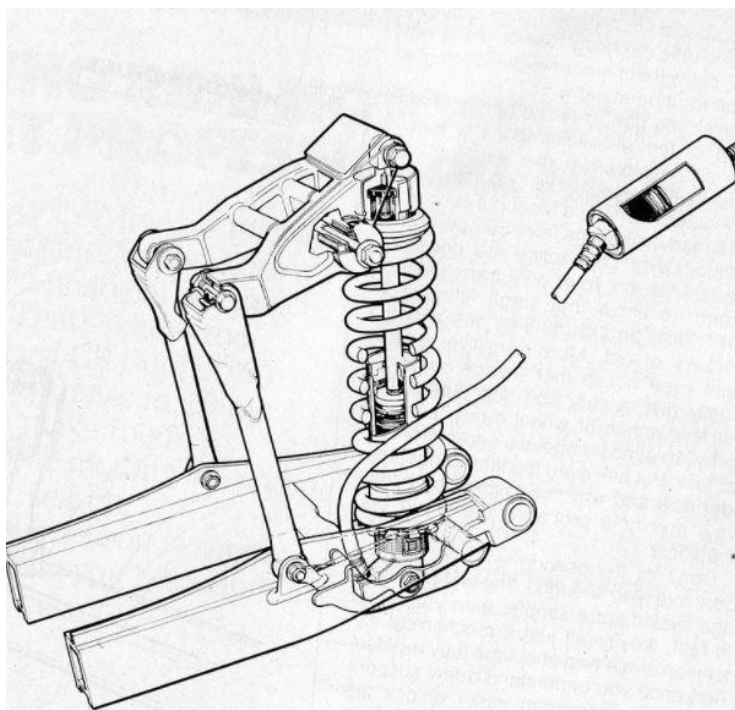
Obr. 16 Lineární a progresivní charakteristika pružiny [6]

Rozdíl mezi lineární – modrou a progresivní – červenou pružinou je znázorněn na Obr. 16.

Jako první uvedla tento systém do provozu firma Kawasaki, která dokázala, že je schopen dostatečně, a přitom citlivě tlumit jak velké nerovnosti, tak krátkodobé silné vibrace. Následně se takto uspořádaný mechanismus rozšířil přes závodní motocykly do sériové výroby především terénních motocyklů a dále do rychlých cestovních a supersportovních strojů. Provedení se liší u každého z výrobců, ale v principu jde vždy o jednu centrální pružicí a tlumicí jednotku s různým mechanismem přepákování. V současnosti rozlišujeme dle typu tohoto mechanismu šest obchodních označení:

- Uni Trak (Kawasaki),
- Pro Link (Honda),
- Mono Cross (Yamaha),
- Full Floater (Suzuki), *Obr. 17*,
- Mono Power Drive (Gilera),
- Zeta Link (Maico) [7].

Další nespornou výhodou progresivních pákových mechanismů je postupný nárůst tlumicí síly během stlačování pružiny. Při zvětšujícím se propružení zadního kola se zvyšuje rychlost pohybu pístu v tlumiči, olej uvnitř tlumiče klade větší odpor proti pohybu pístu a tím narůstá tlumicí síla. Při nárůstu pružicí síly tedy roste i tlumicí síla. U pákového provedení také odpadá nutnost nastavovat pérování dle měnících se provozních podmínek, např. jízda pouze řidiče či ve dvou, měnící se povrch a charakter vozovky, jízda s přídatnými zavazadly.



Obr. 17 Pákový systém odpružení Full Floater (Suzuki) [18]

Pákové mechanismy jsou vystaveny značnému mechanickému namáhání, proto je při jejich výrobě velmi důležité použití kvalitních materiálů. Dále jsou při provozu vystaveny vysoké

vlhkosti a náporu nečistot, proto je důležité co nejlepší těsnění či zapouzdrnění všech pohyblivých součástí mechanismu [7] [12].

2.3 PNEUMATIKY

Pneumatiky jsou jediné, co drží motocykl v kontaktu s vozovkou. Jejich malá část, která je během jízdy v přímém styku s povrchem silnice, je také zodpovědná za přenos veškerých sil, které na motocykl působí nebo je za jejich vznik přímo odpovědný. Navzdory těmto faktům je jejich vliv na chování, stabilitu a bezpečnost motocyklu stále většinou jezdců velmi podceňován.

Historicky dříve byly na motocyklech využívány pneumatiky s duší, později je ve velké míře nahrazují bezdušové pneumatiky, též nazývány jako pláště. Pneumatikami s duší jsou dodnes osazovány terénní motocykly, neboť jejich vyplétaná kola nejsou pro použití bezdušových plášťů vhodná. Z pohledu konstrukce byla dříve používána diagonální pneumatika, dnes jsou však motocykly nejčastěji osazeny pneumatikami radiálními (Obr. 18). Pás umístěný pod povrchem dezénu těchto pneumatik jim dodává stabilitu. Vývojový mezistupeň tvořily tzv. semiradiální pneumatiky, které však už dnes nejsou používány [7] [11] [12].

Radiální pneumatiky mají oproti diagonálním řadu výhod, mezi hlavní z nich patří:

- vyšší životnost,
- vyšší nosnost při stejném nahuštění,
- výborné boční vedení a lepší přilnavost (také na mokrému povrchu),
- menší vnitřní deformace – nižší teplené namáhání – lepší přenos sil,
- snížený valivý odpor,
- nižší hmotnost – snížení celkové neodpružené hmotnosti stroje,
- větší směrová i tvarová stabilita také při vysokých rychlostech [7].



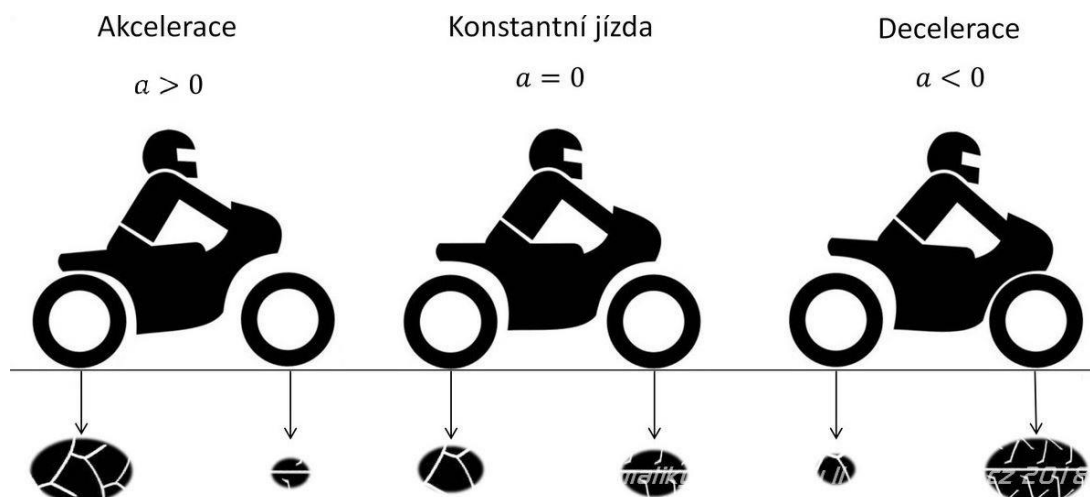
Obr. 18 Radiální (vlevo) a diagonální (vpravo) konstrukce pneumatiky [54]

Velmi důležitým parametrem pro stabilitu a celkově použití pneumatik je tlak jejich nahuštění. Při nízkém tlaku je velmi negativně ovlivněna stabilita jízdy a přesnost řízení motocyklu. Nízký tlak způsobuje též znatelnější deformace při odvalování pláště, který je tím více zahříván, což může vést k poškození vnitřní kostry a v krajním případě k úplnému zničení pneumatiky [7].

Vysoký tlak v pneumatice podstatně zhoršuje jízdní vlastnosti, jízdní komfort jezdce či posádky, a především při něm dochází k nevhodnému odírání běhounu. Běhoun se odírá více uprostřed než na krajích, což urychluje celkové opotřebení pneumatiky a výrazně snižuje její životnost. Je tedy velice důležité udržovat tlak v pneumatikách v mezích hodnot předepsaných výrobcem, případně jej přizpůsobit stylu jízdy (rychlá jízda v přímém směru po dálnici vyžaduje vyšší tlak) a zatížení stroje [7].

Pro správnou funkci pneumatiky je důležitá také její provozní teplota. Studené pneumatiky mohou občas způsobit nepříjemné až nebezpečné kývání, hlavně však mají velmi podstatně sníženou přilnavost k povrchu vozovky, která je velmi důležitá pro agresivní akceleraci, prudké brzdění i průjezd ostrou zatáčkou ve velkém náklonu motocyklu. Před těmito úkony je tedy z hlediska bezpečnosti nutné pneumatiku dostatečně zahřát klidnou, přiměřeně rychlou jízdou, zvláště při chladném počasí nebo jízdě v mokru. V případě nové pneumatiky je důležitý tzv. záběh. Jedná se o prvních několik málo kilometrů, během kterých je z povrchu pneumatiky odstraněn hladký film, kterým je povrch opatřen na konci výrobního cyklu kvůli uskladnění. Tento film zásadně mění vlastnosti povrchu pneumatiky, jeho odstranění před ostrou jízdou je zcela nezbytné [7] [55].

