

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Brzdová soustava motocyklu
Barbora Kejíková

Bakalářská práce
2014

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Barbora Kejíková**
Osobní číslo: **D10371**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Brzdová soustava motocyklu**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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


1. Přehled brzdových systémů motocyklů
2. Porovnání jednotlivých řešení
3. Experimentální měření
4. Vyhodnocení měření

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:


1. VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů 2. Brno, 2004.
2. Dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Pokorný, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **21. února 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. května 2014**


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2014

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Suchém dne 30.5.2014

Barbora Kejíková

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Janu Pokornému, Ph.D. za odborné vedení této bakalářské práce a za pomoc i věcné rady při jejím zpracování.

Dále děkuji firmě Bosch za poskytnutí technických informací o protiblokovacím brzdovém systému. Poděkování patří také Pavle Natálii Kuchtové a týmu Bezpečně na motorce s Mírou Lisým za přípravu a realizaci experimentálního měření.

Na závěr děkuji své rodině za podporu během celého studia.

ANOTACE

Práce je věnována brzdové soustavě motocyklu se zaměřením na protiblokovací brzdový systém ABS. Teoretická část zahrnuje popis funkce tohoto systému. Praktická část je tvořena experimentální měření délek brzdných drah motocyklu a porovnáním rozdílů mezi nimi pro aktivovaný nebo deaktivovaný protiblokovací systém.

KLÍČOVÁ SLOVA

brzdění, protiblokovací brzdový systém, elektronická řídicí jednotka, hydraulický modulátor, směrová stabilita

TITLE

Brake system of a motorcycle

ANNOTATION

This thesis is devoted on motorcycle's braking system with aiming at Anti-lock Brake System ABS. Theoretical part covers description of that system. Practical part is comprised motorcycle's experimental measurement of braking distance and comparison between active or deactivate Anti-lock Brake System.

KEYWORDS

braking, anti-lock braking system, electronic control unit, hydraulic modulator, directional stability

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM GRAFŮ	10
SEZNAM TABULEK.....	10
0 ÚVOD.....	11
1 PŘEHLED BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ MOTOCYKLŮ	11
1.1 Bubnové brzdy	11
1.1.1 Jednočinné bubnové brzdy (simplex)	12
1.1.2 Dvočinné bubnové brzdy (duplex)	12
1.2 Kotoučové brzdy	12
1.2.1 Kotoučová brzda s pevným brzdovým třmenem	13
1.2.2 Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým třmenem	14
1.2.3 Kotoučová brzda s výkyvným brzdovým třmenem	14
1.2.4 Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem	15
1.2.5 Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým kotoučem	16
2 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ.....	17
2.1 Bubnové a kotoučové brzdy.....	17
2.2 Srovnání jednotlivých typů bubnových brzd	18
2.3 Srovnání jednotlivých typů kotoučových brzd	18
2.4 Charakteristika brzd	19
2.4.1 Brzdný moment a vnitřní převod jednočinné bubnové brzdy.....	20
2.4.2 Brzdný moment a vnitřní převod dvočinné bubnové brzdy	21
2.4.3 Brzdný moment a vnitřní převod kotoučové brzdy	22
3 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM ABS	23
3.1 Historie ABS	23
3.2 Požadavky na ABS.....	24
3.3 Princip funkce ABS	25
3.3.1 Snímač otáček	25
3.3.2 Elektronická řídicí jednotka.....	26
3.3.3 Hydraulický modulátor brzdného tlaku	26
3.3.4 Průběh brzdění s ABS	27
3.3.5 Regulační cyklus ABS	28

3.4	Sdružený brzdový systém C-ABS.....	29
3.4.1	Single C-ABS	29
3.4.2	Dual C-ABS	30
3.5	Elektrohydraulický sdružený brzdový systém eCBS.....	30
4	BRZDĚNÍ MOTOCYKLU A SMĚROVÁ STABILITA.....	31
4.1	Brzdění motocyklu	31
4.1.1	Vznik klopného momentu.....	31
4.1.2	Brzdná dráha	32
4.1.3	Vliv adheze	33
5	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	34
5.1	Místo měření	34
5.2	Měřicí zařízení	34
5.3	Průběh měření	35
5.4	Naměřené hodnoty	36
6	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	40
7	ZÁVĚR	41
	SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Bubnová brzda jednočinná a dvojčinná	11
Obrázek 2: Kotoučová brzda s brzdovým třmenem pevnýma plovoucím	14
Obrázek 3: Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem	15
Obrázek 4: Rozdíl mezi brzdovými kotouči klasickými a plovoucími	16
Obrázek 5: Silové působení u jednočinné brzdy	20
Obrázek 6: Silové působení u dvojčinné brzdy	21
Obrázek 7: Silové působení u kotoučové brzdy	22
Obrázek 8: První protiblokovací systém na motocyklu BMW K 100	23
Obrázek 9: Vývoj protiblokovacích jednotek	24
Obrázek 10: Části protiblokovacího systému a jejich umístění na motocyklu.....	25
Obrázek 11: Hydraulický regulační ventil a jeho pracovní režimy	26
Obrázek 12: Základní schéma tlakového modulátoru	27
Obrázek 13: Regulační cyklus brzdění s protiblokovacím systémem	28
Obrázek 14: Duální brzdový systém	30
Obrázek 15: Elektrohydraulický sdružený brzdový systém	30
Obrázek 16: Změna zatížení kol při brzdění	31
Obrázek 17: Moment řízení při brzdění v zatáčce	32
Obrázek 18: Kammova kružnice	33
Obrázek 19: Letištní plocha v Panenském Týnci	34
Obrázek 20: Dělicí místo rozjezdové a dojezdové dráhy.....	35
Obrázek 21: Umístění měřicího zařízení.....	35
Obrázek 22: Srovnání průměrných délek brzdných drah.....	37

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Brzdová charakteristika	19
Graf 2: Brzdění na suchém povrchu bez ABS	38
Graf 3: Brzdění na suchém povrchu s ABS	38
Graf 4: Brzdění na mokrém povrchu bez ABS	39
Graf 5: Brzdění na mokrém povrchu s ABS	39

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Naměřené délky brzdných drah	36
Tabulka 2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky délek brzdných drah	37

0 ÚVOD

Brzdová soustava je řazena mezi nejdůležitější části každého dopravního prostředku. O automobilových brzdách je napsáno nesčetně publikací, ale jen velmi zřídka se lze setkat s literaturou zabývající se brzdovou soustavou motocyklu. Mohlo by se zdát, že se jedná o stejnou problematiku, protože obě soustavy se sestávají ze stejných nebo obdobných prvků. Brzdová soustava motocyklu má však svá technická i provozní specifika. Právě z tohoto důvodu jsem se rozhodla sepsat ucelenou práci věnovanou brzdové soustavě motocyklu, která je rozdělena do několika větších kapitol.

Cílem práce je ověřit přínos zaváděného protiblokovacího brzdového systému v motocyklovém průmyslu na základě experimentálního měření, které bude spočívat v měření délky brzdné dráhy motocyklu na suchém i mokřém povrchu vozovky. Brzdná dráha bude porovnáвана z hlediska aktivovaného a deaktivovaného protiblokovacího systému, aby bylo možné výsledky měření vzájemně porovnat.

Před samotným měřením je však nutné seznámit se s teorií týkající se brzdových soustav a především protiblokovacího systému. Z toho důvodu jsou první kapitoly práce věnovány této problematice.

1 PŘEHLED BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ MOTOCYKLŮ

Brzdový systém je ústrojí sloužící ke snížení rychlosti pohybujícího se motocyklu nebo k jeho úplnému zastavení.

Brzdění motocyklu je založeno na principu tření mezi pohyblivými a nepohyblivými částmi brzdového systému. U bubnových brzd dochází ke tření brzdového bubnu o brzdové čelisti, u kotoučových brzd se třou brzdové kotouče o brzdové destičky.

Účinnost brzdového systému je ovlivněna:

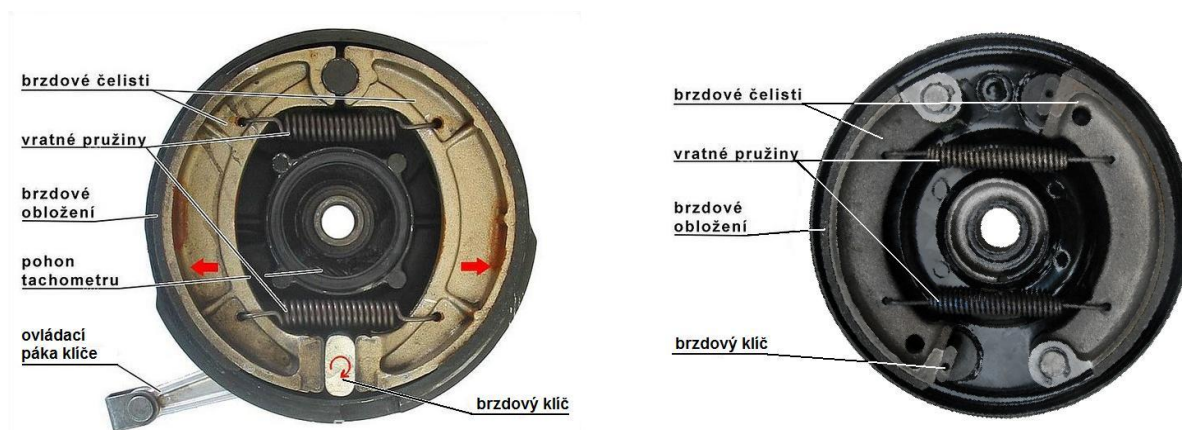
- rychlostí jízdy,
- stavem a kvalitou pneumatik,
- hmotností motocyklu, jezdce, spolujezdce a zavazadel,
- stavem vozovky a povětrnostními podmínkami. [1]

1.1 Bubnové brzdy

Bubnové brzdy se v dnešní době vyskytují především u terénních motocyklů nebo u zadních kol malých i větších silničních motocyklů a chopperů.

Čelisti a ovládací mechanismus bubnové brzdy je uchycen na desce pevně spojené s přední nebo zadní vidlicí, tzv. štítu brzdy. Brzdové čelisti pak působí na brzdový buben, který je součástí náboje kola a otáčí se s kolem. Rozevírající se brzdové čelisti tlačí při brzdění na vnitřní povrch brzdového bubnu, tím navozují tření a zpomalují kolo. [1]

Bubnové brzdy se dělí na jednočinné a dvojčinné.



Obrázek 1: Bubnová brzda jednočinná (vlevo) a dvojčinná (vpravo) [2], [3]

1.1.1 Jednočinné bubnové brzdy (simplex)

Jednočinné bubnové brzdy jsou ze všech typů bubnových brzd konstrukčně nejjednodušší a při brzdění vyvozují relativně malou brzdovou sílu. Používají se zejména u lehkých motocyklů, mopedů a skútrů a někdy jako zadní brzdy u těžších strojů. [1]

Jednočinné bubnové brzdy se ovládají mechanicky pomocí lanek a táhel. Při zmáčknutí brzdové páky, popř. sešlápnutí brzdového pedálu se tento pohyb přenesení přes táhlo na páku spojenou s hřídelem, na němž je brzdový klíč. Dojde k pootočení hřídele a brzdový klíč odtlačí obě čelisti od sebe. Čelisti jsou opatřeny třecím obložením, které je přimáčknuto k vnitřnímu povrchu brzdového bubnu a začne brzdit. Při uvolnění páky (pedálu) se brzdové čelisti stáhnout zpět k sobě pomocí vratné pružiny.

1.1.2 Dvojčinné bubnové brzdy (duplex)

Dvojčinné bubnové brzdy se používaly u závodních motocyklů. V dnešní době jsou nahrazeny kotoučovými brzdami.

