

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Bakalářská práce

Hydraulické brzdové systémy a jejich kapaliny

Radek Jansa

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Jansa

Inženýrství údržby

Název práce

Hydraulické brzdové systémy a jejich kapaliny

Název anglicky

Hydraulic brake systems and their fluids

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat hydraulické brzdové systémy a zaměřit se především na funkci brzdové kapaliny a její vliv na spolehlivost, a tudíž na bezpečnost provozu. V práci bude sledována a vyhodnocena změna viskozity a hustoty brzdové kapaliny v závislosti na teplotě.

Metodika

První část bakalářské práce bude řešena formou literární rešerše a budou v ní popsány brzdové systémy a základní vlastnosti brzdových kapalin. Na zvolených brzdových kapalinách proběhne ověření a vyhodnocení jejich vlastností v závislosti na teplotě a stáří kapaliny.

Osnova:

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (popis hydraulických brzdových systémů a brzdových kapalin, popis zkoušek brzdových kapalin)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (vyhodnocení změn viskozity a hustoty brzdové kapaliny – vliv stáří, teploty a znečištění)
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

30 – 40

Klíčová slova

brzdy, brzdová kapalina, viskozita, hustota

Doporučené zdroje informací

BHUSHAN, Bharat; GUPTA, B. K. *Handbook of tribology : Materials, coatings, and surface treatments*. New York: Osborne-McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-005249-2.

GRESHAM, Robert M.; TOTTEN, George E.; SOCIETY OF TRIBOLOGISTS AND LUBRICATION ENGINEERS, ; EBRARY (FIRMA). *Lubrication and maintenance of industrial machinery [elektronický zdroj] : best practices and reliability*. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 1420089358.

HALDERMAN, James D.; MITCHELL, Chase D. *Automotive brake systems*. Upper Saddle River, New Jersey: b Pearson/Prentice Hall, 2004. ISBN 978-0131142077.

Předpisy, vyhlášky a firemní literatura

VLK, František. *Automobilová elektronika. 2, Systémy řízení podvozku a komfortní systémy : [systémy ABS/ASR/ESP, elektronické brzdové systémy, zádržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.

VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel : výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2022

prof. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 02. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hydraulické brzdové systémy a jejich kapaliny" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Martinovi Pexovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za jeho vhodné poznámky a připomínky při konzultacích a za čas, který mi věnoval při zpracování této bakalářské práce.

Dále děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. z katedry chemie za pomoc s měřeními. Rád bych také poděkoval rodině za podporu během studia.

Hydraulické brzdové systémy a jejich kapaliny

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá hydraulickými brzdovými systémy, s důrazem na jejich klíčovou složku – brzdovou kapalinu. Cílem práce je popsat detailně fungování hydraulických brzdových systémů a analyzovat vliv brzdové kapaliny na spolehlivost a bezpečnost provozu vozidel. V rešeršní části jsou představeny základní principy hydraulických brzdových systémů a jejich konstrukční řešení. Následně se práce soustředí na brzdovou kapalinu, popisuje její funkci v rámci brzdového systému a představuje požadované vlastnosti brzdových kapalin a jejich testování. V závěrečné části je na zvolených brzdových kapalinách provedeno měření a výsledky jsou vyhodnoceny a diskutovány.

Klíčová slova: brzdy; brzdová kapalina; viskozita

Summary

This bachelor thesis focuses on hydraulic brake systems, with an emphasis on their key component – brake fluid. The aim of the thesis is to comprehensively describe the functioning of hydraulic brake systems and analyze the impact of brake fluid on the reliability and safety of vehicle operation. The literature review introduces the fundamental principles of hydraulic brake systems and their design solutions. Subsequently, the thesis concentrates on brake fluid, describing its function within the brake system, and presents the desired properties of brake fluids along with their testing methods. In the final section, measurements are conducted on selected brake fluids and the results are evaluated and discussed.

Keywords: brakes; brake fluid; viscosity

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Brzdové systémy	3
2.1 Hydraulické brzdy	5
2.1.1 Konstrukce hydraulických brzd	6
2.1.1.1 Posilovač brzd	6
2.1.1.2 Hlavní brzdový válec.....	7
2.1.1.3 Rozdělovače a omezovače brzdného tlaku.....	9
2.1.1.4 Rozvodová soustava	11
2.1.1.5 ABS	11
2.1.1.6 Hydraulická jednotka systému ABS.....	12
2.1.1.7 Elektrohydraulické brzdy	13
2.1.1.8 Vlastní brzdy	14
2.1.2 Hydrodynamické brzdy.....	15
2.2 Brzdové kapaliny	16
2.2.1 Charakteristické, požadované a testované vlastnosti brzdových kapalin .	19
2.2.1.1 Suchý bod varu	20
2.2.1.2 Mokrý bod varu	20
2.2.1.3 Viskozita.....	21
2.2.1.4 Hodnota pH	22
2.2.1.5 Stabilita.....	22
2.2.1.6 Koroze	23
2.2.1.7 Tekutost a vzhled za nízkých teplot	23
2.2.1.8 Snášlivost s vodou	24
2.2.1.9 Mísitelnost	24
2.2.1.10 Odolnost proti oxidaci	24
2.2.1.11 Vliv na kaučukové materiály.....	25
2.2.1.12 Barva.....	25
2.2.1.13 Komplexní zátěžový test	26
2.2.1.14 Požadavky na balení kapalin	26
2.2.2 Testery brzdových kapalin.....	26

2.2.3	Budoucí brzdové kapaliny	28
3	Cíl práce	29
4	Metodika práce.....	30
4.1	Vzorky.....	30
4.2	Měření viskozity.....	31
5	Výsledky	34
6	Závěr.....	36
7	Seznam použitých zdrojů	37