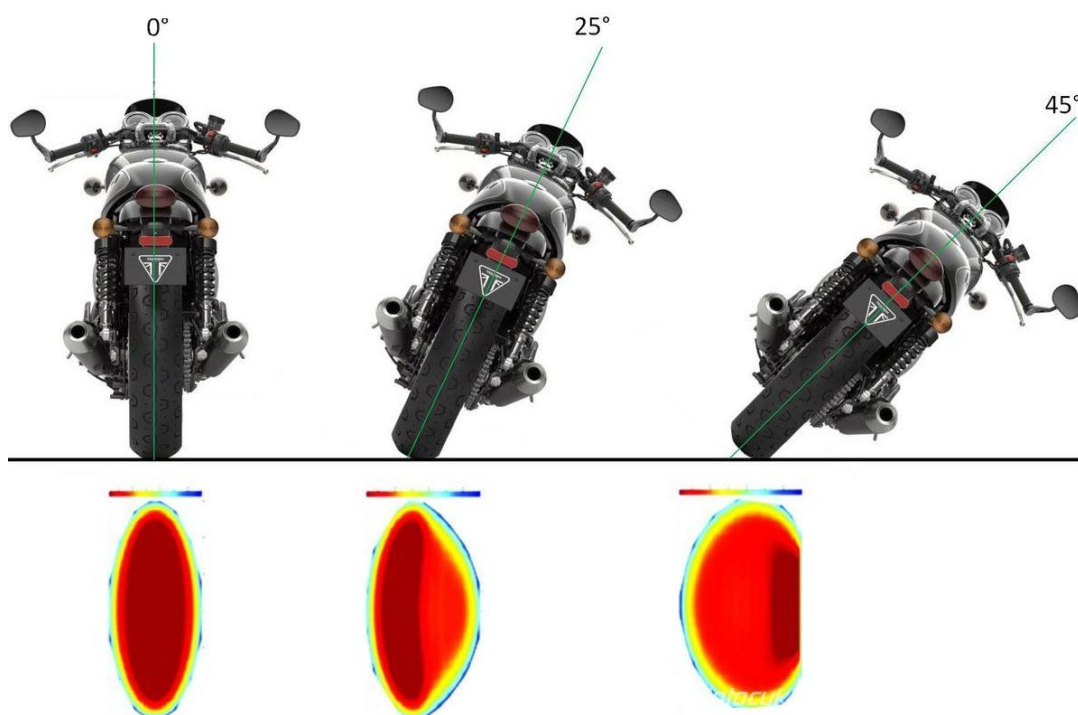
Výše popsané parametry jsou důležité, protože zásadně ovlivňují velikost kontaktní plochy mezi pneumatikou a vozovkou. Tato plocha je však velmi významně ovlivněna také stavem, v jakém se motocykl právě nachází. Při prudké akceleraci je těžiště, a s ním také část váhy motocyklu i jezdce přenesena na zadní kolo, pneumatika je tedy více zatížena a její kontaktní plocha se zvětšuje. Naopak kontaktní plocha přední pneumatiky je zmenšena. V případě prudkého brzdění je situace opačná (Obr. 19) [7] [55].



Obr. 19 Změna kontaktní plochy pneumatiky při přímé jízdě [55]

Mezi povrchem vozovky a pneumatikou vznikají dva druhy kontaktu – adhezní a prokluzový (nazýván též smykový). Adhezní kontakt vzniká v místě, kde má pneumatika vůči vozovce nulový skluz a je tedy schopna přenášet příčné síly, což má za následek směrovou stabilitu motocyklu. Smykový kontakt není schopen přenést příčné síly, směrové stability tedy nenapomáhá, ale zvyšuje trakci pneumatiky prostým třením mezi povrchem vozovky a pláštěm. Při jízdě motocyklu se v každém okamžiku mění poměr zastoupení těchto dvou druhů kontaktu [11] [55].

Na druh kontaktu mezi vozovkou a pneumatikou však nemá vliv pouze podélné zrychlení, ale významně jej ovlivňuje také úhel náklonu motocyklu při průjezdu zatáčkou. Při přímé jízdě je kontakt téměř úplně adhezní, se zvyšujícím se úhlem náklonu se však jeho část mění na kontakt smykový. Tato změna zdaleka není lineární a je velmi obtížné ji měřit. Na Obr. 20 je znázorněna změna druhu kontaktu v závislosti na náklonu pneumatiky při jízdě konstantní rychlostí. Jedná se o zobrazení změny kontaktního tlaku, který působí na pneumatiku. Sytě červená barva představuje adhezní kontakt, světlejší červená barva představuje kontakt smykový [11] [12] [55].



Obr. 20 Změna kontaktního tlaku v závislosti na náklonu motocyklu [55]

V závodním prostředí dochází poměrně často k využití smyku zadní pneumatiky na výjezdu ze zatáčky. V tomto případě se jezdec pohybuje na hraně schopnosti pneumatiky přenést celý výkon motoru na vozovku. Jedná se však o velmi nebezpečnou techniku určenou výhradně do prostředí závodní trati a pro zkušeného jezdce.

Výběr konstrukčních metod a materiálů pro výrobu pneumatik je složitý proces balancování mezi různými požadavky na nízkou cenu, vysokou přilnavost, vysokou kilometrovou životnost, stabilitu, nosnost a maximální dosažitelnou rychlost. Stejně jako u ostatních částí motocyklu se tedy musí nutně jednat o značný kompromis [12].

3 STABILIZAČNÍ SYSTÉMY

Tato kapitola je věnována jednotlivým systémům, jejichž primárním účelem je zlepšení jízdních vlastností, ovladatelnosti a stability motocyklu, a tím také bezpečnosti řidiče i ostatních účastníků provozu na pozemní komunikaci. Jedná se především o elektronické systémy, které jsou na motocykly montovány buď přímo ve výrobě nebo dodatečně uživatelem. Jako zástupci mechanických stabilizačních systémů jsou uvedeny hydraulický tlumič řízení a aerodynamická křídélka.

3.1 TLUMIČ ŘÍZENÍ

Tlumič řízení nebo též stabilizátor řízení se na motocyklu objevoval již velmi brzy, ve třicátých letech minulého století. Tyto tlumiče fungovaly jako malé spojkové lamely vytvářející tření ve sloupku řízení a daly se utahovat ve hlavovém složení. Dnes se jedná standardně o hydraulické systémy.



Obr. 21 Lineární tlumič řízení na Suzuki GSXR 1000 [24]

Hlavním úkolem tlumiče řízení je absorbovat prudké otáčivé pohyby osy řízení, které by mohly vést k rozkmitání řídítek a ztrátě kontroly nad motocyklem. Tohoto efektu je dosaženo nejjednodušší přidáním odporu proti řízení. Řídítka vyžadují větší aplikovanou sílu pro natočení řízení, které je poté méně náchylné k nechtěnému kmitání či chvění [22] [23].



Obr. 22 Rotační tlumič řízení Scott – pohled dovnitř [25]

Tlumiče či stabilizátory jsou vyráběny především ve dvou konstrukčních typech – lineární (Obr. 21) a rotační (Obr. 22). Lineární používá k tlumení kmitů malý plovoucí lineární píst připevněný na jedné straně k řídkům a uprostřed k ose řízení. Rotační je umístěn na horní straně představce. Tlumení v tomto případě zajišťuje průtok kapaliny malými otvory v destičce, která je připevněna k ose řízení.

3.2 AERODYNAMICKÁ KŘIDÉLKA

Jediným požadavkem na design motocyklu z hlediska aerodynamiky bylo po velmi dlouhou dobu pouze snížení odporu vzduchu na minimum. Při rychlostech, jakými se pohybují dnešní závodní motocykly, především v MotoGP, a výkonech, kterých dosahují, v kombinaci s úpravou pravidel ohledně použití systémů potlačujících zvedání předního kola se objevil nový požadavek, a sice vytvoření přítlakové síly. Proto se v roce 2016 v seriálu MotoGP poprvé objevují aerodynamická křídélka.

Křídélka na motocyklech, stejně jako spojery na automobilech či monopostech Formule 1, fungují opačným způsobem než křídla letadel. Nevytvářejí vztlak pro zvednutí stroje do vzduchu, ale naopak přítlak, který má udržet stroj v kontaktu s vozovkou za všech okolností. Jednu vlastnost mají však všechna křídla společnou. Nefungují, pokud stroj, jehož jsou součástí, stojí na místě nebo se pohybuje příliš pomalu.

Vytvořený přítlak má na motocykl tři hlavní účinky. Zaprvé redukuje zvedání předního kola při prudké akceleraci, a také při přejetí hrbolu nebo vlny na vozovce ve vysoké rychlosti. Zadruhé zlepšuje celkovou stabilitu stroje. Ve vysokých rychlostech je přední část motocyklu zvedána směrem vzhůru, zadní část tlačena směrem dolů a jezdec je nápořem vzduchu tlačěn směrem vzad. Zvýšení přítlaku na střední část motocyklu napomáhá obnovení rozložení zatížení jednotlivých kol a tím je vylepšena jeho celková stabilita. Zatřetí zvyšuje směrovou

stabilitu motocyklu při prudkém brzdění a částečně působí proti zvedání zadního kola od povrchu vozovky [51] [52].