Dvojčinné bubnové brzdy mají dvě náběžné čelisti, které jsou od sebe roztahovány a přitlačovány na vnitřní povrch brzdového bubnu působením dvou brzdových klíčů.

1.2 Kotoučové brzdy

Hlavní součástí kotoučové brzd je brzdový kotouč, který je upevněný na hlavě (náboji) kola. Brzdový kotouč může být hladký nebo opatřený drážkami, popř. otvory pro odvádění vody při jízdě za deště. Po stranách kotouče jsou v brzdovém třmenu, pevně spojeném s vidlicí, umístěny brzdové segmenty s obložením. Tyto segmenty se na kotouč ze stran přitlačují a tím ho brzdí. [1]

V brzdovém třmenu jsou dva brzdové segmenty, které se skládají z kovové destičky a nalepeného třecího obložení. Brzdový kotouč spojený s nábojem kola se otáčí mezi těmito segmenty, brzdovými destičkami, a ty ho při brzdění svírají mezi sebe. Brzdové destičky jsou k brzdovému kotouči přitlačovány jedním, dvěma až šesti pístky, které se pohybují v brzdovém třmenu. [1]

Kotoučové brzdy jsou většinou ovládané hydraulicky. Pro přenos tlaku slouží hydraulická brzdová kapalina. Tato kapalina je tlačena z hlavního brzdového válce přes hydraulické hadičky a potrubí do pracovního brzdového válce nebo přímo do brzdového třmenu. Součástí hydraulického systému je zásobní a zároveň vyrovnávací nádržka na brzdovou kapalinu, většinou integrovaná s hlavním brzdovým válcem. Zásobní nádržka pro zadní brzdu je obvykle upevněna odděleně na rámu nebo nad hlavním válcem zadní brzdy. Hlavní brzdový válec přední brzdy je dimenzován silněji než hlavní válec zadní brzdy. [1]

Při stlačení ovládací páky se zatlačí píst do hlavního brzdového válce. Tento píst tlačí v brzdovém válci na hydraulickou brzdovou kapalinu, která přenáší tlak hydraulickými vedeními do pracovního válce brzdy nebo do brzdového třmenu. Působením tlaku se brzdová kapalina vytlačuje do brzdového třmenu a zde tlačí na pohyblivé brzdové pístky. Tyto pístky pak přitlačují brzdové destičky k brzdovému kotouči. Pohyblivé součásti brzdy jsou opatřeny pryžovými manžetami, které slouží jako ochrana proti vnikání nečistot. [1]

Po uvolnění ovládací páky brzdy dochází k poklesu tlaku v soustavě a vratnému pohybu pístků do původní polohy. Tento pohyb je zapříčiněn deformací těsnících kroužků.

Podle způsobu ovládání dělíme kotoučové brzdy:

- s pevným brzdovým třmenem,
- s plovoucím brzdovým třmenem,
- s výkyvným brzdovým třmenem,
- s otočným brzdovým třmenem,
- s plovoucím brzdovým kotoučem.

1.2.1 Kotoučová brzda s pevným brzdovým třmenem

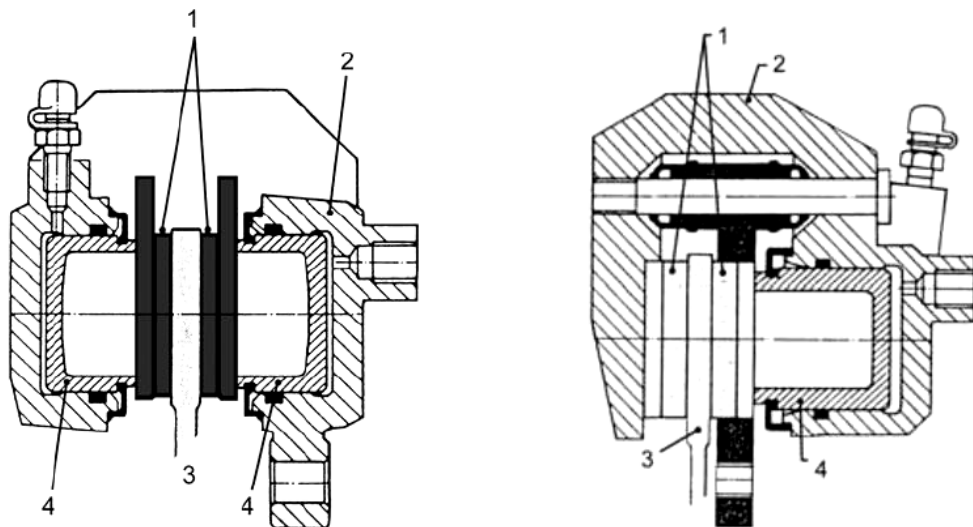
Brzdový třmen přední brzdy je pevně spojen s teleskopickou vidlicí motocyklu, zadní brzdový třmen je uchycen k ose kola a zadní vidlici pomocí speciálního štítu. Při brzdění dochází pouze k pohybu pístků, které přitlačují brzdové destičky na kotouč.

Při zmáčknutí brzdové páky (pedálu) dochází k přenosu tlaku do hydraulické brzdové kapaliny, jejíž přitlačná síla je rovnoměrně rozdělena na pístky z obou stran a tlačí je ven z třmene. Navrácení pístků do původní polohy zajišťují zkrutné těsnící kroužky na pístkách i sací účinek, který vzniká v hydraulické kapalině při poklesu tlaku.

1.2.2 Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým třmenem

Kotoučovou brzdou s plovoucím brzdovým třmenem lze poznat podle umístění brzdového pístku nacházejícího se pouze na jedné straně a tělesa třmene, které se pohybuje ve směru osy pístku. Jedna brzdová destička je přitlačována pístkem a druhá destička se posunuje společně s třmenem po vodících čepech při působení reakční síly. Brzdový třmen je prostřednictvím držáku připevněn k přední nebo zadní vidlici, případně k rámu.

Po zmáčknutí brzdové páky se přitlačí vnější brzdová destička na brzdový kotouč. Protože je brzdový třmen uchycen pohyblivě na čepech, vznikne reakční síla, která přitiskne z druhé strany k brzdovému kotouči brzdový třmen s druhou destičkou. Po nalehnutí na brzdový kotouč se síly rozloží tak, že obě destičky tlačí stejnou silou. Brzdovou sílu lze u plovoucího třmene zesílit použitím dvou brzdových pístků, které se většinou používají u předních kol. [1]



Obrázek 2: Kotoučová brzda s brzdovým třmenem pevným (vlevo) a plovoucím (vlevo) [1]
(1 – třecí obložení, 2 – brzdový třmen, 3 – brzdový kotouč, 4 – ovládací pístek)

1.2.3 Kotoučová brzda s výkyvným brzdovým třmenem

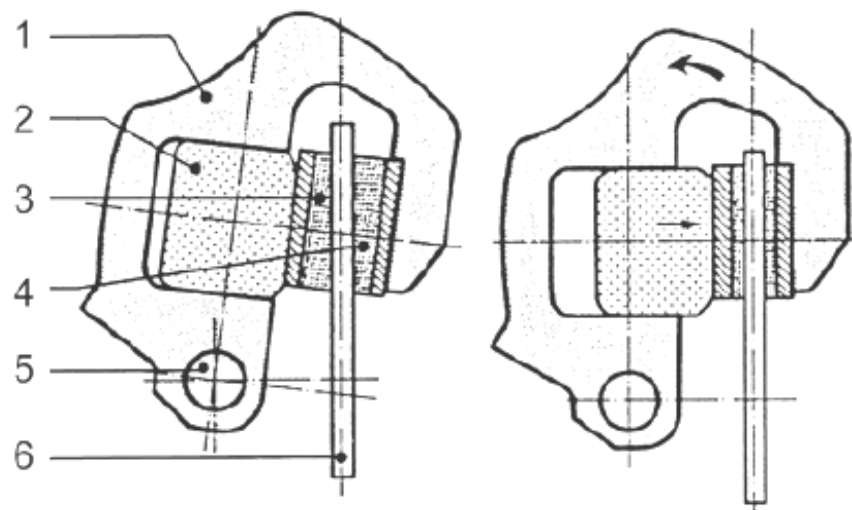
Kotoučová brzda s výkyvným brzdovým třmenem má pístek tlačící na jednu brzdovou destičku, který je umístěn jen na jedné straně třmenu. Třmen se může vychylovat do stran okolo horizontální osy. Na druhé straně třmenu je ve speciálně tvarovaném držáku s kolíkem a vratnou pružinou uchycená druhá brzdová destička. Držák brzdového třmenu je integrován do spodního konce jezdců přední vidlice a samotný brzdový třmen sestává z jediného masivního dílu.

Při zmáčknutí ovládací páky brzdy vyjede z brzdového třmenu pístek. Ten přitlačí na brzdový kotouč jednu brzdovou destičku, a jelikož je třmen uchycený otočně, vznikne přitom reakční moment, který celým třmenem pootočí o několik stupňů okolo excentricky uloženého čepu a tak se přitlačí na brzdový kotouč i protilehlá brzdová destička. Návrat brzdového třmenu po uvolnění brzdy obstarává vratná síla smáčknutí manžety a sací účinek v hydraulickém systému. [1]

1.2.4 Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem

Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem má většinou jeden brzdový pístek umístěný jen na jedné straně. Brzdový třmen se může natáčet do stran okolo svislého čepu. Na druhé straně třmenu je uložena druhá brzdová destička. Výkyv brzdového třmenu je omezen aretačním šroubem s pružinou, která slouží jako vratná pružina držáku třmenu.

Při brzdění se vysune brzdový pístek, který přitlačí na brzdový kotouč jednu brzdovou destičku. Protože je brzdový třmen uchycen pohyblivě, vznikne přitom reakční moment, který otočí o několik stupňů rameno, které přitlačí na brzdový kotouč protilehlou brzdovou destičku. Po uvolnění zapůsobí pružina na aretačním kolíku a vrátí brzdový třmen do výchozí polohy. [1]

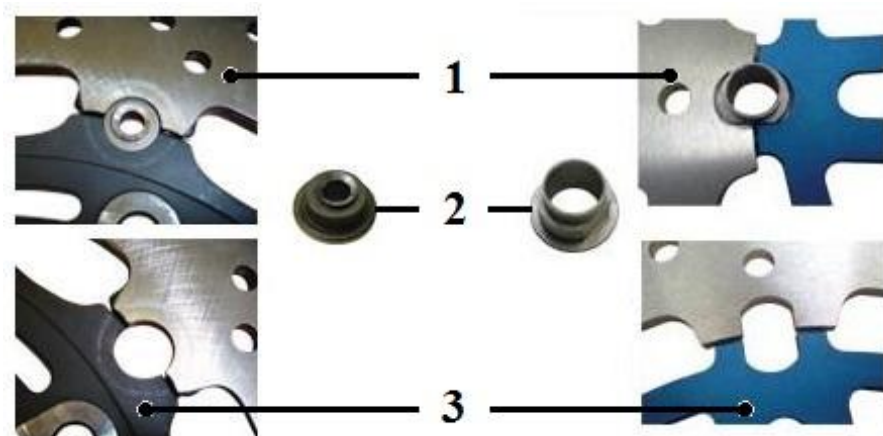


Obrázek 3: Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem [1]

(1 – brzdový třmen, 2 – pístek, 3,4 – vnější a vnitřní obložení, 5 – osa otáčení třmene, 6 – brzdový kotouč)

1.2.5 Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým kotoučem

Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým kotoučem se někdy montuje na závodní motocykly, supersportovní a dražší sériové stroje, ale občas i na levnější sériové motocykly. U tohoto provedení se jedná o brzdový kotouč, který je uchycen pomocí speciálních čtvercových nýtů tak, že se může lehce posouvat do stran po ose kola. Díky tomuto uspořádání pak úplně odpadají problémy s vystředěním brzdového kotouče po přimáčknutí brzdových destiček. Plovoucí uložení brzdového kotouče, používané především ve spojení s pevným brzdovým třmenem, kromě toho úplně odbourává problémy se zkřivením brzdového kotouče při brzdění a zrychluje účinek brzdy. [1]



Obrázek 4: Rozdíl mezi brzdovými kotouči klasickými (vlevo) a plovoucími (vpravo) [4]

(1 – brzdící část kotouče, 2 – nýt, 3 – střed kotouče)

2 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ

V motocyklovém průmyslu se používají různé typy brzdových systémů, které se liší svým provedením. Každé z nich má své výhody i nevýhody.