Seznam obrázků

Obrázek 1	Tandemový hlavní brzdový válec s centrálním ventilem v okruhu plovoucího pístu.....	8
Obrázek 2	Řez tlakovým regulátorem závislým na zrychlení	10
Obrázek 3	Graf závislosti bodu varu kapaliny třídy DOT 3 na obsahu vody.....	18
Obrázek 4	Graf závislosti kinematické viskozity na obsahu vody brzdové kapaliny třídy DOT 4 při – 40 °C.....	22
Obrázek 5	Měřené vzorky brzdových kapalin	31
Obrázek 6	Viskozimetr dle Ubbelohdeho.....	32

Seznam tabulek

Tabulka 1	Vybrané základní fyzikální a chemické vlastnosti brzdové kapaliny ORLEN OIL DOT-4	19
Tabulka 2	Typické vlastnosti jednotlivých tříd brzdových kapalin	19
Tabulka 3	Informace o odebraných vzorcích	30
Tabulka 4	Naměřené hodnoty viskozity	34

Seznam použitých zkratek

ABS	Anti-lock Braking System
DOT	Department of Transportation
EBD	Electronic Brake-force Distribution
ECU	Electronic Control Unit
EHB	Electrohydraulic Brake System
EMB	Electronic Mechanical Brake
ESP	Electronic Stability Programme
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
HBV	Hlavní brzdový válec
ISO	International Organization for Standardization
LV	Low viscosity
SAE	Society of Automotive Engineers
SBC	Sensotronic Brake Control

1 Úvod

Od vynálezu kola je potřeba brzdít, což v dnešní silniční dopravě vedlo k téměř univerzálnímu využití třecích brzd u všech vozidlech. Postupným vývojem byl měněn způsob ovládání brzd, dnes jsou hydraulicky ovládané brzdové systémy provozních brzd považovány za velmi spolehlivé a zároveň vyžadují minimální údržbu. Tyto faktory jsou hlavními důvody, proč převládly právě tyto systémy. Využívají se zpravidla u lehčích vozidel, jako jsou osobní automobily, dodávky, motocykly a své využití najdou také u jízdních kol.

Hydraulické brzdové systémy představují klíčový prvek v zajištění bezpečnosti provozu vozidel. Jejich správná funkce je zásadní pro efektivní zpomalení a zastavení vozidla a tím chrání jak řidiče, tak i ostatní účastníky silničního provozu. Tento systém funguje na principu přenosu síly z brzdového pedálu pomocí hydraulické kapaliny, obvykle brzdové kapaliny na bázi polyglykoletherů označené jednou z tříd DOT, na brzdové mechanismy jednotlivých kol. U nákladních vozidel převládly pneumatické a vzduchokapalinové brzdové systémy, avšak své využití zde najde brzda pracující s kapalinou na jiném principu než klasické hydraulické brzdy, a to ve formách odlehčovacích hydrodynamických brzd. V roce 2022 došlo v České republice k 293 dopravním nehodám zapříčiněným technickou závadou na vozidle, z toho bylo 16 zapříčiněno závadou provozních brzd. [1] Toto jsou čistě prokazatelné nehody způsobené pouze brzdovými systémy, ale jejich nevyhovující stav mohl způsobit více dopravních nehod, které byly definovány jinak. Nehoda vzniklá nedobrzděním mohla být definována jako zaviněná řidičem, ale pokud by byl brzdový systém v lepším stavu, nemuselo k nehodě dojít. Nehody vzniklé technickou závadou na vozidle představují pouze 0,3 % z celkového počtu dopravních nehod, bylo při nich však usmrceno 2,3 % z celkového počtu usmrcených osob při dopravních nehodách v roce 2022. [1]

Druhá část této práce je věnována brzdovým kapalinám. Ty bývají často přehlíženou součástí brzdových systémů. Tato kapalina propojuje všechny konstrukční prvky brzdového systému a umožňuje přenos tlaku z brzdového pedálu na brzdové čelisti či třmeny, což je klíčové pro správnou funkci brzd a bezpečné zastavení vozidla. Její schopnost odolat extrémním teplotám a tlakům je zásadní pro spolehlivost brzdového systému, jelikož zabraňuje tvorbě par a zachovává si konzistenci přenosu brzdového tlaku i za různých podmínek. Brzdové kapaliny jsou důležitou provozní kapalinou vozidla. Jejich požadované vlastnosti jsou definovány normami a samotní výrobci vozidel pak určují přesný typ použitý v daném vozidle. Nejdůležitějším parametrem brzdových kapalin je bod varu. Ten se v čase snižuje, a pokud

dojde při brždění k varu brzdové kapaliny, snižuje se účinnost hydraulických brzd. Brzdová kapalina, zejména její aktuální stav, je tedy důležitá pro bezpečný provoz vozidla.

V závěrečné praktické části je pak na vybraných vzorcích provedeno a vyhodnoceno měření viskozity brzdové kapaliny třídy DOT 4 v závislosti na teplotě a stáří kapaliny.

2 Brzdové systémy

Brzda je zpravidla technické zařízení, které má za úkol přeměnu energie. Nejčastěji je přeměňována kinetická energie na jinou formu energie. Nejběžnější princip brzdy využívá třecích sil. Třecí síly vznikají při dotyku dvou těles. Brzdy se nacházejí na nejrůznějších technických zařízeních. Klíčovou roli hrají brzdy v dopravě.