Obr. 23 Enea Bastianini na Ducati GP21 v roce 2022 [53]

Hlavní nevýhodou tohoto aerodynamického prvku je zvýšení odporu vzduchu, což snižuje maximální dosažitelnou rychlost a zvyšuje spotřebu paliva. Druhou nevýhodou, již zmíněnou výše, je zanedbatelná funkce při nízkých rychlostech. Pod hranicí 100 km/h křídélka prakticky nemají význam, což odsuzuje jejich využití pouze pro závodní účely [51] [52].

Jak je možné vidět na Obr. 23, aerodynamická křídélka nemusí být zdaleka umístěna pouze na přední části masky, ačkoliv právě tam byla použita poprvé. Každý výrobce volí jejich tvar, umístění a počet dle vlastní strategie a dostupných dat z výzkumu probíhajícího především ve větrných tunelech. V blízké budoucnosti se dá očekávat mnoho modifikací tohoto stabilizujícího prvku, včetně aktivního řízení sklonu či velikosti v závislosti na aktuální rychlosti a náklonu motocyklu.

3.3 ABS

Systém ABS (z anglického Anti-lock braking system neboli Protiblokovací brzdový systém) je dnes nejběžnějším a nejpoužívanějším dodatečným stabilizačním či bezpečnostním systémem používaným jak v automobilech, tak u motocyklů. Poprvé se tento systém na motocyklu objevil již v roce 1988. Konkrétně se jednalo o hydraulický systém firmy Bosch, který se dal zakoupit jako příplatková výbava pro motocykly BMW řady 100. První elektrohydraulický systém pak představila Honda na motocyklech řady ST100 v roce 1992. Od roku 2016 je v Evropě ABS povinnou výbavou nově produkováných sériových motocyklů nad 125cc [19] [20].

Systémy ABS se skládají ze čtyř komponent (Obr. 24):

- senzory pohybu jednotlivých kol,
- elektronická řídicí jednotka (ECU),

- čerpadlo brzdové kapaliny,
- elektromagnetické ventily.



Obr. 24 Rozmístění jednotlivých komponent ABS na motocyklu BMW [21]

Senzory pohybu snímají polohu a rychlost kola. Nutno zdůraznit, že se nejedná o měření absolutní rychlosti, kterou se motocykl pohybuje, ale skutečně o rychlost otáčení jednotlivých kol. Senzory posílají získané informace do ECU, ta je analyzuje a porovnává se známými scénáři. S čím vyšší frekvencí pracují senzory, tedy čím častěji dostává ECU potřebné informace, tím přesněji a efektivněji je schopna rozhodovat o následném zásahu, a tím bezpečnější je celý systém. Při zjištění, že např. zadní kolo má podstatně nižší rychlost než kolo přední (zadní brzda vyvíjí příliš vysoký tlak) ECU vypočte o kolik je třeba brzdový tlak snížit. Tuto informaci pošle ve formě elektrického signálu do elektromagnetických ventilů, které následně sníží tlak na přesně požadovanou hodnotu, při které ještě nedojde ke ztrátě trakce mezi pneumatikou a vozovkou. Když je potenciál prokluzu kola eliminován, ECU pošle do čerpadla další signál a elektromagnetické ventily jsou přemístěny do nové pozice, která umožňuje nárůst tlaku na původní hodnotu, tedy tvrdé brzdění. Celá tato smyčka se odehraje ve zlomku sekundy a opakuje se, dokud motocykl nezastaví nebo není snížen aplikovaný tlak na brzdový pedál [20].

Motocykl vybavený systémem ABS je tedy především stabilnější při tvrdém brzdění a také jeho celková brzdná dráha je výrazně kratší než u motocyklu bez tohoto systému.

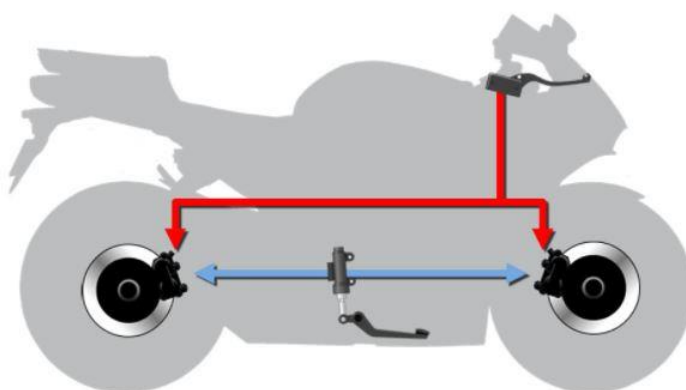
Moderní ABS pracují kromě pohybových senzorů kol s množstvím dalších senzorů a řídicích jednotek a poskytují tak mnohem komplexnější stabilizaci motocyklu. Tyto systémy jsou rozebrány v další kapitole této práce.

3.4 CBS

Systém CBS (z anglického Combined braking system neboli Kombinovaný brzdový systém) se na motocyklech objevuje již v 70. letech minulého století, např. na motocyklu Honda RCB1000 v roce 1976. Následně je nahrazován nastupujícím ABS, v dnešní době jsou však

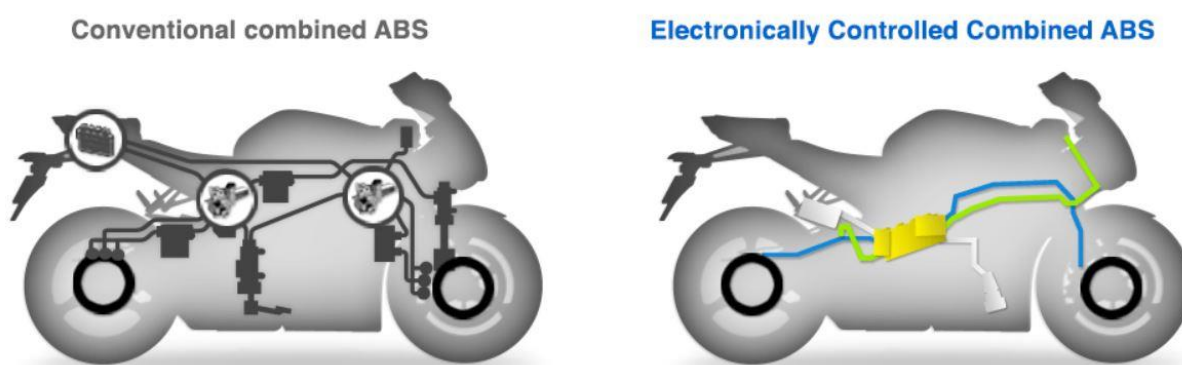
především díky vyspělé elektronice tyto systémy schopny fungovat současně. Přispívají tak k nebývalé plynulosti při brzdění, a hlavně bezpečnosti jezdce i okolního provozu.

U běžného motocyklu je každá brzda ovládána samostatně – při stlačení brzdové páky na pravé straně řídítek je aplikována brzdná síla na kotouč přední brzdy, při sešlápnutí brzdového pedálu je brzdná síla aplikována na kotouč, případně buben, zadní brzdy. Při použití CBS však brzdy reagují takřka současně. Při stlačení páky přední brzdy je tedy brzdná síla aplikována také na zadní kotouč či buben, stejně tak při sešlápnutí brzdového pedálu se brzdný účinek projeví i na kotouči přední brzdy, *Obr. 25 [36]*.



Obr. 25 Duální kombinovaný brzdový systém Honda – schéma [36]

Brzdný účinek na jednotlivá kola však nemůže být shodný, neboť u motocyklu je až 80 % celkového brzdného výkonu přeneseno skrze přední kolo. Rozdělení brzdného účinku na jednotlivá kola dříve zabezpečoval proporcionální ventil, dnes je již poměr rozdělení řízen elektronicky.



Obr. 26 Srovnání běžného kombinovaného ABS a ECCABS [36]

Spojením ABS a CBS vzniknul ve společnosti Honda komplexnější systém – ECCABS (z anglického Electronically Controlled Combined ABS neboli Elektronicky řízený kombinovaný ABS). Hlavní předností tohoto systému je možnost využití zadní brzdy jako u nepropojeného brzdového systému, což ocení především velmi zkušený jezdce při jízdě na hraně možností daného motocyklu, zejména v prostředí závodní trati. Tlak způsobený stlačením brzdového pedálu, stejně jako páky přední brzdy, je převáděn na elektrický signál,

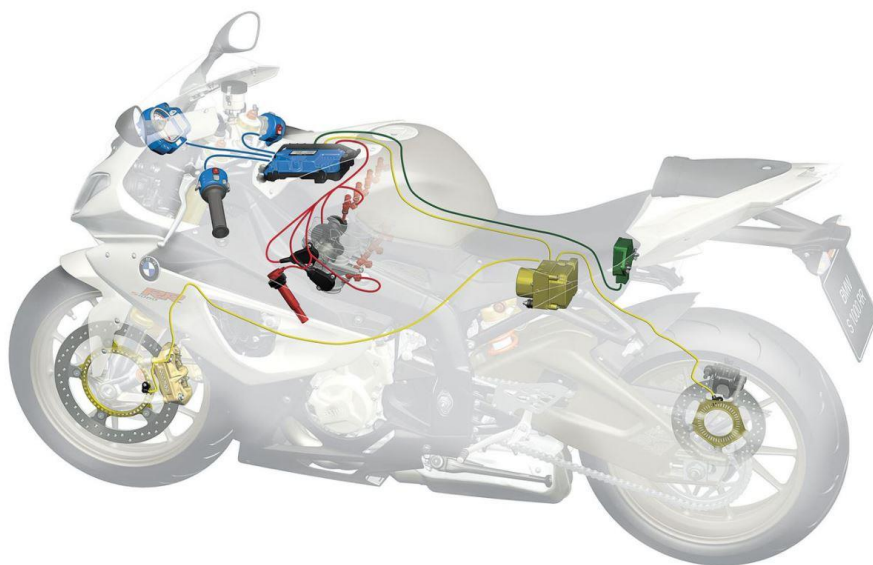
který putuje do ECU. Řídící jednotka vypočte pravděpodobnost, s jakou dojde k zablokování zadního kola a rozhodne, zda je třeba část brzdného výkonu přenést na kolo přední [36].