Konstruktéři se snaží dosáhnout co nejlepších brzdových vlastností a to je důvod, proč je v praxi možné setkat se s jejich kombinací na jednom motocyklu.

2.1 Bubnové a kotoučové brzdy

Hlavním rozdílem mezi bubnovými a kotoučovými brzdami je ovládání. V případě bubnových brzd se jedná o mechanické ovládání pomocí lanek a táhel. Kotoučové brzdy jsou dnes již ovládány hydraulicky pomocí brzdové kapaliny, která slouží jako médium pro přenos brzdného tlaku. Dříve bylo možné se u tohoto typu brzd setkat ještě s mechanickým ovládáním.

Bubnové brzdy jsou díky své zapouzdřené konstrukci odolné vůči vnikání vody a nečistot. Velkou nevýhodou této konstrukce je však špatné chlazení jednotlivých částí. Žebra a výřezy na bubnu ani lapače vzduchu na štítu brzdy nezajistí takový odvod tepla, aby při brzdění nedocházelo k zahřívání součástí a jejich následné tepelné deformaci. Vlivem vysoké teploty dochází k roztažení i oddálení brzdového bubnu od brzdových čelistí. To způsobí pokles brzdného účinku, protože tepelná roztažnost čelistí není tak znatelná. Také obtížný přístup k součástem brzd znemožňuje jednoduchou údržbu, případně výměnu.

Kotoučové brzdy jsou lehčí, nemají zapouzdřenou konstrukci a jsou tedy při jízdě vystaveny proudu vzduchu. Ten zajišťuje chlazení a omezuje tepelnou deformaci součástí. Jsou nenáročné na údržbu, výměna součástí je jednoduchá a není nutné je seřizovat, protože k vymezení potřebné vůle dochází automaticky. Brzdové pístky se s rostoucím opotřebením brzdových destiček stále více vysunují. To je dáno zvětšením objemu brzdové kapaliny dodané z vyrovnávací nádržky. Na druhou stranu jsou kotoučové brzdy vystaveny vnějším vlivům (voda, nečistoty, mastnota). Nevýhodou může být i mimostředné uložení jednokotoučové brzdy předního kola, které je jednou z příčin vzniku klopného momentu popsaného v kapitole 4.1.1 *Vznik klopného momentu*.

Důvodem přechodu od bubnových brzd ke kotoučovým je jejich nevyhovující brzdová charakteristika, která je vysvětlena v kapitole 2.4 *Charakteristika brzd*.

2.2 Srovnání jednotlivých typů bubnových brzd

Jednočinné bubnové brzdy jsou konstrukčně jednodušší a působí malou brzdou silou. Oproti dvojčinným brzdám mají pouze jednu náběžnou čelist a roztahování čelistí zajišťuje pouze jedna otočná vačka.

Dvojčinné bubnové brzdy vyvozují větší brzdou sílu, protože jejich čelisti jsou rozevírány dvěma vačkami a výsledný brzdou moment má při stejných rozměrech brzdy vyšší hodnotu než moment brzdy jednočinné.

2.3 Srovnání jednotlivých typů kotoučových brzd

Rozdíly mezi jednotlivými typy kotoučových brzd jsou velmi malé. Liší se počtem brzdových pístků a umístěním na motocyklu.

Kotoučové brzdy s pevným brzdovým třmenem mají dva až šest brzdových pístků. Nepohyblivé uložení třmene zajišťuje rovnoměrné přitlačení a opotřebením brzdových destiček, jednodušší údržbu i opravu. Jsou prostorově nenáročné a velice účinné.

Odlíšným řešením jsou brzdy s plovoucím brzdovým třmenem. Mívají jeden nebo dva pístky umístěné pouze na jedné straně, v jejichž osovém směru se třmen pohybuje. Toto uspořádání brzdy je levnější, lehčí a prostorově úspornější. Pro použití na předním kole se používá plovoucí třmen se dvěma pístky, na zadním kole stačí pístek jeden.

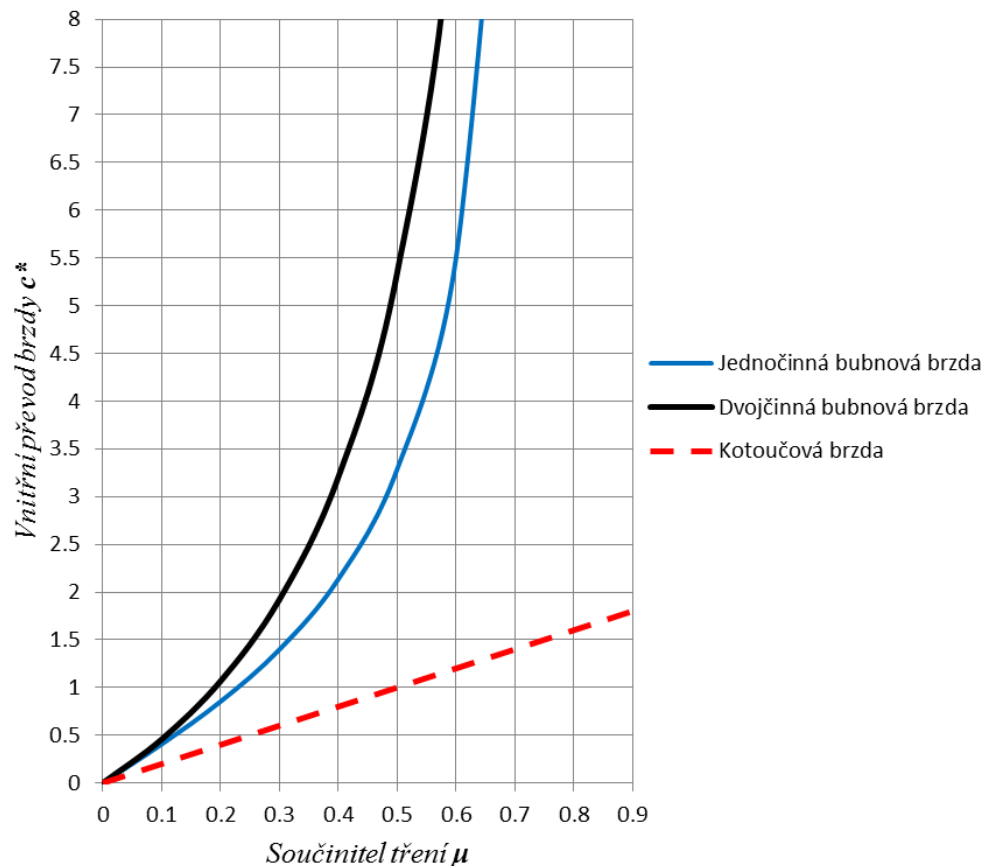
Kotoučové brzdy s výkyvným brzdovým třmenem se používají pouze na předních kolech a mají jeden pístek. Třmen je uchycen otočně a vychyluje se do stran okolo horizontální osy.

Podobným řešením jsou brzdy s otočným třmenem, které se odlišují natáčením brzdového třmene do stran okolo svislého čepu. Výhodou je, že při výměně destiček lze jednostranně rozšroubovat a není přitom nutné demontovat hydraulické vedení.

Kotoučové brzdy s plovoucí brzdovým kotoučem se používají ve spojení s pevným brzdovým třmenem. Plovoucí kotouč se pohybuje do stran v závislosti na přitlaku brzdových destiček. Pohybem do stran je zabráněno zkřivení kotouče, ke kterému dochází při jeho tepelné deformaci u nepohyblivého uložení třmene.

2.4 Charakteristika brzd

Charakteristika výše uvedených brzd je dána závislostí vnitřního převodu brzdy c^* na součiniteli tření μ , která vychází z výpočtu brzdného momentu. Výpočty jsou uvedeny níže ve zjednodušeném tvaru pro bubnovou i kotoučovou brzdou.



Graf 1: Brzdová charakteristika

Z obrázku je patrné, že použitím dvojčinné bubnové brzdy lze dosáhnout velkého brzdného momentu při malé ovládací síle. Musí se však uvážít, že při malé změně součinitele tření dochází k velké změně brzdného momentu. To znamená, že čím více je brzda citlivá na tuto změnu, tím méně stabilní je brzdný účinek.

Velikost ovládací síly bubnové brzdy je však menší než u brzdy kotoučové, u které je nutné vyvinout větší ovládací sílu, aby bylo dosaženo stejného brzdného účinku. Z toho důvodu se u kotoučových brzd používá hydraulické ovládání, které zvětšuje vnitřní převod brzdy, aby bylo dosaženo velkého brzdného účinku.

Přesto je výhodnější použití kotoučové brzdy, která má charakteristiku lineární, protože její třecí citlivost ($dc^*/d\mu$) je konstantní. Vlivem malé citlivosti na změnu součinitele tření, mají tyto brzdy dobrou stabilitu brzdného účinku.

2.4.1 Brzdňý moment a vnitřní převod jednočinné bubnové brzdy

Rovnice jsou vyjádřeny zjednodušeným tvarem, ve kterém je působíště normálové síly N uprostřed brzdové čelisti, třecí síla T na ni kolmá působí na poloměru bubnu r_B a síla K je silou ovládací.

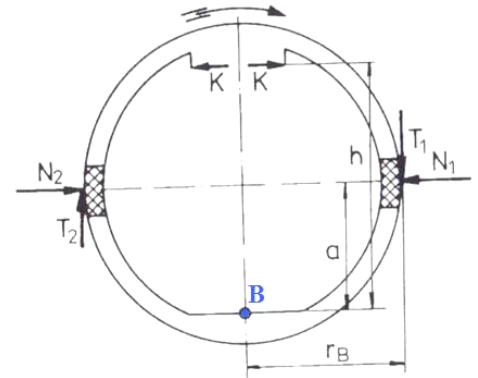
Rovnice (1a) je rovnicí silové působení na náběžné čelisti a rovnice (2a) je pro úběžnou čelist.

$$(1a): \sum M_B = 0; \quad K \cdot h + T_1 \cdot r_B - N_1 \cdot a = 0$$

$$(2a): \sum M_B = 0; \quad -K \cdot h + T_2 \cdot r_B + N_2 \cdot a = 0$$

Platí:

$$T_{1,2} = N_{1,2} \cdot \mu \Rightarrow N_{1,2} = \frac{T_{1,2}}{\mu}$$



Obrázek 5: Silové působení u jednočinné brzdy [1]

Z rovnic (1a) a (2a):

$$K \cdot h + T_1 \cdot r_B - \frac{T_1}{\mu} \cdot a = 0 \quad / \cdot \mu$$

$$K \cdot h \cdot \mu + T_1 \cdot (\mu \cdot r_B - a) = 0$$

$$\Rightarrow T_1 = \frac{\mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B} \cdot K$$

$$-K \cdot h + T_2 \cdot r_B + \frac{T_2}{\mu} \cdot a = 0 \quad / \cdot \mu$$

$$-K \cdot h + T_2 \cdot (\mu \cdot r_B + a) = 0$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{\mu \cdot h}{a + \mu \cdot r_B} \cdot K$$