Brzdovou soustavu tvoří všechny brzdové systémy namontované na vozidle. Tyto systémy jsou naprosto nezbytné pro provozuschopnost a bezpečný provoz vozidel. *Brzdovým systémem se rozumí soubor částí, jejichž funkcí je postupné zmenšování rychlosti jedoucího vozidla nebo jeho zastavení nebo jeho udržení v nehybném stavu, jestliže je již zastaveno.*

K těmto úkolům slouží jednotlivé brzdové systémy nebo jejich kombinace. Dle platného nařízení jsou rozlišovány následující systémy.

Systém provozního brzdění

Systém provozního brzdění musí umožňovat ovládání pohybu vozidla a jeho zastavení bezpečným, rychlým a účinným způsobem, bez ohledu na rychlost, zatížení nebo velikost sklonu stoupání nebo klesání. Jeho účinek musí být odstupňovatelný. Řidič musí být schopen brzdit ze svého sedadla, aniž sejme ruce z ovladače řízení. [2]

Systém nouzového brzdění

Systém nouzového brzdění musí umožňovat zastavení vozidla v přiměřené vzdálenosti v případě selhání systému provozního brzdění. Jeho účinek musí být odstupňovatelný. Řidič musí být schopen brzdit ze svého sedadla a řídit nadále vozidlo alespoň s jednou rukou na ovladači řízení. Pro účely tohoto ustanovení se má za to, že v systému provozního brzdění se současně nemůže vyskytovat více než jedna porucha. [2]

Systém parkovacího brzdění

Systém parkovacího brzdění musí umožňovat, aby se vozidlo udrželo v nehybném stavu na stoupajícím nebo klesajícím sklonu i v nepřítomnosti řidiče, přičemž brzdící součásti musí být udržovány v poloze pro zabrzdění čistě mechanickým zařízením. Řidič musí mít možnost provést toto brzdění ze svého sedadla. [2]

Každý systém se skládá ze tří základních prvků ovladače, převodu a vlastní brzdy. Ovladač je část brzdového systému, kterou řidič přímo ovládá. Svalová energie řidiče nebo jiný zdroj energie slouží k dodávání energie do převodu brzdy.

Převodem se rozumí všechny konstrukční prvky mezi ovladačem a brzdou. Úkolem těchto prvků je propojení brzd s ovladačem. Převody jsou rozděleny podle způsobu přenosu energie na mechanický, hydraulický, pneumatický, elektrický a smíšený. Pod převod spadá i případná část konstrukce brzdového systému, která zajišťuje a posiluje brždění zdrojem nezávislým na řidiči. Pod převodem se skrývají dvě navzájem nezávislé funkce, jedná se o převod ovládání a o převod energie. Konstrukční prvky, které řídí činnost brzd, jsou převodem ovládání. Pod převodem energie se pak skrývají konstrukční části dodávající do brzd energii potřebnou k jejich činnosti a zásoby této energie. Brzda je konstrukční část, kde dochází k vlastnímu brždění. Dochází zde ke vzniku sil, které kladou odpor proti pohybu vozidla. Nejčastějším typem je třecí brzda (síla vzniká třením mezi dvěma vzájemně pohybujícími se částmi vozidla, které jsou k sobě přitlačovány). Dalšími typy brzd jsou brzdy elektrické, hydrodynamické, motorové [2]

Brzdové soustavy lze rozdělit z hlediska ústrojí pro dodávku energie:

- přímočinné brzdové soustavy – brzdná síla je vytvořena pouze vlastní svalovou silou řidiče
- brzdové soustavy s posilovačem – svalová síla řidiče je posílena jedním nebo více posilovači.
- strojní brzdové soustavy – svalová síla řidiče je vyloučena. Energie je dodávána jedním nebo více zařízeními pro dodávku energie. Příkladem zařízení pro dodávku energie u pneumatického systému využívaného nákladními vozidly je kompresor.

Většinou se jedná o energeticky velmi ztrátový proces. V současné době je snaha o transformaci energie, která je nejčastěji ve formě tepla při použití třecích brzd, s cílem využít tuto přeměněnou energii.

Regenerativní brzdné systémy jsou s nástupem elektromobility stále větší téma. Legislativní požadavky na tyto systémy byly poprvé představeny v roce 2002. Jsou založeny na elektronických systémech, které přeměňují kinetickou energii vozidla na jinou formu energie. Ta je následně uložena a využita později. Typické je využití generátoru nebo pumpy a následné uložení energie v bateriích, kapacitorech a v pneumatický nebo hydraulických zásobnících. Tyto elektrické regenerativní systémy jsou schopny poskytnout pouze omezenou brzdící sílu a jejich využití je tedy vždy ve spojení s ostatními systémy brždění. [3]

Brzdící síla musí být přenesena z místa svého vzniku (brzdový pedál) k místu, kde tato síla vykoná nějakou činnost (brzdový třmen).

Tato práce se věnuje hydraulickým brzdám. Kapitola 2.1 se věnuje kapalinovým provozním brzdám, konstrukci hydraulického převodu, který má integrované určité elektronické prvky. Následující kapitola se pak věnuje hydrodynamické odlehčovací brzdě. Potřeba brzdit je od vynálezu kola. S vývojem a zmenšováním elektronických součástí docházelo k postupnému začleňování elektroniky do brzdových systémů. Dnešní brzdové systémy se, nejen díky zvyšujícím se požadavkům na bezpečnost, staly komplexními elektronickými systémy (např. povinná integrace ABS). Stále je u hydraulických brzdových systémů zachován jednoduchý hydraulický okruh kde se o přenos sil stará kapalina. Tyto systémy zachovávají všechny prvky hydraulického okruhu tak, aby v případě poruchy (například výpadek proudu – porucha veškeré elektroniky) bylo možné vozidlo ubrzdit v rámci zákonných požadavků. [4]