Další důležitou předností ECCABS je minimální množství přidané neodpružené hmoty na motocykl. Systém využívá kompletní soustavu běžného ABS, ke které je nutno přidat pouze senzory stlačení přední vidlice a zadního tlumiče. Všechny ostatní části systému jsou umístěny ve středu motocyklu, co nejbližší k jeho těžišti, což je z hlediska jízdních vlastností ideální řešení, Obr. 26 [36].

3.5 TCS

Systém TCS (z anglického Traction control system neboli Systém kontroly trakce) se poprvé na sériově vyráběném motocyklu objevil v roce 1992, konkrétně na stroji Honda ST1100. Od té doby byl využíván především v prostředí závodních okruhů. V posledních patnácti letech se však dostává přes závodní repliky a stroje nejvyšších řad výrobců až k běžným motocyklům vyráběných v největších sériích. Nežřídkou už se tento systém vyskytuje také u terénních motocyklů [26] [27].

Hlavním úkolem TCS je zabránit ztrátě trakce a následnému prokluzu poháněného kola. Tohoto je dosaženo ovlivněním výkonu dodávaného na poháněné, zpravidla zadní kolo. TCS se na motocyklech vyskytuje ve dvou variantách – reaktivní a prediktivní. Reaktivní, jak už název napovídá, počká až do chvíle, kdy dojde k nežádoucímu prokluzu a poté tuto situaci řeší korekcí dodávaného výkonu. Prediktivní systém se na základě nasbíraných dat z různých senzorů, kterými je motocykl osazen, snaží vyhodnotit pravděpodobnost s jakou dojde ke ztrátě trakce a této situaci předejít. Moderní motocykly nejsou osazeny pouze snímači natočení jednotlivých kol, které potřebuje ke své funkci ABS, ale také např. snímači úhlu náklonu, pozice otočné plynové rukojeti, zařazeného rychlostního stupně a v neposlední řadě stále většího významu nabývá IMU (z anglického Inertial measurement unit neboli Inerciální měřicí jednotka) – Obr. 27 [27] [28].



Obr. 27 Soustava TCS na motocyklu BMW S1000RR [30]

Ovlivnit výkon dodávaný na poháněné kolo motocyklu lze několika způsoby, především:

- změnou časování zapalování,
- vynecháním vstříknutí paliva do jednoho z válců – záměrný chybný zážeh,
- elektronickou úpravou polohy plynové rukojeti [27].

Každý z výrobců motocyklů si z těchto způsobů vybírá jeden či kombinaci několika v závislosti na nastavení jejich systému a vybavenosti daného stroje. Pro porovnání Kawasaki využívá pouze záměrných chybných zážehů, Yamaha aplikuje kombinaci všech tří způsobů omezení výkonu, Aprilia a BMW kombinuje zpomalené časování zapalování s elektronickou úpravou polohy plynové rukojeti [27].

Díky neustálému vývoji senzorové výbavy motocyklů a také řídicích jednotek je možné TCS propojit s dalšími stabilizačními systémy jako je Launch control nebo Anti-wheelie system, o kterých bude pojednáno dále v této kapitole.

V současné době je také možné dodatečně integrovat výše uvedené systémy do motocyklu, který jimi nebyl vybaven při výrobě, a tím zlepšit jeho jízdní vlastnosti i bezpečnost. Těmito dodatečnými systémy se zabývá např. italská firma Gubellini s.a.s. pod obchodní značkou Gripone a jsou k dostání i v České republice. Se systémy Gripone je nabízen také speciální software, ve kterém si lze všechny dodatečné asistenční systémy naprogramovat dle svých jezdeckých schopností a jízdního stylu [29].

3.6 ANTI-WHEELIE

Anti-wheelie, u některých výrobců též nazýváno Lift control, je systém zabráňující přednímu kolu příliš se zvednout od povrchu vozovky. Nejagresivnější akcelerace je dosaženo při mírném přizvednutí předního kola, je však velice komplikované udržet motocykl v tomto stavu pouhou regulací plynové rukojeti.

Stejně jako ostatní elektronické asistenční systémy, také anti-wheelie potřebuje ke své správné funkci hlavně snímače rychlosti jednotlivých kol, v ideálním případě také IMU. Nejmodernější systémy jsou poté vybaveny také senzorem stlačení přední vidlice, díky kterému jsou schopny prediktivního fungování na podobné úrovni jako TCS [34] [35].

Jakmile systém při akceleraci zaznamená rozdíl v rychlosti kol, a sice že se přední kolo otáčí pomaleji, rozpozná, že se pravděpodobně právě nachází ve vzduchu. V případě motocyklu vybaveného IMU se tato pravděpodobnost velmi blíží jistotě. Pokud jezdec pokračuje v prudké akceleraci, přední kolo se zvedá stále výše, což je od určitého úhlu náklonu pomalejší, ale především velmi nebezpečné. Anti-wheelie tedy sníží dodávaný kroutící moment na poháněné kolo jedním ze způsobů popsanych v podkapitole věnované TCS. U motocyklů vybavených též snímáním pozice či stlačení přední vidlice může tato intervence přijít podstatně dříve, jakmile je vidlice naplno vysunuta, což je vhodné především vzhledem k bezpečnosti [34] [35].

3.7 LC

Systém LC (z anglického Launch control neboli Kontrola startu) se poprvé objevuje, stejně jako TCS, ve vysoce výkonných závodních automobilech. Teprve poté se přes MotoGP dostává do světa motocyklů a dále k sériově vyráběným strojům.

LC je systém, který pomáhá jezdcí odstartovat co nejrychleji je to z hlediska fyziky možné. Pro dokonalý start motocyklu je třeba nalezení velmi specifického množství trakce, které zabezpečí přenos maximálního možného kroutícího momentu z motoru na vozovku. Zároveň však tento kroutící moment nesmí způsobit příliš velký prokluz poháněného kola ani zvednutí přední části motocyklu, tzv. wheelie. Maximálního součinitele adheze dosahuje většina běžných pneumatik při skluzu mezi 15 % a 30 %, Obr. 28.



Obr. 28 Skluzová charakteristika pneumatiky

Jedná se tedy o jakési spojení dvou předchozích systémů, TCS a Anti-wheelie, ovšem pouze při počáteční nulové rychlosti. Pro správnou funkci LC jsou opět velice důležité senzory, jimiž je motocykl vybaven, především snímače rychlosti jednotlivých kol a IMU, případně senzor polohy plynové rukojeti.

Jak už bylo zmíněno výše, LC se do světa motocyklů rozšířil skrze MotoGP. Paradoxně po implementaci do sériové výroby jednotlivých výrobců motocyklů došlo k degradaci systému právě v podmínkách seriálu MotoGP. Zatímco LC systém na sériově vyráběném motocyklu spolupracuje jak s TCS, tak s anti-wheelie, unifikovaný systém LC pro MotoGP od roku 2017 spolupracuje pouze s anti-wheelie. Následkem toho není možné odstartovat s plným plynem pouhým uvolněním spojkové páky, jak byli závodníci zvyklí dříve [31].



Obr. 29 A. Espargaro při startu na předsezonních testech MotoGP 2022 [33]

Z části také kvůli tomuto omezení přišla Ducati v roce 2019 s dodatečným zařízením nazývaným „holeshot device“. Toto mechanické zařízení slouží ke snížení těžiště motocyklu, čímž umožňuje agresivnější akceleraci. V sezoně 2022 už podobné zařízení využívají všechny motocykly seriálu MotoGP (Obr. 29), ať už je aplikováno na přední vidlici, tlumič zadní kyvné vidlice nebo obojí. Bohužel každý z výrobců přísně střeží, jak jejich konkrétní systém funguje [32].