Brzdňý moment:

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r_B = \mu \cdot h \cdot K \cdot \left(\frac{1}{a - \mu \cdot r_B} + \frac{1}{a + \mu \cdot r_B} \right) \cdot r_B$$

Lze psát ve tvaru:

$$M_B = c^* \cdot K \cdot r_B$$

Potom vztah pro vnitřní převod jednočinné bubnové brzdy:

$$c^* = \frac{T_1 + T_2}{K} = \mu \cdot h \cdot \left(\frac{1}{a - \mu \cdot r_B} + \frac{1}{a + \mu \cdot r_B} \right) = \frac{2 \cdot \mu \cdot h \cdot a}{a^2 - (\mu \cdot r_B)^2}$$

2.4.2 Brzdňý moment a vnitřní převod dvojčinné bubnové brzdy

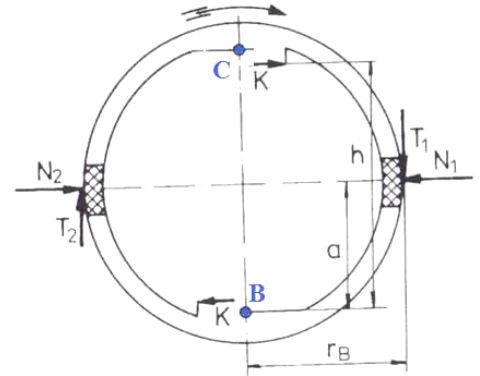
Výpočet je obdobný jako v případě brzdy jednočinné. Rovnice (1b) i (2b) jsou rovnicemi silového působení na náběžných čelistech.

$$(1b): \sum M_B = 0; \quad K \cdot h + T_1 \cdot r_B - N_1 \cdot a = 0$$

$$(2b): \sum M_C = 0; \quad K \cdot h + T_2 \cdot r_B - N_2 \cdot a = 0$$

Platí:

$$T_{1,2} = N_{1,2} \cdot \mu \Rightarrow N_{1,2} = \frac{T_{1,2}}{\mu}$$



Obrázek 6: Silové působení u dvojčinné brzdy [1]

Z rovnic (1b) a (2b):

$$K \cdot h + T_1 \cdot r_B - \frac{T_1}{\mu} \cdot a = 0 \quad / \cdot \mu$$

$$K \cdot h \cdot \mu + T_1 \cdot (\mu \cdot r_B - a) = 0$$

$$\Rightarrow T_1 = \frac{\mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B} \cdot K$$

$$K \cdot h + T_2 \cdot r_B - \frac{T_2}{\mu} \cdot a = 0 \quad / \cdot \mu$$

$$K \cdot h \cdot \mu + T_2 \cdot (\mu \cdot r_B - a) = 0$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{\mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B} \cdot K$$

Brzdňý moment:

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r_B = 2 \cdot \mu \cdot h \cdot K \cdot \left(\frac{1}{a - \mu \cdot r_B} \right) \cdot r_B$$

Lze psát ve tvaru:

$$M_B = c^* \cdot K \cdot r_B$$

Potom vztah pro vnitřní převod dvojčinné bubnové brzdy:

$$c^* = \frac{T_1 + T_2}{K} = \frac{2 \cdot \mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B}$$

2.4.3 Brzdňý moment a vnitřní převod kotoučové brzdy

U brzdy kotoučové je uvažováno, že velikost ovládací síly K je rovna velikosti normálové síly N a třecí síly T_1, T_2 jsou také stejně velké.

$$(lc): T_1 \cdot r + T_2 \cdot r = 0$$

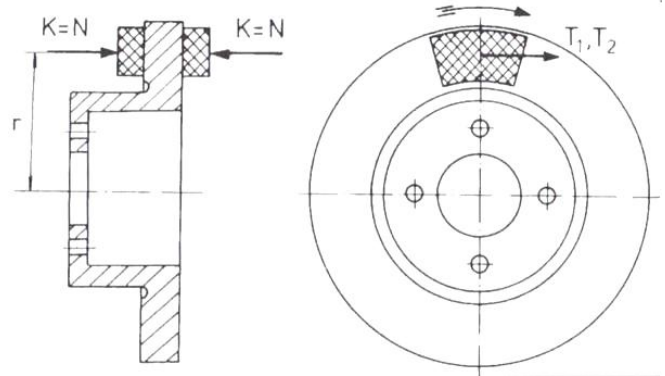
Platí:

$$T_1 = T_2 = T$$

$$T = N \cdot \mu = K \cdot \mu$$

Brzdňý moment:

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r = 2 \cdot T \cdot r = 2 \cdot K \cdot \mu \cdot r$$



Obrázek 7: Silové působení u kotoučové brzdy [1]

Lze psát ve tvaru:

$$M_B = c^* \cdot K \cdot r$$

Potom vztah pro vnitřní převod kotoučové brzdy:

$$c^* = \frac{T_1 + T_2}{K} = 2 \cdot \mu$$

3 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM ABS

Řidič motocyklu ovládá brzdovou soustavou svojí ruční a nožní silou, která určuje velikost brzdného tlaku, tedy i velikost brzdných momentů na kolech motocyklu. V kritických situacích, kdy je řidič nucen prudce brzdít, dochází vlivem překročení prahové hodnoty brzdného tlaku k zablokování kol, následné ztrátě směrové stability a obvykle i k pádu.

V dnešní době lze takovým nebezpečným situacím zabránit. Neustálý technický vývoj a zpřísňující se požadavky na bezpečnost zajišťují modernizaci v oblasti aktivních bezpečnostních prvků i v motocyklovém průmyslu. Jedním z řešení je právě použití elektronických protiblokovacích systémů (ABS), které rozpoznají a zabrání blokování kol snížením brzdného tlaku v brzdovém systému motocyklu.

3.1 Historie ABS

První myšlenkou o zabránění blokování kol při prudkém brzdění se zabýval již na počátku 20. století francouzský konstruktér letadel a automobilů Gabriel Voisin. Průkopníkem tohoto systému se však stala německá firma Bosch, která v roce 1936 získala patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“.

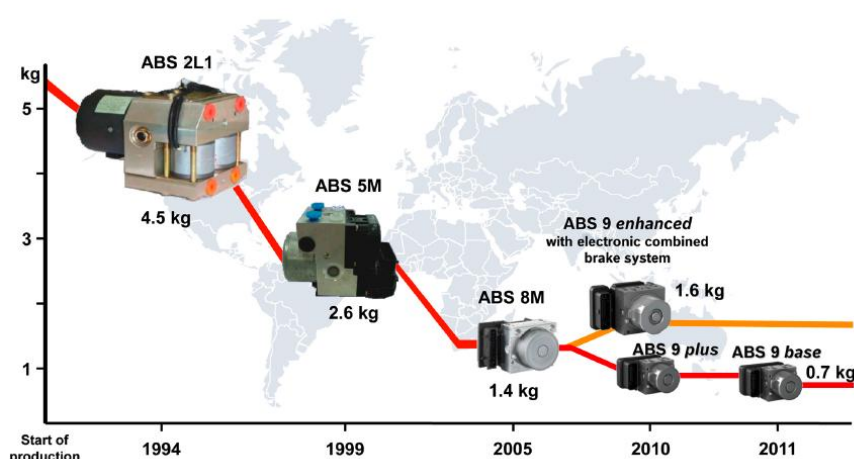
Teprve s nástupem elektroniky na začátku 70. let bylo možné vyvinout plně funkční elektronický protiblokovací systém určený pro automobily, který byl na trh uveden v roce 1978. První protiblokovací systémy určené pro motocykly od firmy Bosch přišli na trh v roce 1988 a byly nabízeny jako volitelný doplněk k cestovním motocyklům BMW K 100. Jednalo se o variace systémů z automobilového průmyslu o hmotnosti 11 kg.



Obrázek 8: První protiblokovací systém na motocyklu BMW K 100 [5]

V roce 1994 zahájila firma Bosch první sériovou výrobu jednotek ABS 2L1, jejichž hmotnost byla zredukována na 4,5 kg. Poté šel vývoj těchto systémů nezadržitelně kupředu a v roce 2010 představili inženýři firmy Bosch doposud nejmenší a nejlehčí jednotku ABS 9 vážící pouhých 0,7 kg, která umožňuje použití pro všechny typy a velikosti motocyklů. Tento pokrok ve vývoji zajistil masové nasazení brzdových systémů s ABS, ale stále jsou nabízeny pouze jako volitelný doplněk.

To se však změní v roce 2016, kdy vstoupí v platnost nový zákon Evropského parlamentu o povinnosti vybavení každého nového motocyklu nad 125 ccm protiblokovacím systémem ABS. Od roku 2017 bude tento zákon platný pro všechna motorová jednostopá vozidla, tedy i skútry a mopedy.



Obrázek 9: Vývoj protiblokovacích jednotek (Bosch)

3.2 Požadavky na ABS

Na protiblokovací systém ABS jsou kladeny tyto požadavky:

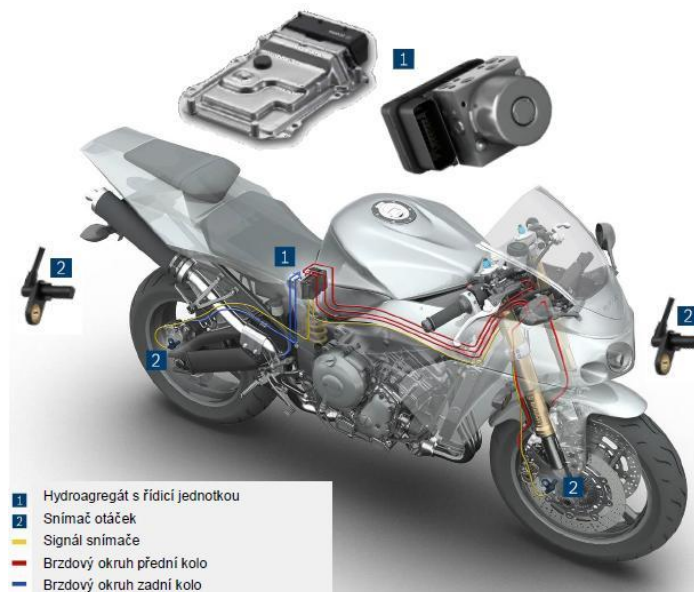
- během regulovaného brzdění musí být zachována říditelnost a stabilita vozidla,
- regulace musí pracovat v celém rychlostním rozsahu vozidla,
- regulační soustava musí optimálně využívat přilnavosti kol k vozovce, přičemž říditelnost má přednost před zkrácením brzděné dráhy,
- regulace brzdění se musí velmi rychle přizpůsobit změnám přilnavosti vozovky,
- také při brzdění na nerovné (vlnité) vozovce musí být vozidlo ovladatelné při libovolně prudkém brzdění; regulace brzdění musí rozpoznat aquaplaning a vhodně na něj reagovat,
- je-li rozeznána závada funkce ABS, musí dojít k vypnutí protiblokovací soustavy a řidič musí být o závadě informován (kontrolka ABS),
- při poruše ABS musí být zachována plná funkčnost základní brzdové soustavy. [1]

3.3 Princip funkce ABS

Hlavním úkolem protiblokovacího systému ABS je rozeznat blokování kol, které je vyhodnocováno z porovnávání rozdílů mezi reálnou rychlostí motocyklu (tzv. referenční rychlost) a rychlostí otáčení jednotlivých kol. Neustálým porovnáváním jsou zjišťovány informace o aktuálním zrychlení, zpomalení a prokluzu kol. Pokud je rychlost otáčení jednoho z kol nižší než rychlost referenční, dochází k upravení brzdného tlaku v brzdovém systému pro každé kolo zvlášť bez ohledu na polohu brzdové páky či pedálu tak, aby efektivita brzdění byla co největší.