2.1 Hydraulické brzdy

Obecně jsou jako hydraulické brzdy označovány systémy, kde kapalina slouží k přenosu síly. Použití tohoto způsobu přenesení síly pro brzdy bylo představeno v roce 1919. Toto řešení postupem času nahradilo mechanické ovládání brzd, kdy se o přenos síly starají ocelové lanovody. Využití tohoto řešení je dnes standartní v osobní automobilové dopravě, zatímco ve vlakové a nákladní automobilové dopravě převládá pneumatický systém. [4] V principu se jedná o hydraulické zařízení. Funkce je založena na Pascalově zákonu. Při sešlápnutí brzdového pedálu, což je pokyn k brždění, dochází k přenesení síly, kterou řidič vyvolá na pedál, na píst hydraulického válce. Píst vytváří tlak v systému, kde je na jeho konci další hydraulický píst, který se tlakem pohybuje a přitlačuje v případě třecích brzd brzdové obložení proti rotoru. Tento systém je využit u provozních brzd, kde jsou při běžném provozu bržděna všechna čtyři kola vozidla současně.

Z důvodu větší bezpečnosti a legislativních požadavků je systém u automobilů konstruován jako víceokruhová soustava. Pokud dojde k poruše jednoho okruhu je neporušeným okruhem zaručeno brždění určitého počtu kol a to tak, aby každý okruh splňoval legislativní požadavky na nouzové brždění. V dnešní době se u automobilů využívá dvouokruhové řešení. Existuje několik způsobů zapojení brzd. Nejpoužívanější jsou tyto tři způsoby zapojení.

- Diagonální zapojení – v každém okruhu je zapojeno jedno přední kolo a protilehlé zadní kolo.
- Standartní zapojení přední/zadní náprava – každá náprava má vlastní okruh, nevýhodou je, že se při poruše jednoho z okruhů se výrazně mění říditelnost.

- Zdvojení předních brzd – každý okruh brzdí přední nápravu a jeden pak i nápravu zadní. Nevýhodou je nutnost použití speciálních předních třmenů což celý systém prodraží. [5] [6]

Vyskytují se i další možnosti zapojení.

2.1.1 Konstrukce hydraulických brzd

2.1.1.1 Posilovač brzd

Principem posilovače je snížit úsilí, které musí při brždění vyvíjet řidič. Posilovač je zařazen mezi sestavu brzdového pedálu a hlavní brzdový válec. Většina posilovačů používaných v osobních automobilech je podtlakových.

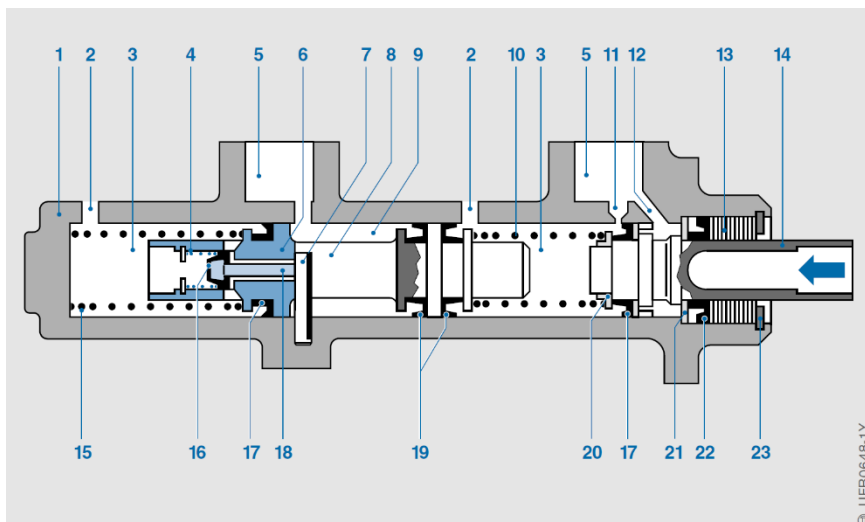
Podtlakový posilovač využívá sníženého tlaku v sacím potrubí. Je rozdělen na dvě hlavní části (komory). Membrána odděluje nízkotlakou komoru a komoru pracovní. Obě komory jsou propojeny pístem. Pokud nejsou brzdy využívány, jsou obě komory propojeny pomocí propojovacího kanálku v těle pístu. Při stlačení brzdového pedálu dochází pohybem pístu k přerušení propojení komor a zároveň dochází k propojení pracovní komory s atmosférou. Rozdíl tlaků vyvolává posilovací sílu na membránu. Ta je, společně se silou působící od pedálu, tlačítkem přenesena na píst hlavního brzdového válce. Při přerušení brždění dochází k uzavření propojení s atmosférou a k opětovnému propojení obou prostorů. O návrat membrány se stará pružina. Důležitým prvkem je bezpečnostní zpětný ventil na přívodu podtlakového vzduchu. Při nečekaném vypnutí motoru, ztrátě zdroje podtlaku, dochází k uzavření ventilu. Posilovač je pak schopen ještě určitou dobu pracovat (3-4 cykly brždění). Bez přísunu podtlakového vzduchu posilovač nefunguje a je nutné vynaložit výrazně vyšší sílu na brzdový pedál. Byl popsán dvojkomorový posilovač. Existují i konstrukce posilovačů čtyřkomorové (tandemové). Princip je stejný – systém má 4 komory a 2 membrány, jedná se tak vlastně o dva posilovače za sebou.