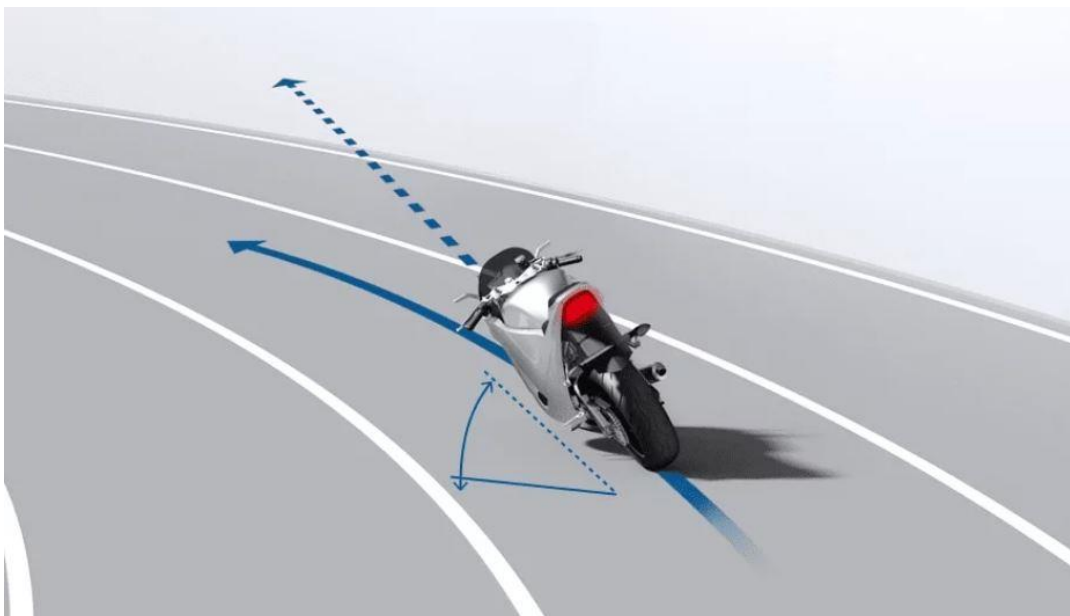
4 KOMPLEXNÍ STABILIZACE MOTOCYKLU

Ačkoliv jednotlivé stabilizační systémy zmíněné v předchozí kapitole dopomáhají motocyklům k velmi dobrým jízdním vlastnostem, a také vysoké úrovni bezpečnosti, kompilací alespoň některých těchto systémů do jednoho funkčního celku lze dosáhnout ještě lepších výsledků. Předmětem první části této kapitoly jsou tedy tyto komplexně stabilizační systémy. Druhá část kapitoly je věnována novým technologiím v oblasti komplexní kontroly odpružení.

4.1 MSC

MSC (z anglického Motorcycle stability control neboli Řízení stability motocyklu) je komplexní stabilizační systém vyvinutý firmou Bosch. Poprvé byl použit na cestovním enduru 1190 Adventure R od rakouského výrobce KTM, který přímo spolupracoval na vývoji systému, v roce 2014. Od té doby se tento nebo velmi podobné systémy rozšiřují ke stále většímu množství motocyklů. Zprvu velmi exkluzivní systém nasazovaný pouze u nejvyšších řad motocyklů jednotlivých výrobců se nyní dostává do stále dostupnějších modelů napříč celým spektrem od supersportovních vysoce výkonných závodních strojů až k cestovním endurům o menším objemu motoru.

Motivací pro vznik MSC a obdobných systémů je zejména chování motocyklu v náklonu. Při přímé jízdě po rovině a náhlé potřebě nouzově neboli co nejrychleji zastavit či zpomalit je dostačující asistence běžného ABS. Při prudké aplikaci brzd během průjezdu zatáčkou v náklonu však nastává v lepším případě výrazná změna trajektorie jízdy vlivem napřímení motocyklu (*Obr. 30 – přerušovaná čára*), v horším případě zablokování jednoho z kol, kompletní ztráta kontroly nad motocyklem a pád.



Obr. 30 Trajektorie průjezdu zatáčkou s MSC – plná čára a bez něj – přerušovaná [40]

MSC tedy vzniká jako bezpečnostní prvek, avšak zvýšení bezpečnosti je dosaženo vylepšením jízdních vlastností a stability motocyklu především v krizových situacích [39] [40].

MSC je ve své podstatě kompilací všech elektronických systémů uvedených v předchozí kapitole do jednoho optimalizovaného celku. Jeho nejdůležitějšími součástmi jsou bezpochyby ABS spolu s TCS, inovované k funkci během zatáčení. Díky množství dat získaných ze šestiosé IMU, která kompletně analyzuje polohu a stav motocyklu stokrát každou sekundu, jsou však dostupné také funkce jako např. kontrola zvednutí zadního kola, či asistent rozjezdu do kopce. Navíc je v MSC implementován také adaptivní tempomat. V závislosti na modelu motocyklu je možné systém nastavit na cestovní, sportovní nebo off-road použití, neméně důležitý je též mód pro jízdu v dešti či na mokřem povrchu [39].

Jak už bylo zmíněno výše, Bosch není jediným výrobcem takového systému. Prakticky každý významný výrobce motocyklů v dnešní době nabízí podobnou možnost stabilizace:

- Aprilia – cornering ABS,
- BMW – ABS Pro nebo ASC (Automatic stability control),
- Ducati – Bosch cornering ABS, později Bosch cornering ABS Evo,
- Harley-Davidson – C-ABS (Cornering enhanced ABS),
- Honda – IMU (podle inerciální měřicí jednotky),
- Indian Motorcycles – Smart lean technology,
- Kawasaki – KCMF (Kawasaki cornering management function),
- MV Augusta – Continental cornering ABS,
- Triumph – Optimised cornering ABS,
- Yamaha – 6-axis IMU [40].

Významní výrobci, kteří nejsou zmíněni v seznamu výše, využívají původní systém firmy Bosch, často včetně ECU a ostatních komponent.

4.2 SEMI-AKTIVNÍ ODPRUŽENÍ

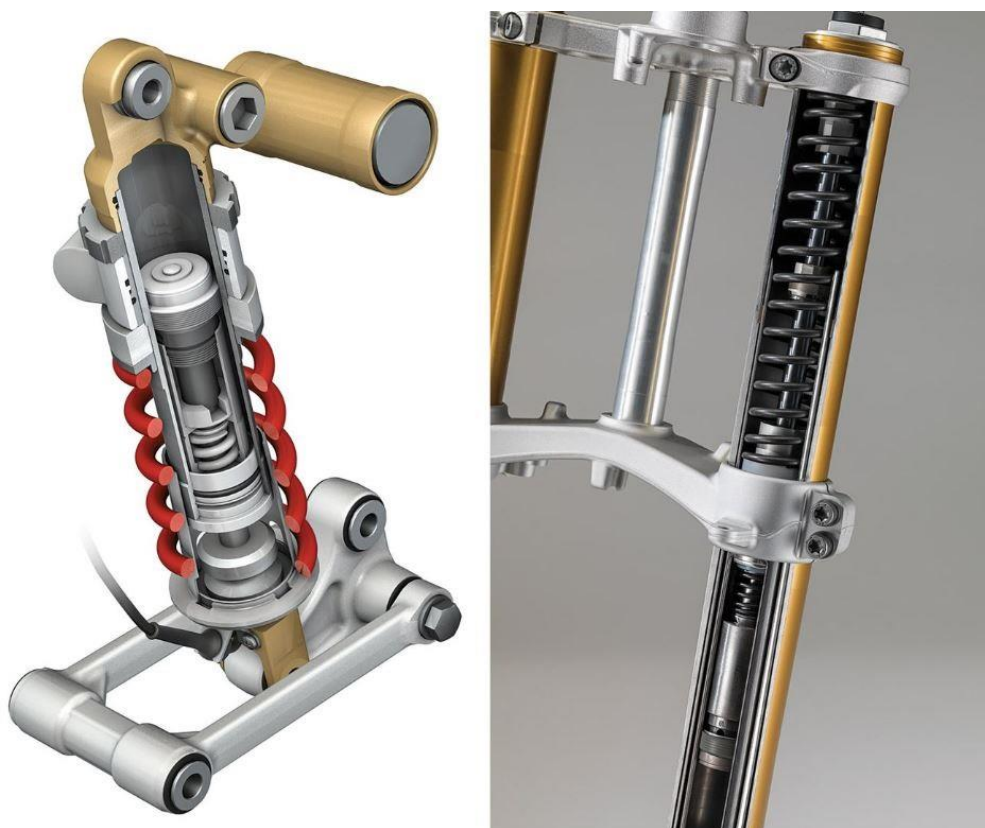
Technologie semi-aktivního odpružení byla na sériovém motocyklu poprvé použita v roce 2013. V tomto roce představili velmi podobnou technologii nezávisle na sobě 2 výrobci – BMW na supersportovních S1000RR a HP4 a Ducati na cestovním enduru Multistrada. Od počátku bylo tedy jasné, že podobná technologie sloužící ke zlepšení dynamických vlastností motocyklu a zároveň jízdního komfortu najde v motocyklovém světě širokého uplatnění [41].

Semi-aktivní odpružení není to stejné jako aktivní odpružení. Mezi těmito dvěma pojmy je minimálně jeden zásadní rozdíl. U plně aktivního systému odpružení je standardní systém (pružicí a tlumicí jednotka spolu s odpružením přední vidlice) zcela nahrazen hydraulickými či elektromagnetickými akčními členy, které řídí pozici a pohyb každého kola. Semi-aktivní odpružení pracuje s běžnými komponenty soustavy pružení, které vylepšuje o elektronické řízení a nastavení. Plně aktivní odpružení využívá zcela jiné komponenty. Systémy aktivního odpružení jsou využívány především v závodních automobilech, pro motocykly jsou zatím bohužel příliš rozměrné, těžké a v poslední řadě drahé.