Systém ABS tvoří 3 základní části:

- snímač otáček,
- elektronická řídicí jednotka,
- hydraulický modulátor brzdného tlaku.



Obrázek 10: Části protiblokovacího systému a jejich umístění na motocyklu (Bosch)

3.3.1 Snímač otáček

Přední i zadní kolo motocyklu je opatřeno impulsním kroužkem, který se otáčí společně s kolem a má po obvodu drážky. V blízkosti tohoto kroužku je umístěn snímač, který snímá jeho rychlost a tuto informaci předává elektronické řídicí jednotce ABS. Snímač je složen z permanentního magnetu a cívky. Vlivem střídajících se drážek na impulsním kroužku se při otáčení kola mění magnetické pole a ve snímači se indukuje střídavé napětí, z jehož frekvence je možné odvodit rychlost kola.

3.3.2 Elektronická řídicí jednotka

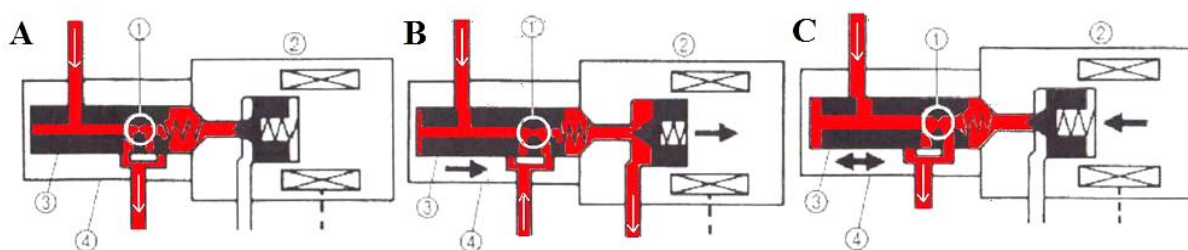
Elektronická řídicí jednotka ze snímačů otáček přijímá, zesiluje a filtruje signály, které jsou důležité pro výpočet rychlosti kol motocyklu. Jestliže jednotka vyhodnotí, že jedno z kol nebo i obě mají sklon k zablokování vlivem velké brzdové síly, vydá ihned příkaz hydraulickému modulátoru ke snížení tlaku v brzdovém systému blokováného kola. Jakmile pomine nebezpečí zablokování kola, řídicí jednotka příkaz zruší, ale pouze po dobu, po kterou nehrozí opětovné zablokování. Řídicí jednotka tedy zajišťuje optimální poměr mezi brzdovou silou a přilnavostí kol k vozovce, aby bylo dosaženo maximálního brzdového účinku.

Řídicí jednotku tvoří tři mikroprocesory, dva pracovní a jeden kontrolní. Pracovní mikroprocesory jsou konstrukčně stejné, zajišťují výpočet rychlostí kol a výsledky mezi sebou vzájemně porovnávají. Kontrolní mikroprocesor je sice konstrukčně jiný než pracovní, ale je schopen provádět tentýž výpočet. V případě, že rozdíl ve výpočtech pracovních mikroprocesorů je výrazně odlišný, je kontrolní mikroprocesor schopen určit, který z výpočtů je pravdivý a dokončit s daným mikroprocesorem průběh brzdění.

3.3.3 Hydraulický modulátor brzdového tlaku

Hydraulický modulátor je součástí systému ABS, která slouží ke snížení, udržení a obnovení brzdového tlaku. Je složen z hydraulického regulačního ventilu, tlakového zásobníku, hydraulického čerpadla a motoru. Na základě příkazů od řídicí jednotky upravuje tlak v brzdovém systému předního a zadního kola.

Hydraulický regulační ventil je tvořen regulačním průtokovým ventilem, který zajišťuje přívod brzdové kapaliny k brzdám, a elektromagnetickým ventilem sloužícím jako regulátor brzdového tlaku. Pracuje v normálním, aktivačním a deaktivacním režimu.



Obrázek 11: Hydraulický regulační ventil a jeho pracovní režimy [1]

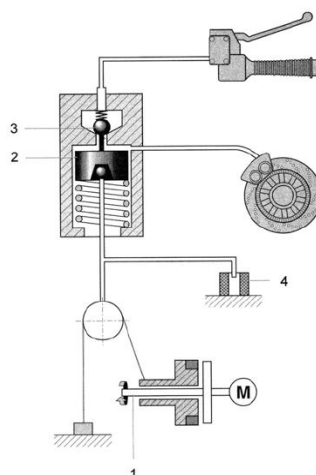
(1 – otvor, 2 – elektromagnetický ventil, 3 – cívka, 4 – regulační průtokový ventil)

- A) Při normálním brzdění je elektromagnetický ventil uzavřen a cívka průtokového ventilu se nepohybuje.
- B) Aktivace systému ABS nastane po otevření elektromagnetického ventilu na příkaz řídicí jednotky, aby došlo ke snížení brzdného tlaku, a cívka průtokového ventilu mění svoji polohu ve směru elektromagnetického ventilu.
- C) K deaktivaci dojde ve chvíli, kdy bude příkaz od řídicí jednotky zrušen. Cívka průtokového ventilu se vrátí do původní polohy, elektromagnetický ventil se uzavře a brzdová kapalina je opět pod tlakem.

3.3.4 Průběh brzdění s ABS

Pokud řídicí jednotka vyhodnotí nebezpečí zablokování kol, vydá pokyn k zapnutí elektromotoru, jež je součástí hydraulického modulátoru. Elektromotor je poháněn hřídelem, na kterém se nachází spojovací elementy předního a zadního brzdového okruhu. Elementy jsou tvořeny elektromagnetickými třecími spojkami a intenzita jejich magnetického pole je dána řídicí jednotkou. Působením elektromagnetu spojky na třecí desku, která je pevně spojená s elektromotorem, dochází ke stahování odlehčovacího pístu v modulátoru proti síle vratné pružiny. Tímto způsobem řídicí jednotka reguluje zdvih pístu pomocí změny intenzity magnetického pole. Vychýlení pístu vzhledem k jeho původní poloze je snímáno polohovým snímačem, jež tuto informaci předává řídicí jednotce až 250/s.

Vysunutím pístu dojde k uzavření kuličkového ventilu a zároveň k zamezení nárůstu brzdového tlaku v příslušném brzdovém třmenu. Jestliže píst klesne dolů, dostane se brzdová kapalina do zvětšujícího se prostoru nad ním a její tlak se zmenší.

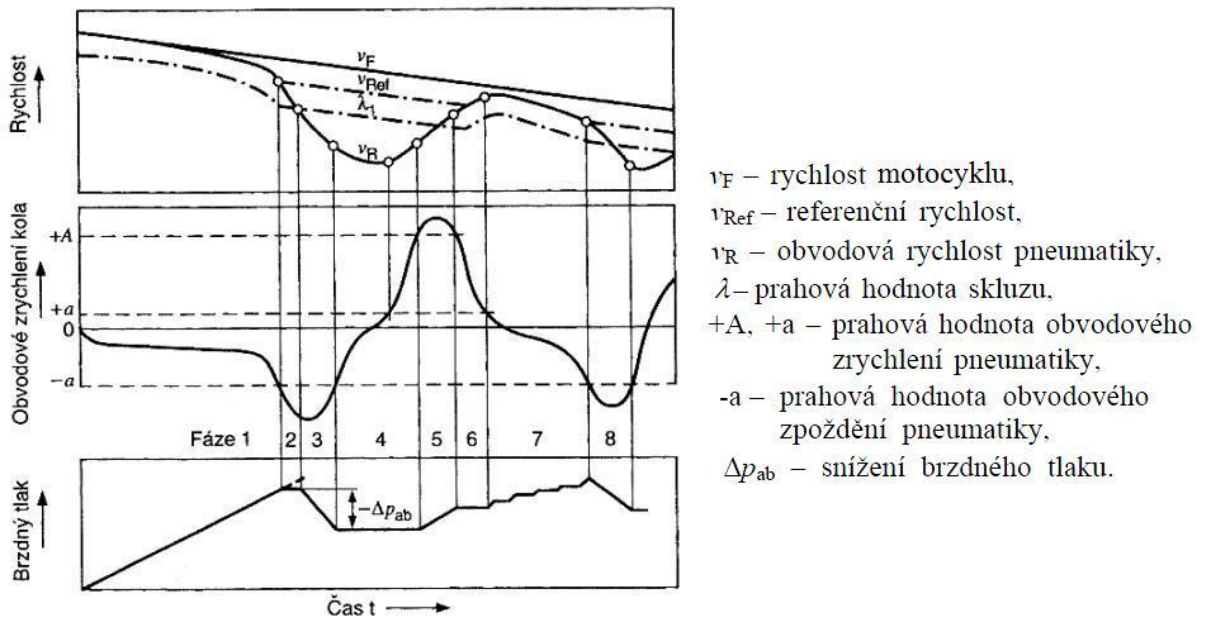


Obrázek 12: Základní schéma tlakového modulátoru [6]

(M – motor, 1 – hřídel spojky, 2 – píst, 3 – kuličkový ventil, 4 – snímač polohy)

3.3.5 Regulační cyklus ABS

Na obrázku je znázorněn průběh brzdění motocyklu s protiblokovacím systémem, ve kterém je zobrazena závislost rychlosti, obvodového zrychlení kola a brzdného tlaku na čase. Je to proto, že při brzdění motocyklu dochází ke snižování jeho rychlosti, tedy i zrychlení kol, vlivem nárůstu brzdného tlaku v systému.



Obrázek 13: Regulační cyklus brzdění s protiblokovacím systémem (Bosch)

Průběh je rozdělen do několika fází:

- 1) Motocykl je brzděn z určité rychlosti, dochází k poklesu obvodového zrychlení kola a tlak v brzdovém systému narůstá do doby, kdy obvodové zrychlení kola dosáhne prahové hodnoty (-a).
- 2) Po dosažení prahové hodnoty (-a) řídicí jednotka zamezí dalšímu nárůstu brzdného tlaku a pouze jej udržuje. Nesmí však dojít k jeho poklesu, protože je třeba, aby obvodové zrychlení kola dále klesalo, dokud je křivka prahového skluzu ve stabilní oblasti a nedošlo k prodloužení brzdné dráhy. Současně dochází k postupnému snižování referenční rychlosti, z které je odvozen spínací práh skluzu λ_1 .
- 3) Rychlost otáčení kol motocyklu klesá pod prahovou hodnotu skluzu. V tomto okamžiku je řídicí jednotkou aktivován systém ABS. Dochází tedy k okamžitému snížení brzdného tlaku, dokud obvodové zrychlení kola opět nedosáhne prahové hodnoty (-a), aby nedošlo k zablokování kola.

- 4) Dalšímu snižování tlaku je zamezeno a jeho hodnota zůstává během této fáze konstantní. Obvodové zrychlení kola stoupá nad prahovou hodnotu (+a) k hodnotě (+A) a zároveň stoupá i rychlost otáčení kola.
- 5) V brzdovém systému dochází k opětovnému nárůstu tlaku, dokud hodnota obvodového zrychlení kola překračuje práh (+A) a rychlost otáčení kola stále stoupá.
- 6) Brzdný tlak je opět pouze udržován na konstantní hodnotě, protože dochází k postupnému klesání obvodového zrychlení kola až pod prahovou hodnotu (+a). To znamená, že je kolo nedobrzděno a stále se pohybuje ve stabilní oblasti.
- 7) Nárůst brzdného tlaku je postupný, dokud hodnota obvodového zrychlení kola neklesne pod hodnotu (-a).
- 8) Obvodové zrychlení klesá pod práh (-a) a rychlost kola také klesá. Proto se musí opět snížit brzdný tlak v systému, jinak se kolo motocyklu zablokuje.