Hydraulické přetlakové posilovače se nacházejí u vozidel, které nedisponují dostatečným zdrojem podtlakového vzduchu nebo mají již zabudován hydraulický agregát (posilovač řízení), kde zdrojem posilovací síly je tlakový olej. [4; 5; 6]

2.1.1.2 Hlavní brzdový válec

Úkolem hlavního brzdového válce je převedení mechanické energie na energii hydraulickou. Je používán tandemový hlavní brzdový válec, kde jsou dva pracovní prostory zařazeny sériově za sebou. Existuje několik možností konstrukce tandemového válce. Typ tandemového válce se odvíjí od způsobu zapojení víceokruhových brzd. Například při zapojení okruhů způsobem přední/zadní můžou mít písty pro jednotlivé okruhy jiné průměry a vyvolají tak různé brzdné síly pro každou z náprav.

Následně bude popsáno provedení s plovoucím pístem, které je určeno pro diagonální zapojení brzd. Pracovní prostor pístu I. okruhu je propojen s nádržkou brzdové kapaliny dvěma otvory. Při brždění je vyvolaná síla přenášena pomocí tlačné síly na válec. Ten po překrytí druhého otvoru začne vytvářet tlak v potrubí I. okruhu, zároveň tlak působí na plovoucí válec, který vytvoří tlak ve druhém okruhu. Druhý pracovní otvor je propojen s vyrovnávací nádržkou skrze centrální ventil. Ten je v odbrzděném stavu otevřený. Při brždění se centrální ventil uzavře a začne tak vznikat tlak i ve II. okruhu. Po ukončení brždění se o návraty pístů do původní polohy starají vratné pružiny. V I. okruhu až do pozice, kdy dojde k překrytí přípojky vyrovnávací nádržky a vyrovnání tlaku. Návrat pístu druhého okruhu je do pozice, kdy je centrální ventil otevřen a dochází k vyrovnání tlaku v mezikomoře a v tlakovém prostoru II. okruhu. K tomuto účelu slouží dorazový kolík, o který se při návratu centrální ventil otevře. [5; 7] Rozdíl tlaku v jednotlivých okruzích nesmí překročit 0,5 MPa a při odpojení jednoho z okruhů musí být ve zbývajícím okruhu vytvořen stejný přetlak. [8]



1 – těleso	9 - mezikomora	17 – primární těsnění
2 - výstup okruhu	10 – vratná pružina	18 – kolík ventilu
3 – tlakový prostor	11 – kanálek	19 – manžeta
4 - pružina ventilu	12 – vyrovnávací otvor	20 – podpěrný kroužek
5 – výstup vyrovnávací nádrže	13 – plastové pouzdro	21 - doraz
6 – plovoucí píst	14 – tlačná tyč	22 – sekundární těsnění
7 – dorazový kolík	15 – vratná pružina	23 – pojistný kroužek

Obrázek 1 Tandemový hlavní brzdový válec s centrálním ventilem v okruhu plovoucího pístu [4]

Porucha I. okruhu

Při poruše I. okruhu se během brzdění válec tohoto okruhu zasouvá, aniž by v potrubí vznikl tlak. Tento pohyb pokračuje až do pozice, kdy se primární píst dotkne dorazu na plovoucím pístu a spustí jeho pohyb. Tímto nuceným pohybem plovoucího pístu v druhém okruhu vzniká tlak.

Porucha II. okruhu

Při poruše druhého okruhu dochází k pohybu plovoucího pístu až do koncové pozice. Tím se plovoucí píst nepohybuje a narůstá tak tlak v brzdovém potrubí I. okruhu.

Porucha okruhu nastává, když brzdová kapalina z okruhu vytéká nebo je okruh bez kapaliny. Porucha na jednom z okruhů se projeví prodloužením zdvihu brzdového pedálu. [5]

Na hlavním brzdovém válci je nejčastěji dvěma vývody připojena nádržka na brzdovou kapalinu. Ta musí mít snadno přístupné plnicí otvory. Na nádržce musí být předepsaným způsobem vyznačen druh kapaliny, která je určena pro brzdový systém. Musí být možnost kontrolovat stav hladiny, aniž by bylo nutné otevřít plnicí otvor. Nejčastěji je nádržka vyrobena z průhledných plastů, a jsou na ni vyznačeny rysky určující minimální a maximální hladiny. Další možností kontroly hladiny je umístění zařízení pro měření hladiny kapaliny přímo do nádržky. Toto zařízení signalizuje řidiči pokles hladiny v nádržce pod určitou hladinu. Toto zařízení slouží k signalizaci poruchy brzdového okruhu. [2]

2.1.1.3 Rozdělovače a omezovače brzdového tlaku

Při brždění vozidla vznikají dynamické síly. Důsledkem těchto sil dochází ke změně zatížení náprav, kdy může být i více jak 70 % brzděno předními koly vozidla. Aby bylo dosaženo maximálního využití brzd, je nutné rozdělit brzdový tlak mezi nápravy ve správném poměru. K tomuto účelu se využívají regulátory a rozdělovače brzdových tlaků. Do částí okruhů určených pro zadní kola jsou doplněny omezovače tlaku. Pokud by nebylo použito těchto regulačních prvků docházelo by k přebrzdění zadních kol.