Systémy semi-aktivního odpružení lze rozdělit do tří skupin, z nichž první a nejstarší je elektronicky nastavitelné odpružení. Systémy z této skupiny vznikly a byly použity ještě před rokem 2013, jednalo se o ESA (Electronic Suspension Adjustment I a II) od BMW, Electronic Suspension od Ducati, a také systém, který byl použit na motocyklu Yamaha Super Tenere ES. Tyto systémy využívají krokové motory k manipulaci s vnějšími seřizovací tlumiče a vidlice. Poskytují tedy možnost nastavení odpružení z ovládacího panelu motocyklu, ale

nedělají žádné změny v nastavení během samotné jízdy. V podstatě pouze nahrazují ruční nářadí, kterým šlo tuhost a předpětí tlumení měnit již v minulosti [42].

Druhou skupinu tvoří Öhlins Mechatronics a systémy od stejného výrobce použité na motocyklech Ducati 1299 Panigale S, Yamaha YZF-R1M, a MV Agusta F4 RR. Obsahují krokové motory, podobně jako systémy první skupiny, ale jejich ovládání je možno přenechat řídicí jednotce, která vyhodnocuje situace, v nichž se stroj nachází, a to za pomoci snímačů polohy, tlaku a úhlů umístěných na jednotlivých částech odpružení a ostatních senzorů, jimiž je motocykl vybaven. Tyto systémy jsou schopny upravovat nastavení odpružení v řádu desetin sekundy, a tím reagovat např. na aktuální rychlost motocyklu, akceleraci, prudké brzdění, či náklon při průjezdu zatáčkou. Jezdci je umožněn ještě před zahájením jízdy výběr z několika režimů celkové tvrdosti odpružení [41] [42].



Obr. 31 Komponenty systému DDC od BMW [41]

Třetí skupina je tvořena dvěma systémy – BMW Dynamic Damping Control (DDC), kterým jsou osazeny supersportovní HP4 a S1000RR (Obr. 31) a Ducati Skyhook Suspension (DSS) na cestovním enduru Multistrada. Tyto systémy používají elektronicky řízené ventily vsazené přímo v zadním centrálním tlumiči a uvnitř přední teleskopické vidlice, díky čemuž jsou schopny reagovat na změny povrchu vozovky a jízdní situace v řádu tisícín sekundy. Při takto rychlé reakci je možná změna nastavení odpružení pro každý stupeň úhlu náklonu při průjezdu zatáčkou nebo pro jednotlivé nerovnosti v povrchu vozovky [41] [42].

Do třetí skupiny lze zařadit také semi-aktivní systém odpružení, který vyvinula společnost Marzocchi ve spolupráci s její mateřskou firmou Tenneco a do prodeje byl vpuštěn v roce 2014. Jedná se v podstatě o kombinaci technologie Skyhook a DDC. Stejně jako u DDC je

pro určení polohy a chování motocyklu užívána široká řada senzorů v čele s IMU. Navíc je motocykl osazen čtveřicí vertikálních akcelerometrů, jež jsou nezbytné pro fungování systému Skyhook. Rozmístění akcelerometrů na motocyklu je zobrazeno na Obr. 32. Kvůli dodatečné úpravě a personalizaci nastavení systém obsahuje též GPS modul. Personalizace včetně úpravy samotných křivek tlumení je možná skrze aplikaci ve smartphonu nebo tabletu [41] [42].



Obr. 32 Rozmístění akcelerometrů systému Skyhook [41]

V závodním prostředí nastupují tzv. corner-to-corner systémy, které mají přednastavené chování odpružení zvlášť pro každou zatáčku na závodním okruhu. Technický ředitel společnosti Marzocchi na konci roku 2021 slíbil odhalení plně aktivní teleskopické vidlice, kterou dokonce nazval prediktivní vidlicí. Systémy aktivního či semi-aktivního odpružení jsou využívány u stále většího množství vyráběných motocyklů a čeká je v blízké době jistě velmi zajímavá etapa vývoje.

5 BUDOUCNOST STABILIZAČNÍCH SYSTÉMŮ

Stabilizační systémy probrané v předchozích kapitolách již jsou v současnosti více či méně využívány u sériově produkováných motocyklů, případně alespoň v závodním prostředí. Následující kapitola je věnována systémům, které se momentálně nachází ve fázi vývoje, případně jsou nasazeny u prototypů zcela nových strojů. První část je věnována tryskovému systému sloužícímu ke zmírnění smyku, který má být inovací stávajících motocyklů. Zbývající dvě části této kapitoly pojednávají o konceptech strojů, jenž s největší pravděpodobností už nebude možné nazývat motocykly, alespoň podle dnešních standardů.

5.1 TRYSKOVÁ STABILIZACE

Všechny stabilizační systémy uvedené dříve v této práci měly jako hlavní úkol zabránění vzniku potenciálně nebezpečné situace. Bohužel jakýkoliv systém více či méně ovládající či předpovídající dynamické chování motocyklu nemůže ovlivnit povrch, po kterém se motocykl pohybuje. Tento problém se pokusila, zatím pouze experimentálně, vyřešit firma Bosch na jaře roku 2018.

„Skid mitigation research program“ což lze přeložit jako výzkumný program pro zmírnění smyku, je experimentální systém, jehož úkolem je zabránit vzniku škody na zdraví a majetku řidiče jednostopého motorového vozidla v situaci, ve které již selhaly všechny bezpečnostní prvky. Při průjezdu zatáčkou se na vozovce může náhle objevit olejová skvrna, kaluž vody, vysypaný písek, štěrť nebo jakákoliv jiná překážka, která způsobí nečekanou ztrátu trakce mezi pneumatikou motocyklu a povrchem vozovky. Při ztrátě trakce v rozsahu, který způsobí překážka podobného typu, dochází v podstatě zpravidla ke smyku jednoho či obou kol a pádu jezdce i motocyklu [43] [44].

Experimentální systém ke své funkci nezbytně potřebuje množství senzorů, jež zajistí detekci výše popsané situace. Těmito senzory jsou však moderní motocykly již standardně vybaveny. Hlavními částmi systému jsou tedy nádoby obsahující stlačený vzduch, trysky podobné těm využívaným pro ovládání těles v kosmickém prostoru a odpalovací zařízení velmi se blížíci těm používaným v airbagových systémech automobilů.

V případě náhlé ztráty trakce při průjezdu zatáčkou a následném smyku je z nádoby umístěné poblíž stupaček motocyklu velmi rychle uvolněn plyn o vysokém tlaku, který má způsobit přitlačení pneumatiky zpět k povrchu vozovky – *Obr. 33*. Díky obnovení trakce by mělo být možné bezpečně pokračovat v jízdě [43] [44].



Obr. 33 Skid mitigation research program [44]

Nevýhody tohoto systému jsou především možnost pouze jednorázového použití, stejně jako u airbagu v automobilu, a také potřebná jistota při zásahu do vzniklé situace. V případě aktivace systému v situaci, která to nezbytně nevyžadovala, nebo dokonce neočekávané chybné aktivace při běžné jízdě by systém mohl způsobit velké potíže v ovládání motocyklu. Od roku 2018 do současnosti nebyly zveřejněny žádné další informace týkající se projektu, kromě několika videí z testování prototypu, není tudíž jasné, zda stále pokračuje. V žádném sériovém motocyklu se však s jistotou neobjevil.

5.2 YAMAHA MOTOROID

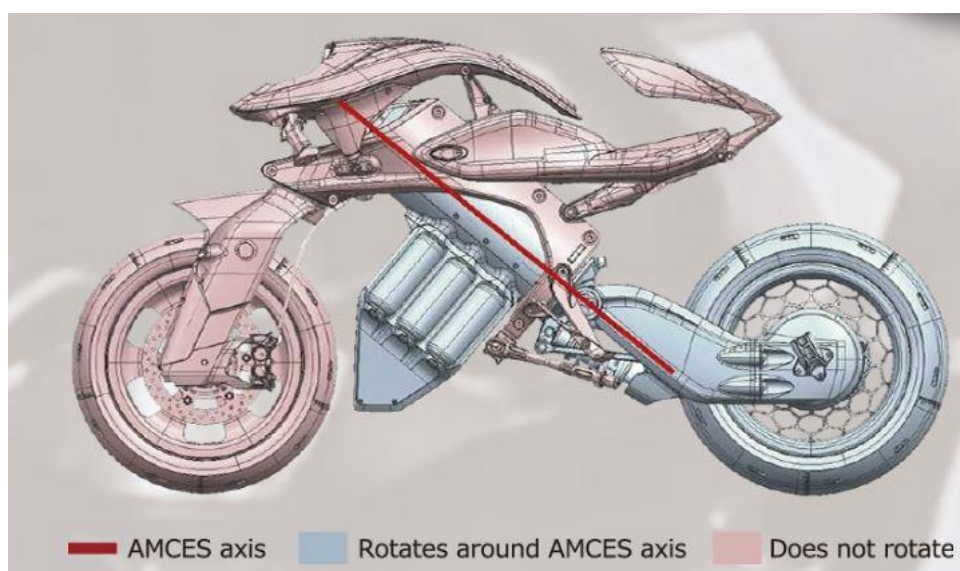
Během rozsáhlé výstavy Tokyo Motor Show 2017 způsobila Yamaha v motocyklovém světě značný rozruch při představení stroje, o němž tvrdí, že se jedná o zcela nový druh vozidla. Toto tvrzení výrobce je značně zdramatizované, jedná se však o velmi zajímavý experimentální koncept autonomního motocyklu.