Tímto způsobem nadále pokračuje průběh brzdění motocyklu do úplného zastavení.

3.4 Sdružený brzdový systém C-ABS

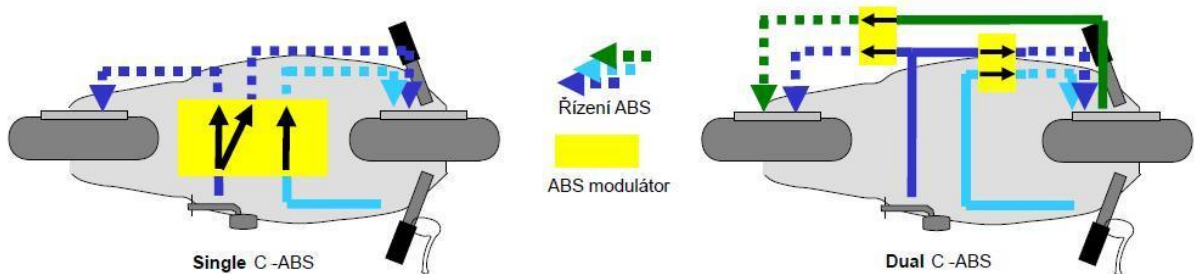
Systém C-ABS je obdobou systému ABS. Rozdíl mezi těmito dvěma systémy je pouze v rozdělení brzdné síly na kola motocyklu. V praxi to znamená, že pokud řidič motocyklu použije pouze přední nebo zadní brzdu, tento kombinovaný systém automaticky přibrzdí i kolo druhé. Napomáhá tak zkrátit brzdnou dráhu a stabilizovat motorku při krizovém brzdění. Systém ABS rozděluje brzdný tlak na každé kolo zvlášť pomocí dvou řídicích kanálů. Systém C-ABS musí mít řídicích kanálů více, protože propojuje brzdění přední a zadní brzdou. Podle tohoto propojení lze systém rozdělit na dva typy.

3.4.1 Single C-ABS

Jedná se o jednoduchý systém, u kterého je zkombinovaná funkce brzdy zadní s brzdou přední. To znamená, že při brzdění zadní brzdou je zároveň přibrzdováno i kolo přední. Tím je dosaženo relativně vysokého brzdného zpomalení použitím jednoho ovládacího prvku – zadní brzdy. Vzájemné propojení brzdové soustavy zajišťují tři řídicí kanály, jejichž regulace je nezávislá. Tento typ sdruženého brzdového systému je určen především pro skútry a menší motocykly.

3.4.2 Dual C-ABS

Duální brzdový systém má řešení trochu složitější vzhledem k tomu, že je třeba zajistit propojení zadní brzdy s přední, ale také vzájemné fungování mezi brzdou přední a zadní. K tomu je zapotřebí čtyř-kanálové vedení. Jeden kanál zajišťuje regulaci brzdného tlaku na předním kole, další dva kanály rozdělují tlak pro přední a zadní kolo od sešlápnutého brzdového pedálu. Poslední čtvrtý kanál částečně odvádí tlak z kola předního na zadní.

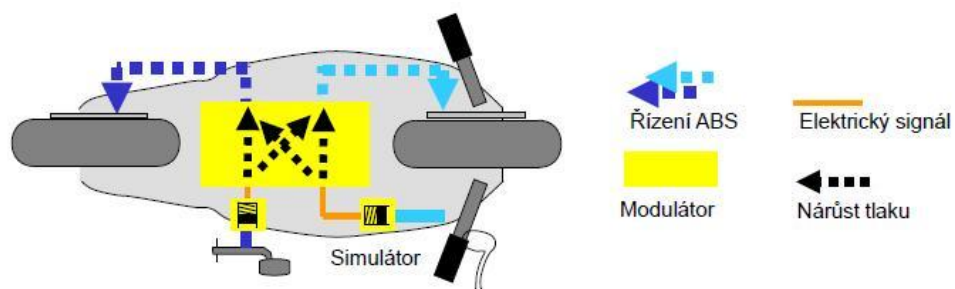


Obrázek 14: Duální brzdový systém (Bosch)

3.5 Elektrohydraulický sdružený brzdový systém eCBS

Systém eCBS je prvním elektronicky řízeným brzdovým systémem na světě, který usnadňuje plynulé brzdění motocyklu bez blokování kol. Elektronické řízení je na velmi vysoké úrovni a nabízí mimořádně přesné ovládání brzdného tlaku. Propojení předního a zadního brzdového okruhu napomáhá snížit délku brzdné dráhy nezávisle na tom, zda řidič motocyklu používá více přední nebo zadní brzdu či jejich kombinaci.

Řídicí jednotka dostává elektronickými signály informace o tlaku vyvozeném brzdovou pákou, případně pedálem, a přepočítává rozložení brzdné síly na přední i zadní kolo. Výsledkem je hladký průběh brzdění, při kterém nedochází k pulzaci brzdové páky jako u klasického protiblokovacího brzdového systému.



Obrázek 15: Elektrohydraulický sdružený brzdový systém (Bosch)

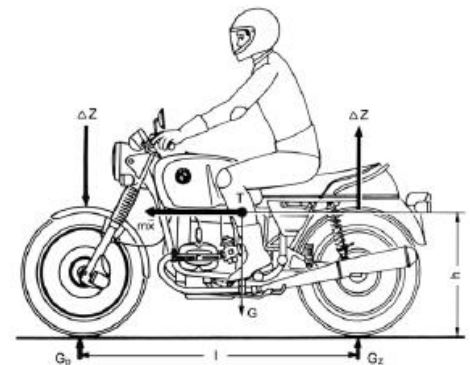
4 BRZDĚNÍ MOTOCYKLU A SMĚROVÁ STABILITA

Brzdění motocyklu a směrová stabilita spolu velmi úzce souvisí. Motocyklista by měl plně ovládat techniku jízdy. Především umět svůj motocykl zastavit na co nejkratší dráze, aniž by došlo ke ztrátě směrové stability.

4.1 Brzdění motocyklu

Důležitou roli při brzdění motocyklu hraje rozdělení brzdného účinku na přední a zadní kolo. Zpravidla by největší brzdný účinek měl být kladen na přední kolo (60-80%), právě proto jsou na něm umístěny dva brzdové kotouče. Při brzdění motocyklu dochází ke změně zatížení obou kol. Zadní kolo se odlehčí o hodnotu ΔZ_z , která přitíží kolo přední o ΔZ_p . Velikost hodnoty vychází z níže uvedené rovnice rovnováhy momentů. Z tohoto důvodu nesmí dojít k přebrzdění ani jednoho z kol, protože zablokovaná a smýkající se kola prodlužují brzdnou dráhu, především na mokřem povrchu. V horších případech může dojít ke ztrátě stability a následnému pádu. Právě z tohoto důvodu jsou stále více zaváděny protiblokovací systémy ABS, které částečně zachovávají říditelnosti motocyklu a umožňují jeho bezpečné zastavení.

$$\begin{aligned}\sum M_p &= 0; \quad m\ddot{x} \cdot h + \Delta Z_z \cdot l = 0 \\ \Rightarrow \Delta Z_z &= -\frac{m\ddot{x} \cdot h}{l} \\ \Rightarrow \Delta Z_p &= \frac{m\ddot{x} \cdot h}{l}\end{aligned}$$

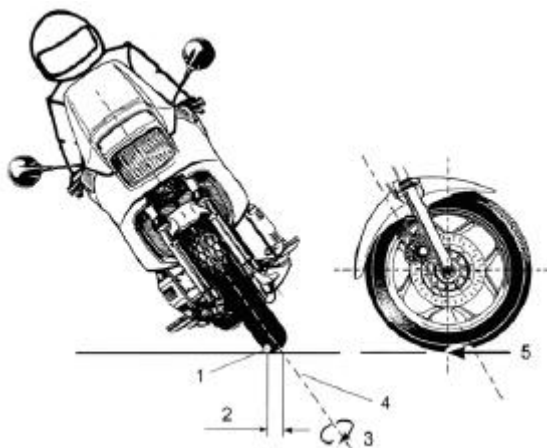


Obrázek 16: Změna zatížení kol při brzdění [1]

4.1.1 Vznik klopného momentu

Složité a nebezpečné je brzdění v zatáčce, při kterém vzniká klopný moment projevující se napřimováním motocyklu z důvodu mimostředného působení brzdné síly. Ideální by bylo, kdyby jezdec přesně odhadl nájezdovou rychlost a stihl motocykl včas přibrzdit tak, aby už během průjezdu zatáčkou nemusel brzdit. Pokud pojede příliš rychle, měl by opatrně přibrzďovat pouze zadní brzdou. Při jejím použití není napřimování motocyklu tak znatelné jako při použití brzdy přední.

Brzdná síla působí v místě styku pneumatiky s vozovkou. V případě brzdění v zatáčce vzniká z této síly klopný moment kolem osy řízení. Důvodem vzniku je přemístění stykové plochy ze středu pneumatiky na její vnitřní stranu do směru zatáčky. Působením klopného momentu se stáčí přední kolo motocyklu směrem dovnitř zatáčky a následuje napřimování motocyklu, které vychází z gyroskopického účinku kola daným rychlostí jeho otáčení. Rychle se otáčející kolo si zachovává polohu roviny rotace, proto při jeho naklopení klade odpor. Následné napřimování motocyklu jej pak vychýlí ze zatáčky směrem ven.



Obrázek 17: Moment řízení při brzdění v zatáčce [7]

(1 – styková plocha pneumatiky s vozovkou, 2 – rameno síly, 3 – moment řízení, 4 – osa řízení, 5 – brzdná síla)

4.1.2 Brzdná dráha

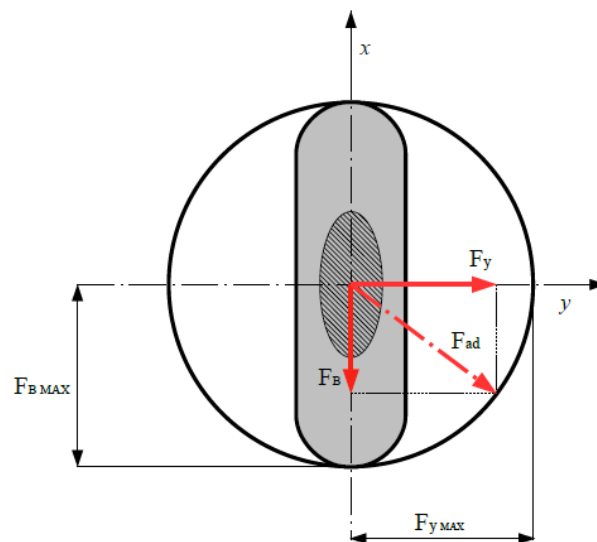
Brzdná dráha představuje vzdálenost, během které dojde k zastavení motocyklu. Nezahrnuje však dobu prodlevy brzd ani reakční dobu řidiče. Doba prodlevy brzd je dána časem, který uběhne od použití brzd do doby jejich působení. Reakční doba řidiče závisí na rychlosti rozpoznání nebezpečí a použití brzd.

Jestliže je uvažována prodleva brzd a reakční doba řidiče, pak se jedná o dráha pro zabrzdění. Tu ovlivňuje rychlost jízdy, protože čím větší je rychlost, tím delší je i brzdná dráha. Dále závisí na hmotnosti motocyklu s jezdcem, účinnosti brzd, kvalitě pneumatik a stavu vozovky. Důležitá je i zkušenost řidiče motocyklu. Pokud je řidič nezkušený, jsou jeho reakce pomalejší a délka brzdné dráhy delší.