Rozlišováno je pět základních typů regulačních prvků:

Hydraulický omezovač tlaku

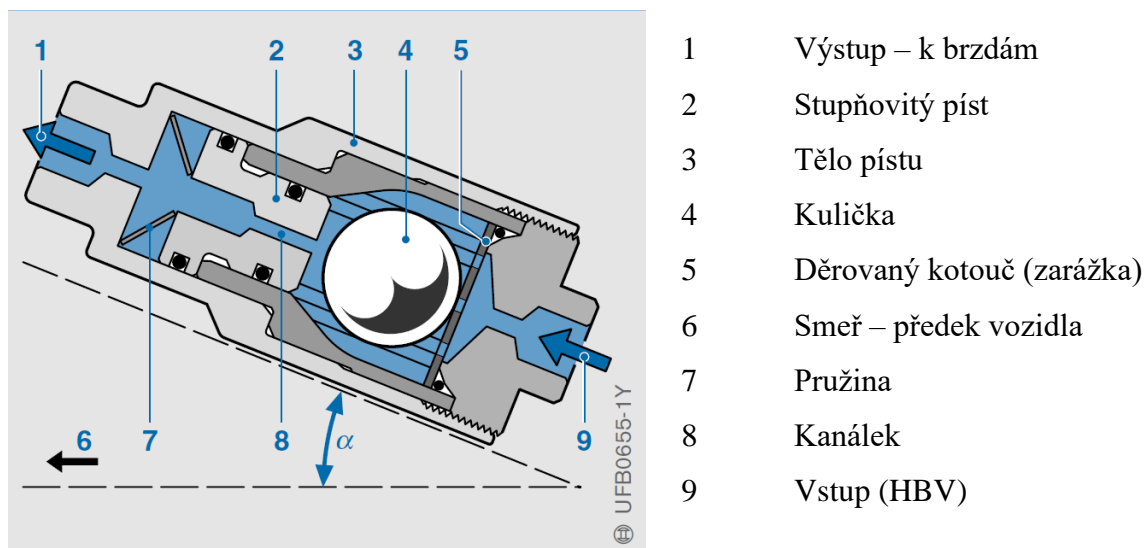
Jedná se o ventil, který propouští tlak z hlavního brzdového válce do určité přepínací hodnoty. Při překročení této hodnoty se ventil uzavírá a tlak v části okruhu za ventilem již nenaroste. Bývá zabudován v okruhu pro zadní kola.

Tlakový regulátor tlaku

Používá se místo omezovače tlaku. Po přesažení určitého přepouštějícího tlaku dochází k regulaci narůstání tlaku pro kola zadní nápravy. Tlak narůstá v určitém poměru.

Tlakový regulátor závislý na zpomalení

Principem funkce tohoto regulátoru je pohyblivá kulička uvnitř pístu, která svým pohybem nejprve uzavírá okruh a následně reguluje tlak pro zadní brzdy, nápravu. Píst musí být namontován pod určitým úhlem k vodorovné poloze vozidla. V klidovém stavu je kulička na širokém konci stupňovitěho pístu. Při zvyšování tlaku působí tlak na kuličku a ta se pohybuje po nakloněné rovině pístu a uzavírá stupňovitý ventil. V tomto bodě je kulička opřena o pružinu a není tedy možný žádný další průtok kapaliny. Pokud se bude tlak od hlavního brzdového válce i nadále zvyšovat začne se tlakem přes kuličku stlačovat pružina. Tím pádem tlak v části okruhu pro zadní kola začne regulovaně růst. Na pohyb kuličky má vliv i vlastní setrvačnost kuličky. Tento systém tedy závisí na dvou veličinách – na tlaku kapaliny a na zrychlení (zpomalení) vozidla. [4]



Obrázek 2 Řez tlakovým regulátorem závislým na zrychlení [4]

Mechanický regulátor tlaku

Tento typ regulátoru je pákovým mechanismem propojen s karosérií vozidla. Při brždění dochází k propérování kol zadní nápravy a mění se tak vzdálenost karoserie a náprav. Na základě těchto rozdílů je přes pákový mechanismus ovládán pístek v regulátoru pro zadní kola. Toho řešení se využívá u vozidel, kde dochází k výrazným změnám zatížení náprav.

Elektronický rozdělovač brzdné síly EBD

Vozidla vybavena systémem ABS mohou využít k rozdělení brzdné síly schopnosti modulátoru ABS. Řídící jednotka vypočítává skluz mezi předními a zadními koly. Pokud by mělo dojít k přebrždění zadního kola, systém přepíná okruh pro toto kolo do režimu udržení tlaku, tlak na toto kolo se tak nezvyšuje. Pokud nadále dochází ke zvyšování tlaku v celém

systemu, dochází opět ke snížení poměru skluzu předních a zadních kol. Vstupní ventil v modulátoru se otevírá a tlak v zadních kolech může narůst až to takové míry, kdy opět dojde k zásahu systému. Viz kapitoly 2.1.1.5 a 2.1.1.6. Tento cyklus se tedy neustále opakuje. Systém EBD ovládá tlak pouze zadní kola. Jedná se o hlavně softwarové rozšíření systému ABS a upraveny musejí být i elektromagnetické ventily. Funkce rozdělení tlaku pomocí systému ABS je dále popsána v kapitolách 2.1.1.5 až 2.1.1.7.

Při použití EBD odpadá použití mechanických prvků regulace tlaku brzdové kapaliny, což vede ke snížení nákladů na konstrukci. Výhodou tohoto systému je přesnější regulace tlaku v okruzích jednotlivých kol (náprav) a schopnost reagovat na změny zatížení vozidla. Rozdělení brzdové síly je vždy optimalizováno pro dané podmínky provozu a nedochází k přetěžování předních brzd. Přední brzdy nejsou nadměrně teplotně zatěžovány a nedochází k rychlejšímu opotřebení předního brzdového obložení. [4] Brzdná dráha je díky optimalizaci kratší než při využití mechanických regulátorů. Pro systém EBD se využívá také zkratky z němčiny EBV (Elektronische Bremskraftverteilung) [5; 9]

2.1.1.4 Rozvodová soustava

Rozvodová soustava zabezpečuje rozvod kapaliny celým hydraulickým brzdovým systémem. Všechny její prvky musejí být chemicky odolné předepsané kapalině a musí vydržet tlak kapalinou přenášený. Do rozvodové soustavy lze zařadit tři základní prvky – brzdová potrubí, brzdové hadice a spojovací prvky.