Yamaha vytvořila jednostopé vozidlo, které je za pomoci přesného balančního systému, pokročilé umělé inteligence a autonomní technologie schopno uvědomit si svůj vlastní stav a upravit pozici vlastního těžiště. Díky změně pozice těžiště je možné, aby se stroj postavil z bočního opěrného stojanu a zůstal stát vzpřímeně bez cizí pomoci. Umělá inteligence stroji umožňuje rozpoznat obličej svého majitele a reagovat na jeho hlasové povely či gesta, včetně zahájení pohybu [45].



Obr. 34 Yamaha MOTOROiD [45]

Základem pro vznik konceptu Motoroid (Obr. 34) je technologie AMCES (z anglického Active Mass Center Control System, neboli Systém aktivního řízení těžiště). Tato technologie slouží ke stabilizaci jednostranných vozidel pomocí elektroniky, která aktivně řídí samotný podvozek a neustále optimalizuje polohu vozidla. Pozice těžiště celého stroje je měněna pomocí rotace baterií, zadní kyvné vidlice a zadního kola kolem osy procházející středem stroje – Obr. 35. Dalšími nezbytnými prvky pro funkci tohoto stroje jsou IMU a ECU [45].



Obr. 35 Technologie AMCES na náčrtu prototypu Motoroid [45]

Yamaha tímto konceptem chtěla docílit nového intenzivního zážitku ze spojení člověka – jezdce se strojem. Pomocí haptického HMI (z anglického Human – machine interface, což lze přeložit jako rozhraní pro ovládání stroje člověkem) má být docíleno pocitu, že se člověk nachází v náručí stroje nebo že se stává jeho součástí. Toto rozhraní se skládá z kontaktního panelu nacházejícího se v místě, kde má běžný motocykl nádrž, na který jezdec položí svůj hrudník a z pohyblivé zadní části, která jezdce obejmě kolem boků. Hlavním záměrem designerů bylo vytvořit stroj, který vypadá a chová se jako živý tvor a stává se pravým partnerem svého majitele [45].

Ačkoliv se jedná o velice zajímavý koncept spojující množství pozoruhodných technologií, není jasné, zda jeho vývoj směřuje na trh k široké veřejnosti. Poslední dostupné informace o projektu v podobě několika propagačních videí z veletrhů pocházejí z konce roku 2018. Důležité je též poznamenat, že stroj je dle posledních záznamů schopen pohybu rychlostí pomalé chůze, v laboratorních podmínkách též s jezdce. Zda by si našel nadšené majitele mezi dnešními motorkáři nebo ve zcela jiné skupině veřejnosti tedy zatím zůstává otázkou.

5.3 HONDA RIDING ASSIST CONCEPT

Na veletrhu CES 2017 v Las Vegas představila společnost Honda mnoho pozoruhodných vozidel, především s elektrickým pohonem. Nejzajímavějším pro motocyklového nadšence byl však prototyp Honda riding assist vycházející z běžného motocyklu NC750.



Obr. 36 Robot ASIMO představuje vozítko Uni-Cub [48]

Honda využila samovyvažovacích technologií ze svých předchozích projektů jako humanoidní robot ASIMO z roku 2000 či vozítko Uni-Cub z roku 2012 (Obr. 36) a implementovala je do motocyklu. Na rozdíl od Yamahy se nejedná o pokus představit zcela nový druh vozidla, nýbrž nabídnout bezpečnou alternativu pro zákazníky, kteří mají obavy z držení rovnováhy na motocyklu nebo se jízdě na podobných strojích teprve učí. Statisticky

velmi významná část nehod motocyklů, při kterých vznikají často drobnější poranění, se stane při velmi malých rychlostech, řádově kolem 5 km/h. Právě v takto malých rychlostech, a také při manipulaci na místě má nejvíce jezdci pomáhat asistenční balanční systém, který byl později v roce 2017 použit na novém prototypu Honda riding assist-e, Obr. 37 [46] [47].



Obr. 37 Honda Riding Assist-e [46]

Vyvažování motocyklu je docíleno s pomocí servomotorů ovládajících pohyb řídítek umístěných pod hlavním světlem v přední části stroje. Aby mohly být tyto servomotory co možná nejmenší a nejlehčí, je motocykl vybaven též variabilní geometrií zavěšení předního kola, která zvětší úhel přední vidlice a tím sníží sílu potřebnou pro manipulaci s řídítky.

Nejnovější prototyp Riding Assist 2.0 (Obr. 38) představený krátce před Vánoci 2021 využívá ke stabilizaci naopak pohyb zcela nového typu zadní kyvné vidlice poprvé využitý na modelu MN4 Vultus. Společnost Honda bohužel doposud veřejnosti neposkytla žádné doprovodné informace o funkci nebo technologii systému kromě několika propagačních videí [49].



Obr. 38 Honda Riding Assist 2.0 [50]

ZÁVĚR

V první části práce jsou vysvětleny základní pojmy obecné dynamiky a prvky ovlivňující jízdní dynamiku motocyklu z konstrukčního hlediska. Dále je představen pojem stability motocyklu spolu s jejími změnami v průběhu jízdy.

Druhá část práce je věnována konstrukci motocyklu. Ten je zde rozložen na jednotlivé dílčí části, konkrétně rám, soustavu pružení a tlumení a pneumatiky. U každé této části je uveden její stručný historický vývoj a charakterizována v současnosti nejběžnější varianta. Důraz je kladen také na uvedení předností a slabin různých koncepcí a jejich srovnání.

Ve dvou následujících kapitolách jsou postupně představeny systémy, jejichž hlavním úkolem je zvýšení stability a bezpečnosti motocyklu. U každého systému je popsán důvod jeho vzniku, základní princip funkce, příklady použití, případně legislativní omezení a dostupnost na trhu.

Poslední část je věnována blízké budoucnosti odvětví stabilizace motocyklů. Nejprve je zmíněn tryskový stabilizační systém, který by mohl být využíván k eliminaci ztráty trakce již dnešních motocyklů. Další dva prototypy již nejspíš nelze nazývat motocykly dle současných kritérií. Blíží se spíše robotům, neboť jsou částečně schopny autonomního pohybu bez nutné přítomnosti řidiče či jezdce. Jedná se o pozoruhodné stroje, jejichž využitelnost v běžném provozu je však přinejmenším diskutabilní.

Obecně lze konstatovat, že odvětví stabilizace jednostopých vozidel čeká jistě velmi zajímavá etapa vývoje. Veřejnost se pravděpodobně brzy dočká určité formy aktivního odpružení či řízení celého podvozku, což může být z hlediska bezpečnosti a jízdního komfortu velký přínos. V závodním prostředí je očekáván nástup aktivně řízených aerodynamických prvků, nejen v podobě dnešních křidélek. Aerodynamika však v rychlostech, kterými se lze pohybovat v běžném provozu nehraje natolik důležitou roli, aby se podobné prvky rozšířily mezi běžně vyráběné sériové modely.

Mimo jiné v souvislosti s prudkým rozvojem elektromobility je jistě možné očekávat stroje podobné dvěma prototypům uvedeným v poslední kapitole práce. Otázkou však zůstává, zda budou tyto stroje schopny pohybu mimo laboratorní podmínky. Další překážkou pro rozšíření podobných strojů je složitá tvorba legislativy, se kterou se již delší dobu potýkají také autonomní automobily. V případě těchto strojů či zařízení se jedná o velmi impozantní ukázkou spojení a využití moderních technologií, které si jistě najde na trhu několik nadšených majitelů, ovšem přijetí od široké motorkářské veřejnosti se očekávat nedá.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MALÁ, Zuzana, Danuše NOVÁKOVÁ a Tomáš VÍTŮ. *Fyzika I. 3.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04220-5.
- [2] GRAJA, T. *Maturitní okruhy z fyziky*. Zlín, 2017.
- [3] ŠUPÍK, J. *Hmotnost veličina neveličina?* [online]. [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2009-2010/Zima09/proc/hmotnost.pdf>
- [4] LEČBYCH, J. *Fotogrammetrické snímání polohy jezdce na motocyklu*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Fojtášek, Ph.D.
- [5] KASANICKÝ, Gustáv a Pavol KOHÚT. *Analýza nehod jednostopových vozidel*. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 80-710-0598-3.
- [6] JANOUŠEK, Marek. *Teorie odpružení motocyklu*. Motorkáři.cz [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/teorie-odpruzeni-motocyklu-36350.html>
- [7] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [8] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [9] JANSÁ, Vladimír. *Konstrukce motocyklu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960.
- [10] FIRST, Jiří. *Přednášky z předmětu Dynamika jízdy vozidel*. 2012.
- [11] COSSALTER, Vittore. *Motorcycle dynamics*. 2nd English ed. [S.l.: Lulu], 2006. ISBN 978-1-4303-0861-4.
- [12] FOALE, Tony. *Motorcycle Handling and Chassis Design: the art and science*. Španělsko, 2002.
- [13] VLK, František. *Rámy a odpružení motocyklů*. Soudní inženýrství [online]. CERM, 2004, 15 [cit. 2022-03-16]. ISSN 1211- 443X. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-03-159-177.pdf>
- [14] Ariel Leader / Arrow. *Brightwells classic cars* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <http://classiccars.brightwells.com/viewdetails.php?id=5574>
- [15] KADLČÍK, Roman. *Technika motocyklu – motocyklové rámy* [online]. 17.2.2016 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.okruhari.cz/technika/technika-motocyklu-motocyklove-ramy/>