4.1.3 Vliv adheze

Ovladatelnost motocyklu závisí na velikosti sil, které jsou přenášeny mezi koly a vozovkou. Ve stykové ploše kola s vozovkou působí podélná, případně boční síla a radiální reakce. Tento silový přenos je pro kolo brzděné i poháněné skoro stejný. Poměr přenášených sil se udává pomocí součinitele adheze (přilnavosti). Hodnota tohoto součinitele je dána velikostí skluzu mezi pneumatikou a vozovkou.

Okamžité adhezní vlastnosti lze znázornit pomocí Kammovy kružnice, která určuje poměr přenášených sil. Vektorovým součtem těchto sil je dána velikost adhezní síly, která nesmí překročit poloměr této kružnice. Pokud jej překročí, dojde ke ztrátě přilnavosti a motocykl se stane neovladatelným.



Obrázek 18: Kammova kružnice

Součinitel adheze je ovlivněn povrchem vozovky. Zda se jedná o asfaltový či betonový povrch nebo je vozovka znečištěná (písek, listí, olejové skvrny). Nebezpečné může být i barevné dopravní značení na vozovce, zejména za vlhkého počasí. Přilnavost k vozovce nesmí být překonána brzdícím účinkem, jinak se motocykl bude pohybovat smykem. Tento nestabilní jev je dán stavem i teplotou vozovky a pneumatik motocyklu. Styčná plocha pneumatiky s vozovkou taktéž ovlivňuje přilnavost. Během jízdy dochází k zahřívání běhounu, jeho povrch měkne a přilnavost se zvyšuje. To však neplatí při jízdě na mokré vozovce, protože se pneumatiky nezahřívají vůbec nebo jen velmi málo a jízdní vlastnosti se zhoršují.

5 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experiment spočívá v měření brzdných drah motocyklu se systémem ABS a bez něj. Úkolem je potvrdit, případně vyvrátit, že zákonem povinné vybavení motocyklu systémem ABS je správným krokem nejen ke snížení nehodovosti, ale i ke zvýšení aktivní bezpečnosti jezdce samotného.

5.1 Místo měření

Pro provedení experimentu je nutné, aby místo měření splňovalo několik důležitých požadavků zajišťujících plnohodnotnost měření a bezpečnost. Mezi ně patří především dostatečná délka a šířka vozovky s kvalitním povrchem bez jakýchkoli překážek, aby byl zajištěn rozjezd motocyklu na požadovanou rychlost i jeho bezpečné zastavení. Jednou z dalších podmínek je nulový provoz, aby se předešlo případné kolizi.

Místem měření se stala letištní plocha v Panenském Týnci splňující výše uvedené požadavky. Na místě měření byla provedena zkouška protismykových vlastností vozovky pomocí kyvadla dle normy ČSN 13036-4, kterou bylo zjištěno, že součinitel smykového tření má hodnotu 0,76. Ta odpovídá vlastnostem nově položeného asfaltového povrchu, protože na běžných silnicích se tento součinitel pohybuje v rozmezí hodnot 0,3 až 0,5. Lze tedy usoudit, že při tomto experimentu budou délky brzdných drah kratší než na běžných silnicích.



Obrázek 19: Letištní plocha v Panenském Týnci

5.2 Měřicí zařízení

Na motocykl bylo namontováno zařízení Racelogic Performance Box zapůjčené od české pobočky TÜV SÜD. Jedná se o samostatně pracující a pro účel měření dostatečně přesné zařízení s globálním polohovacím systémem (GPS), které shromažďuje naměřené údaje na paměťovou kartu a v reálném čase je zobrazuje na displeji.

Výrobce udává, že přístroj je schopen zaznamenat rychlost s přesností 0,2km/h a odchylkou dráhy do 0,05%. Z toho vyplývá, že na 1000m je maximální nepřesnost 0,5m.

5.3 Průběh měření

Měření délky brzdné dráhy bylo provedeno z rychlosti 100km/h na mokřém a suchém povrchu s aktivovaným i deaktivovaným systémem ABS. Aby byla zaručena věrohodnost výsledků, bylo měření provedeno třemi jezdci po třech pokusech na každém povrchu.

Testovaným motocyklem bylo nové cestovní enduro značky Yamaha XT1200Z Ténéré s elektronicky řízeným sdruženým brzdovým systémem eCBS. Ještě před samotným měřením se jezdci s motocyklem obeznámili, aby si mohli brzdění vyzkoušet nanečisto.

Na letištní ploše byla vymezena dráha pro rozjezd motocyklu na požadovanou rychlost a dojezdová dráha, která sloužila k úplnému zastavení motocyklu. Místo rozdělení těchto drah bylo vyznačeno reflexními kužely a barevnou čarou. Ve stejném místě byl situován i radarový měřič rychlosti informující jezdce o jeho aktuální rychlosti.

První část měření brzdné dráhy probíhala na suchém povrchu. Na motocykl bylo umístěno měřící zařízení. Poté se jezdec s motocyklem rozjel na danou rychlost a po projetí mezi kužely začal prudce brzdit až do úplného zastavení.

Druhá část měření pokračovala na mokřém povrchu. Simulace mokřé vozovky byla provedena za pomoci hasičského vozu, který během měření celou plochu měřící dráhy kropil. Měření délky brzdné dráhy proběhlo stejným způsobem jako v první části.

Délky brzdných drah byly orientačně přeměřeny pomocí pásma.



Obrázek 20: Dělicí místo rozjezdové a dojezdové dráhy



Obrázek 21: Umístění měřícího zařízení

5.4 Naměřené hodnoty

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty délek brzdných drah, kterých dosáhli jednotliví jezdci na motocyklu Yamaha XT1200Z Ténéré na suché a mokré vozovce.

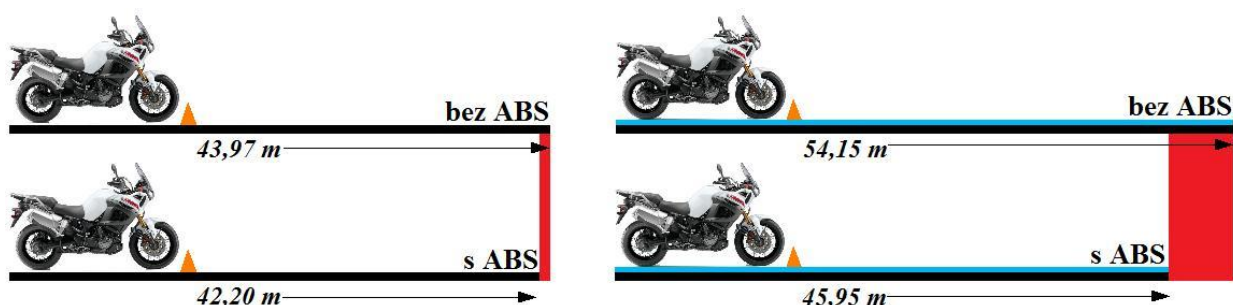
Tabulka 1: Naměřené délky brzdných drah

<i>David Bodlák</i>			
Suchá vozovka		Mokrá vozovka	
Bez ABS	S ABS	Bez ABS	S ABS
40,27 m	43,39 m	59,02 m	43,63 m
43,55 m	39,22 m	53,62 m	41,98 m
42,97 m	43,47 m	61,10 m	43,60 m
<i>Jaroslav Beran</i>			
Suchá vozovka		Mokrá vozovka	
Bez ABS	S ABS	Bez ABS	S ABS
49,32 m	41,57 m	58,21 m	44,48 m
47,28 m	43,07 m	50,94 m	44,49 m
47,39 m	42,22 m	54,55 m	43,52 m
<i>Miroslav Lisý</i>			
Suchá vozovka		Mokrá vozovka	
Bez ABS	S ABS	Bez ABS	S ABS
45,23 m	42,43 m	50,49 m	44,16 m
37,55 m	42,84 m	49,43 m	50,39 m
42,14 m	43,37 m	50,01 m	57,30 m

Z uvedených hodnot byly vypočteny průměrné hodnoty brzdných drah a také rozdíl mezi brzděním s aktivovaným a deaktivovaným protiblokovacím systémem. Dále byla vypočtena i směrodatná odchylka udávající odchylku jednotlivých hodnot od jejich aritmetického průměru. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchytky délek brzdných drah

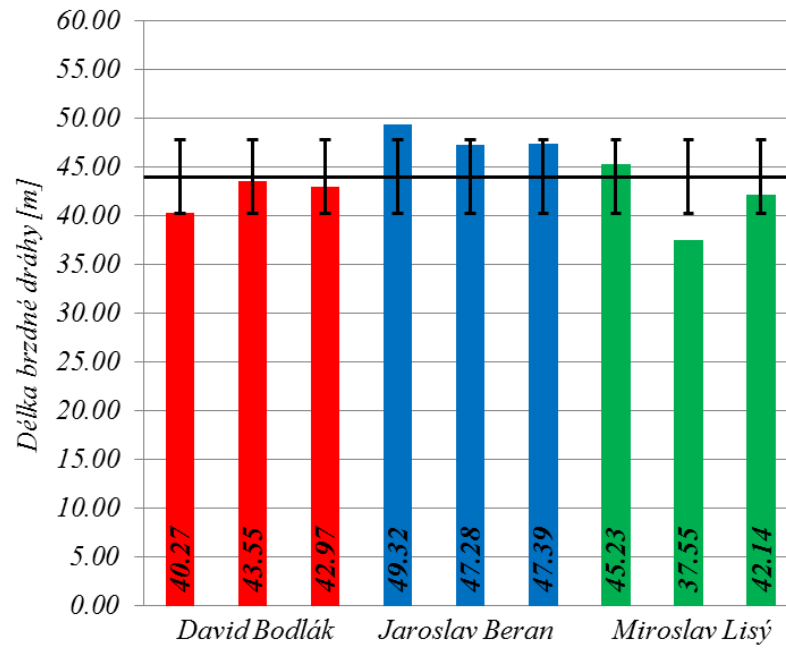
<i>Průměrné hodnoty ze všech měření</i>			
Suchá vozovka		Mokrá vozovka	
Bez ABS	S ABS	Bez ABS	S ABS
43,97 m	42,40 m	54,15 m	45,95 m
Rozdíl:	- 1,57 m	Rozdíl:	- 8,20 m
<i>Směrodatné odchytky</i>			
Suchá vozovka		Mokrá vozovka	
Bez ABS	S ABS	Bez ABS	S ABS
3,53 m	1,27 m	4,11 m	4,58 m