Trubky jsou kovové a mohou být opatřeny povrchovou ochranou proti korozi. Nesmí docházet ke kontaktu trubky s dalším dílem vozidla mimo uchycovací prvky.

Hadice se využívají jako spojovací prvky mezi trubkami a pohyblivými částmi vozidla, typicky odpružená kola. Vnitřní gumová vrstva je obalena dalšími textilními a gumovými vrstvami tak, aby byla zajištěna požadovaná pevnost a odolnost.

V místech, kde dochází ke zvýšenému riziku vystavení mechanickému poškození, například odletujícími kameny, se používají pancéřové prvky. [4; 6]

2.1.1.5 ABS

Anti-lock Braking System (ABS) představuje systém, jehož primárním cílem je eliminovat uzamčení kol při brzdění, což výrazně přispívá k udržení říditelnosti vozidla v průběhu kritických brzdných manévru. Základním principem fungování ABS je monitorování rychlosti každého kola a případně následná automatizovaná regulace brzdového tlaku tak, aby

se minimalizovalo riziko uzamčení kol anebo se zablokovaná kola odblokovala. K zablokování kol může dojít tím, že řidič působí na brzdový pedál moc velkou silou. To je typické pro kritické situace nebo když dojde ke změně součinitele tření mezi pneumatikou a vozovkou (například kolo vjede na led). Pokud dojde k zablokování kol (dochází ke smyku kola) dochází ke ztrátě směrové stability vozidla a vozidlo se stává těžko ovladatelným. Protože tento systém zvyšuje aktivní bezpečnost vozidla, musí mít každé nově registrované vozidlo v Evropské unii instalován protiblokovací systém ABS. [3] Použití ABS je dnes v silniční dopravě naprostý standart. Firma BOSCH, která byla prvním výrobcem systémů ABS a dodnes si drží výsadní postavení, představila systém ABS pro jízdní elektrokola, kde je zabudován do úplně jednoduchého hydraulického okruhu. [10]

Celý systém ABS lze popsat jako regulační obvod kde:

- Regulovaná veličina je tlak v části brzdového okruhu.
- Řídící veličina je tlak, který vznikne působením na brzdový pedál.
- Regulační veličinou jsou pak otáčky jednotlivých kol.
- Akční veličina je pak změna velikosti brzdícího tlaku.
- Poruchové veličiny charakterizují změny adheze mezi kolem a vozovkou (změna povrchu), rozdílné zatížení kol, různé stavy pneumatik (nízké nahuštění, opotřebení, použití kola pro nouzové dojetí), změna stavu brzd (vadnutí) a rozdílný tlak v brzdových okruzích.

Základními konstrukčními prvky ABS jsou snímače rychlosti otáček jednotlivých kol. Elektronická řídicí jednotka (ECU) je pak vlastním regulátorem tohoto systému. Jedná se o mikro počítač, který vyhodnocuje signály z jednotlivých snímačů otáček kol a porovnává je vypočtenou referenční rychlostí vozidla. Takto se určí skluz každého kola a pokud systém vyhodnotí, že došlo (nebo při současných podmínkách dojde) k překročení adheze, ECU vyšle signál do modulátoru, který je fyzickou součástí brzdového okruhu – regulované soustavy.

Následující kapitola popisuje hydraulickou jednotku systému ABS, jelikož ta je přímou součástí hydraulického brzdového okruhu. [5; 11] Hydraulická jednotka je také nazývána hydraulickým modulátorem. [4]

2.1.1.6 Hydraulická jednotka systému ABS

Hydraulická jednotka systému je zařazena v brzdovém okruhu mezi vlastní brzdy a hlavní brzdový válec. Úkolem této jednotky je ovládání tlaku v jednotlivých brzdových okruzích. Pro dnes nejrozšířenější diagonální zapojení brzd je využit čtyřkanálový systém se

čtyřmi čidly. Každé kolo má vlastní snímač otáček a vlastní kanál, dovoluje tedy řízení každého kola skrze vlastní kanál. [12] Pro každý okruh je v modulátoru dvojice elektromagnetických ventilů, zásobník kapaliny, zpětné čerpadlo. Nastavením elektromagnetických ventilů a čerpadla lze dosáhnout tří možných stavů – zvyšování tlaku, udržování tlaku a snižování tlaku. Při normálních provozních podmínkách je otevřen vstupní ventil, přímo je propojen hlavní brzdový válec a třmen brzdy, ke zvyšování tlaku v okruhu dochází pouze působením řidiče. Pokud je vyhodnoceno řídicí jednotkou, že se při brzdění určité kolo přibližuje k bodu ztráty adheze, je jednotkou vydán pokyn ke změně nastavení odpovídajícího okruhu do režimu udržení tlaku. Vstupní elektromagnetický ventil se uzavře, což způsobí přerušení propojení mezi hlavním brzdovým válcem a brzdícím daného kola. Zvýšení tlaku se tedy neprojeví. Pokud ani toto opatření není dostatečné, dochází k přepnutí do režimu snižování tlaku, otevírá se výstupní ventil, vstupní ventil je stále uzavřen a čerpadlo řízeně přečerpává kapalinu z brzdového okruhu za modulátorem do tlumicí komory (zpětný kanálek). Dochází k poklesu tlaku v okruhu až do doby určitého zrychlení kola. Tím se systém přepne zpět do stavu udržení tlaku. Pokud je potřeba, celý tento cyklus se opakuje. [4]