- [16] Legenda jménem BMW R-12 [online]. 5.2.2011 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/veterani/legenda-jmenem-bmw-r-12--17742.html>
- [17] KTM 390 Duke with an upside-down suspension. Carbiketech.com [online]. 27.12.2019 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://carbiketech.com/upside-down-fork/>
- [18] BLAZIER, Tony. 1982 Suzuki Full Floater Suspension. Flickr [online]. 14.3.2015 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/tblazier/16828311408>
- [19] The evolution of motorcycle ABS [online]. 5.10.2013 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/news-and-views/features/bikes/the-evolution-of-motorcycle-abs>
- [20] TIBU, Florin. How Motorcycle ABS Works [online]. 2.8.2013 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/how-motorcycle-abs-works-64330.html>
- [21] How do ABS brakes work?. In: RevZilla [online]. 10.12.2019 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.revzilla.com/common-tread/how-do-abs-brakes-work>
- [22] All about the motorcycle steering damper [online]. 13.2.2016 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://motoress.com/rider/motorcycle-steering-damper/>
- [23] GREASER, Andy. What is a steering stabilizer? [online]. 28.5.2018 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.revzilla.com/common-tread/what-is-a-steering-stabilizer>
- [24] Suzuki GSXR1000 Toby Steering Damper. In: 58cycle [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://store.58cycle.com/product_p/toby%20gsxr1%2005.htm
- [25] Scotts vs Ohlins Steering Damper Comparison. In: Eastern dirt [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://easterndirt.com/EDM/wp-content/uploads/damper_inside.jpg
- [26] The age of universal traction control is upon us [online]. 19.10.2011 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.rideapart.com/news/257176/the-age-of-universal-traction-control-is-upon-us/>
- [27] POOVEY, Braden. How Does Motorcycle Traction Control Work? [online]. 24.1.2014 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.rideapart.com/news/254269/how-does-motorcycle-traction-control-work/>
- [28] BAL, Sushant. What Is Motorcycle Traction Control & How It Works? [online]. 2.10.2017 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://carbiketech.com/motorcycle-traction-control-system-works/>
- [29] How it works: Traction Control Strategy [online]. 25.2.2018 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.gripone.com/it-works-traction-control-strategy/>
- [30] HENNING, Ari. Class of 2010: Traction Control Systems – Guardian Angels. In: Motorcyclist [online]. 7.8.2010 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.motorcyclistonline.com/class-2010-traction-control-systems-guardian-angels/>

- [31] OXLEY, Mat. How MotoGP launch control works [online]. 18.1.2017 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.motorsportmagazine.com/articles/motorcycles/motogp/how-motogp-launch-control-works>
- [32] MCLAREN, Peter. The science behind a MotoGP holeshot device [online]. 14.9.2019 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.crash.net/motogp/feature/928432/1/science-behind-motogp-holeshot-device>
- [33] MCLAREN, Peter. PICTURES: 2022 MotoGP holeshot devices - how low can you go? [online]. In: . 27.2.2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.crash.net/motogp/feature/996963/1/pictures-2022-motogp-holeshot-devices-how-low-can-you-go>
- [34] MURPHY, Kate. Ask RideApart: How Does Wheelie/Stoppie Control Work? [online]. 12.8.2019 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.rideapart.com/features/364755/ask-rideapart-how-does-wheelie-stoppie-control-work/>
- [35] DOWDS, Alan. Are fancy electronics in your motorcycle limiting the Thrill of Riding? [online]. 29.1.2020 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.fastbikesindia.com/features/fancy-electronics-motorcycles-limiting-the-thrill-of-riding>
- [36] Introduction of Honda's Advanced Brakes [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://global.honda/innovation/technology/motorcycle/safety/advanced-brake.html>
- [37] SUCHÝ, Pavel. Obraz dělá rám [online]. 2.12.2014 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/clanky-predstavujeme/obraz-dela-ram-30192.html>
- [38] SADANAND, Gaurav. Different Types Of Motorcycle Chassis: Explained [online]. 28.7.2019 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.bikedekho.com/news/different-types-of-motorcycle-chassis-explained>
- [39] Motorcycle stability control (MSC) [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/driving-safety/motorcycle-stability-control/>
- [40] HOOSHMAND, Dana. Complete List of All Motorcycles with Cornering ABS/IMU (2022) [online]. 2.7.2020 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://motofomo.com/motorcycles-with-cornering-abs-imu/>
- [41] TREWITT, Andrew. Semi-Active Suspension: An in-depth look at BMW Dynamic Damping Control, Ducati Skyhook Suspension, and Marzocchi's semi-active system [online]. 30.4.2014 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.cycleworld.com/sport-rider/tech/semi-active-suspension/>
- [42] TREWITT, Andrew. Active versus Semi-Active Suspension [online]. 9.8.2016 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.cycleworld.com/sport-rider/active-versus-semi-active-suspension/>

- [43] DENT, Steve. Bosch jet thruster blasts your motorcycle out of a skid [online]. 18.5.2018 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2018-05-18-bosch-jet-thruster-motorcycle-slide-recovery.html>
- [44] EBBERG, Joern. Greater safety on two wheels: Bosch innovations for the motorcycles of the future [online]. 10.7.2018 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/greater-safety-on-two-wheels-bosch-innovations-for-the-motorcycles-of-the-future-157824.html>
- [45] Examining MOTORoID: Introducing the stories behind Yamaha Motor's technologies. [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://global.yamaha-motor.com/design_technology/technology/electronic/011/
- [46] NJUGUNA, Marcus. Here's Everything You Should Know About The Honda Riding Assist-e [online]. 1.11.2021 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.hotcars.com/everything-you-should-know-about-honda-riding-assist-e/>
- [47] LAD, Ajinkya. CES 2017: Honda Riding Assist self-balancing motorcycle revealed [online]. 6.1.2017 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.india.com/car-and-bike/latest-news/news-bikes/ces-2017-honda-riding-assist-self-balancing-motorcycle-revealed-2-3283311/>
- [48] ASIMO and UNI-CUB [online]. In: . [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://asimo.honda.com/ASIMO_DCTM/News/images/highres/ASIMOnCub.jpg
- [49] Honda Riding Assist 2.0: Impossible to fall over thanks to self-stabilization [online]. 7.1.2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.kiratas.com/honda-riding-assist-2-0-impossible-to-fall-over-thanks-to-self-stabilization/>
- [50] Honda Riding Assist Allows Self-Uprighting Motorcycle Tech [online]. In: . 29.11.2021 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.carandbike.com/news/honda-riding-assist-allows-self-uprighting-motorcycle-tech-2629290>
- [51] CHILD, Adam. Motorcycle winglets - how do they work? [online]. 5.5.2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/news-and-views/features/bikes/motorcycle-winglets-explained>
- [52] Wings on wheels: why the latest sportsbikes have aerodynamic winglets [online]. 13.11.2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.carolenash.com/news/bike-news/detail/wings-on-wheels-why-the-latest-sportsbikes-have-aerodynamic-winglets>
- [53] OXLEY, Mat. MotoGP 2022: the race is on for the Qatar season-opener [online]. In: . 8.2.2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.motorsportmagazine.com/articles/motorcycles/motogp/motogp-2022-the-race-is-on-for-the-qatar-season-opener>
- [54] DIFFERENCE BETWEEN RADIAL AND BIAS TYRES. In: Tyresonline.ae [online]. 22.6.2020 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.tyresonline.ae/blog/difference-between-radial-and-bias-tyres/>

- [55] JANOUŠEK, Marek. Vliv fyziky na konstrukci pneumatik [online]. 30.5.2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/vliv-fyziky-na-konstrukci-pneumatik-39207.html>
- [56] ILMINEN, Gary. Anatomy of a High-Side Motorcycle Crash: Insights And How To Avoid One. In: [Ultimatemotorcycling.com](https://ultimatemotorcycling.com) [online]. 24.8.2020 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://ultimatemotorcycling.com/2020/08/24/anatomy-of-a-high-side-motorcycle-crash-insights-and-how-to-avoid-one/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Zrychlení
ABS	[-]	Anti-lock braking system
AMCES	[-]	Active Mass Center Control System
ASC	[-]	Automatic stability control
C-ABS	[-]	Cornering enhanced ABS
CBS	[-]	Combined braking system
CES	[-]	Comsumer Electronics show
DDC	[-]	Dynamic Damping Control
DSS	[-]	Ducati Skyhook Suspension
ECCABS	[-]	Electronically Controlled Combined ABS
ECU	[-]	Electronic control unit
ESA	[-]	Electronic Suspension Adjustment
F	$[\text{N}]$	Síla
HMI	[-]	Human – machine interface
IMU	[-]	Inertial measurement unit
J	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$	Hmotnostní moment setrvačnosti kola vzhledem k ose otáčení
KCMF	[-]	Kawasaki cornering management function
LC	[-]	Launch control
m	$[\text{kg}]$	Hmotnost
M_{Gx}	$[\text{N}\cdot\text{m}]$	Gyroskopický moment vzhledem k ose x
MSC	[-]	Motorcycle stability control
TCS	[-]	Traction control system
ω_y	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$	Úhlová rychlost otáčení kola
ω_z	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$	Úhlová rychlost natáčení kola kolem svislé osy z