Obrázek 22: Srovnání průměrných délek brzdných drah

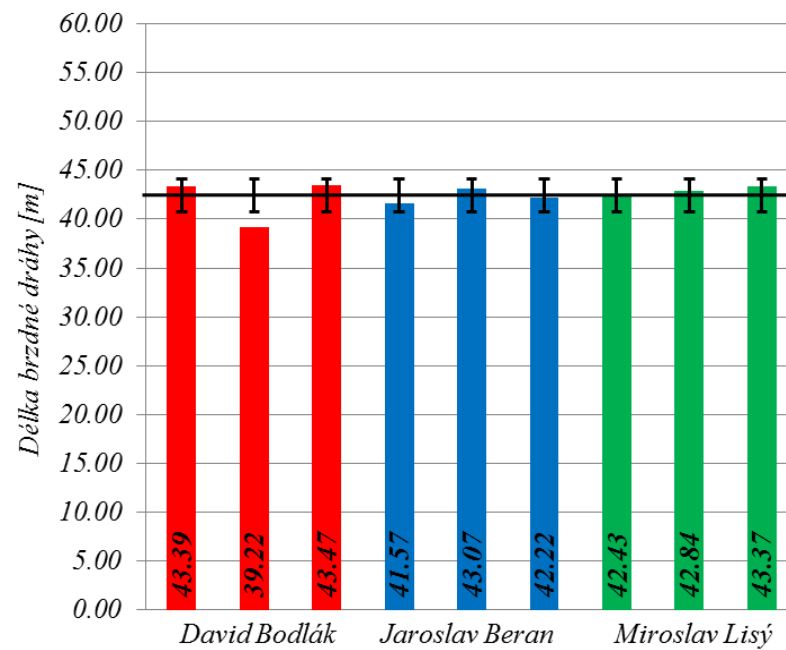
Z naměřených a vypočtených hodnot byly sestaveny grafy, které jsou rozděleny dle povrchu vozovky a použití protiblokovacího systému. V každém grafu jsou uvedeny dosažené délky brzdných drah jednotlivých jezdců ve směru svislé osy. Jejich aritmetický průměr je vynesena ve vodorovném směru a hodnota směrodatné odchytky je kolem něj naznačena v kladném i záporném smyslu

Brzdění na suchém povrchu bez ABS



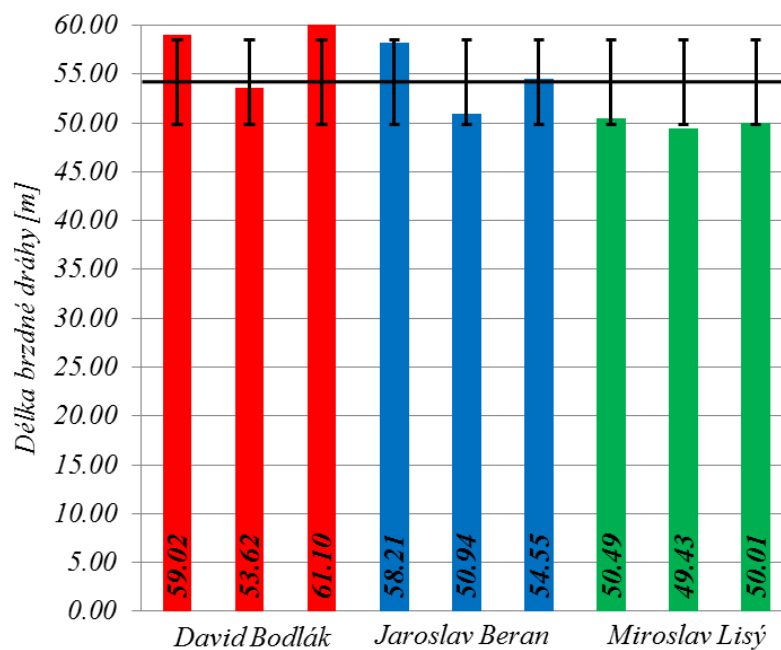
Graf 2: Brzdění na suchém povrchu bez ABS

Brzdění na suchém povrchu s ABS



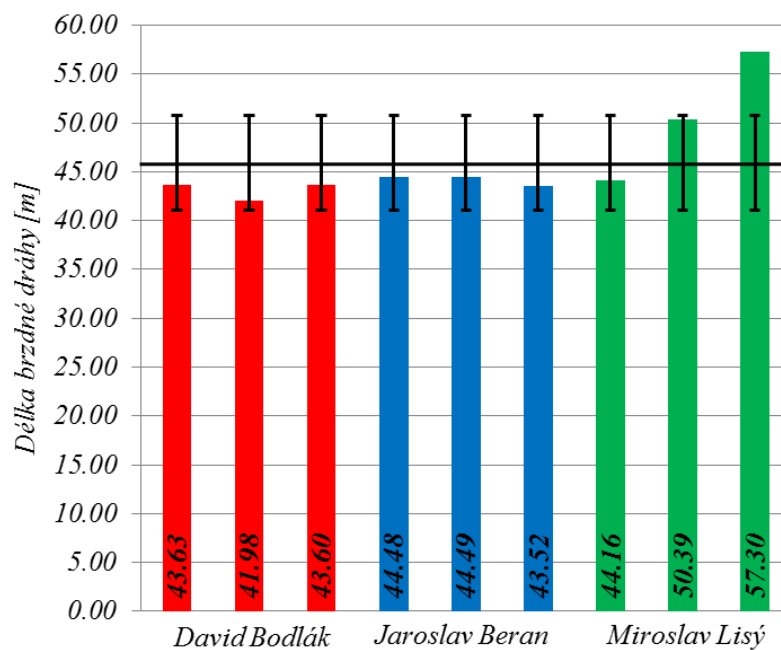
Graf 3: Brzdění na suchém povrchu s ABS

Brzdění na mokrém povrchu bez ABS



Graf 4: Brzdění na mokrém povrchu bez ABS

Brzdění na mokrém povrchu s ABS



Graf 5: Brzdění na mokrém povrchu s ABS

6 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Úkolem experimentu bylo zjistit, zda je nutné, aby byly nové motocykly povinně vybaveny protiblokovacím systémem, který má nejen mnoho zastánců, ale i odpůrců. Měřením bylo ověřováno, zda tento systém skutečně zkracuje délku brzdné dráhy, jak uvádí jeho přední výrobce firma Bosch. Podle její studie je rozdíl v délce brzdné dráhy motocyklu s protiblokovacím systémem na mokřém povrchu až $9m$. U tohoto výsledku však není známo, jakým způsobem bylo měření prováděno ani jaký motocykl byl k měření použit.

Zprůměrováním hodnot délek brzdých drah (viz. Tabulka 1, 2) naměřených na letištní ploše vyšlo, že systém s protiblokovací funkcí zkracuje délku brzdné dráhy na mokřém povrchu o $8,2m$ a o $1,57m$ na suchém povrchu.

Přínos protiblokovacího systému je z tohoto pohledu na výsledku měření patrný. Nelze z něj však učinit jednoznačný závěr, jestliže jsou uvažovány i hodnoty brzdých drah jednotlivých jezdců.

Na suchém povrchu jsou rozdíly brzdých drah malé a není zde zřetelný přínos protiblokovacího systému. V jednom případě systém brzdnu dráhu zkrátí a v druhém naopak prodlouží. Při brzdění na mokřém povrchu jsou již rozdíly brzdých drah dosti velké, zejména u prvních dvou jezdců. Lze tedy říci, že přínos protiblokovacího systému při brzdění na mokřém povrchu je zřejmý. Výsledky brzdění třetího jezdce jsou ale překvapivé. V případě brzdění s deaktivovaným systémem jsou délky brzdých drah téměř stejné a oproti předešlým jezdcům i kratší. Při brzdění s aktivním systémem je výsledek prvního brzdění lepší, podruhé je hodnota délky podobná s délkou dráhy brzdění bez systému a v třetím případě je délka brzdné dráhy mnohem delší.

Grafy uvedené v předchozí kapitole potvrzují, že hodnoty brzdých délek naměřených u třetího jezdce se oproti prvním dvěma liší a jsou i mimo meze směrodatné odchylky nebo se k ní přibližují.

Z hlediska měřicí metody lze výsledky experimentu považovat za správné. Jestliže výrobce přístroje použitého k měření délky brzdné dráhy udává odchylku v určení dráhy $0,05\%$, potom se chyba ve výsledku pohybuje v řádech dvou desetinných míst a proto jej nijak zásadně neovlivňuje.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověřit přínos protiblokovacího brzdového systému na základě experimentálního měření. Dle mého názoru výsledky experimentu vypovídají o tom, že zavádění protiblokovacích systémů v motocyklovém průmyslu je správným krokem ke zvýšení aktivní bezpečnosti i snížení nehodovosti.

Nutno podotknout, že význam protiblokovacího systému spočívá v zachování říditelnosti motocyklu, které je prioritní. Mnoho lidí se však domnívá, že hlavním úkolem systému je zkrácení brzdné dráhy. K výraznému zkrácení brzdné dráhy totiž dochází jen na mokřém povrchu vozovky.

V rámci přípravy této bakalářské práce jsem dostala možnost zúčastnit se výukového kurzu bezpečné jízdy na motocyklu, na kterém jsem vypomáhala na stanovišti nácviku brzdění, jehož součástí bylo i měření délky brzdné dráhy. Účastníky kurzu byli středně pokročilí jezdci. Měření délky brzdné dráhy probíhalo na jejich vlastních motocyklech, které většinou nebyly vybavené protiblokovacím brzdovým systémem. Protože přišlo, byly hodnoty délek brzdných drah neobvykle vysoké. Jezdci přikládali špatným výsledkům vliv strachu z prudkého brzdění. Tento vliv byl potvrzen odvážností některých jezdců, kteří brzdili prudce a ztratili tak kontrolu nad svým motocyklem. Jezdci měli možnost vyzkoušet si brzdění i na výukovém motocyklu, který měl protiblokovací brzdový systém. Brzdění s tímto motocyklem hodnotili velice kladně, především proto, že při prudkém brzdění nepocíťovali sklon kol k jejich zablokování, ale pouze pulsaci ovládací brzdové páky a pedálu. I já jsem si zde vyzkoušela brzdění na tomto motocyklu a právě proto se řadím mezi zastánce tohoto systému.

Nicméně než vstoupí v platnost zákon o povinném vybavování motocyklu tímto systémem, měli by výrobci uvážit, zda je nutné, aby byl systém v neustálém provozu. Jak již bylo uvedeno, zkrácení délky brzdné dráhy je znatelné na mokřém povrchu. Z toho důvodu by mnozí motocyklisté jistě uvítali, aby bylo možné systém použít dle jejich uvážení a tedy, aby byla možnost jej jednoduše vypnout pomocí tlačítka.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

[1] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 2: Převodné ústrojí, podvozek, rám, elektrická výbava*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004, 356-661 s.

ISBN 80-239-1601-7.

[2] ROLLINGER, Mirek. Technika motocyklu - 3. část - brzdy. In: *Motorkáři* [online]. 22. 9. 2005. 2005 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-3.-cast-brzdy-3259.html>

[3] Duplex Drum Brake. W&W Cycles AG [online]. [cit. 2014-03-24].

Dostupné z: [http://www.wwag.com/cgi-](http://www.wwag.com/cgi-bin/WebObjects/WebSite.woa/wa/DirectAction?page=%21WW38194)

[bin/WebObjects/WebSite.woa/wa/DirectAction?page=%21WW38194](http://www.wwag.com/cgi-bin/WebObjects/WebSite.woa/wa/DirectAction?page=%21WW38194)

[4] SD Technology. Pashnit Motorcycle Tours [online]. [cit. 2014-05-11].

Dostupné z: http://www.pashnit.com/product/hayabusa_ebc_rotors.html

[5] Motorcycle ABS. SILER, Wes. RideApart [online]. 2013. vyd. [cit. 2014-04-11].

Dostupné z: http://rideapart.com/2013/09/motorcycle-history-antilock-brake-system/p90098261_highres-2/

[6] NEPOMUCK, Bernard L. a Udo JANNECK. *Technická rukověť motocyklisty*. 5., rozš. vyd. Překlad Mgr. Jiří Vokálek, Ing. Tomáš Kohout. České Budějovice: Kopp, 2009, 514 s.

ISBN 978-80-7232-354-8.

[7] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 1: Jízdní vlastnosti, motocyklové motory, příprava směsi*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004, 355 s.

ISBN 80-239-1601-7.

[8] *Dokonalá jízda na motocyklu*. 2., upr. vyd. Překlad Mgr. Jiří Vokálek. České Budějovice: Kopp, 2008, 208 s. ISBN 978-80-7232-347-0.