2.1.1.7 Elektrohydraulické brzdy

Elektrohydraulická brzdová soustava (EHB, používána také zkratka SBC – Sensotronic Brake Control [12]) se řadí do skupiny elektronických brzdových soustav, kdy se o vznik tlaku v jednotlivých brzdových okruzích nestará hlavní brzdový válec. Snímače přesného pohybu brzdového pedálu společně se snímači tlaku, který vyvolá řidič působením na pedál, přenášejí tato data do řídicí jednotky. V řídicí jednotce dochází k vyhodnocení požadovaného tlaku pro každé kolo. O výsledném tlaku nerozhoduje pouze řidič, ECU pracuje i s informacemi z dalších systémů, kterými je vozidlo vybaveno (ABS, ESP, EBD, systémy kontroly trakce). [11] V brzdovém okruhu jsou před hydraulickou jednotku zařazeny ventily, kterými je brzdový okruh rozdělen. Na brzdy tak přímo nepůsobí síla vyvinutá řidičem. Požadovaný tlak je vypočítán řídicí jednotkou. Ta vysílá signál do modulátoru, který je doplněn o vysokotlaký zásobník brzdové kapaliny, společně s čerpadlem a snímači tlaku v akumulátoru a v jednotlivých okruzích brzd pro každé kolo. Díky využití velmi vysokého tlaku (90–130 bar [12]) je dosaženo velmi rychlému nárůstu tlaku v brzdovém okruhu, což vede ke zkrácení brzdě dráhy. [4; 12]

Oproti elektromechanickému systému brzd (EMB), kde je hydraulický okruh nahrazen kabely a zdrojem síly, jsou servomotory umístěné na vlastních třmenech brzd. Výhodou EHB je zachování možnosti ovládat systém v případě poruchy, například při výpadku proudu. Pro takovéto případy jsou izolační elektromagnetické ventily nastaveny tak, aby se při přerušení dodávky energie přepnuly do otevřeného stavu, pak je celý systém ovládán pouze přímým působením řidiče na brzdový pedál. Veškeré elektronické brzdové systémy jsou vybaveny vlastním diagnostickým systémem, který v případě problému systému ponechává funkce systému v omezeném režimu a zároveň signalizuje řidiči závadu na tomto systému. [12]

2.1.1.8 Vlastní brzdy

Na konci brzdové soustavy se nachází vlastní sestava brzdy. Dnes se využívají třecí brzdy, kde je brzdové obložení přitlačováno proti rotující součásti a tím vzniká brzdový moment a teplo. Bubnové a kotoučové brzdy jsou používané typy brzd. Nacházejí se zpravidla v náboji kola, které brzdí. U obou typů je součástí konstrukce brzdy hydraulický píst, který zakončuje hydraulický brzdový okruh. Při zvýšení tlaku se píst, který je mechanicky spojen s brzdovým obložением, pohybuje a tlačí obložení proti rotujícímu povrchu a dochází tak k brždění.

Bubnové brzdy

Hlavní součástí bubnové brzdy je buben, což je rotující část brzdy. Uvnitř bubnu se pak nacházejí brzdové čelisti s brzdovým obložением. Čelisti jsou při brždění přitlačovány na vnitřní povrch bubnu, který se tak stává třecí plochou. Na čepech v bubnu jsou proti sobě upevněny dvě čelisti, ovládané hydraulickým pístem. Návrat do výchozí pozice je zajištěn vratnými pružinami. Jedná se o uzavřený systém s horším odvodem tepla, ale nedochází ke vnikání nečistot. Při dlouhodobém intenzivním brždění dochází k vadnutí brzd a může dojít až k deformaci bubnu. Výhodou je možnost přidání druhého mechanického ovládacího zařízení, které je použito pro parkovací brzdu.

Kotoučové brzdy

Pořizovací náklady jsou vyšší oproti bubnovým brzdám, mají však vyšší odolnost vůči přehřívání. Kotouč je šrouby připevněn k náboji kola, na nerotující část je připevněn brzdový třmen, ve kterém jsou umístěny brzdové destičky s obložением. Ve třmenu se nachází (podle konstrukce) jeden nebo více ovládaných hydraulických válců, do kterých jsou

vytvořeny zářezy. Do nich jsou zasunuty brzdové destičky, které mohou být v jiném případě přitlačovány na válce rozpěrnými pružinami.

Výhody kotoučových brzd oproti bubnovým jsou v menším vadnutí brzd, lineární charakteristika (stabilita), jednoduchá a rychlá výměna brzdového obložení, automatické seřizování vůlí, možnost chlazení proudícím vzduchem. Naopak mezi nevýhody se řadí potřeba větší ovládací síly (použití posilovače) a díky menší třecí ploše i vznik vyšších teplot.

2.1.2 Hydrodynamické brzdy

Hydrodynamická brzda se řadí do skupiny odlehčovacích brzd, a často je nazývána i jako retardér. Odlehčovací brzdy se používají u těžkých vozidel, nákladních automobilů a autobusů. Jejich úkolem je dlouhodobé snižování a udržování rychlosti vozidla nejen při jízdě z kopce. Nedochází tak k nadměrnému používání a opotřebením provozních brzd, kdy se eliminuje riziko jejich přehřátí a zvyšuje se životnost abrazivně opotřebených částí. Existují různé druhy odlehčovacích brzd, motor, motorová brzda (výfuková brzda), elektrodynamická brzda (vířivá brzda) a hydrodynamická brzda.

Hydrodynamická brzda se konstrukčně skládá ze skříně, a dvou lopatkových kol – rotoru a statoru, tepelného výměníku a zásobníku kapaliny. Stator je pevně spojen se skříní retardéru. Rotor je přes vstupní hřídel retardéru spojen s kloubovým hřídelem vozidla, kde může být zařazen zvyšovací převod. V režimu brždění je kapalina rotorem urychlována proti lopatkovému kolu statoru. Kinematickou energii získává kapalina od pohybujících se lopatek rotoru. Následně je energie díky vzniklým třecím silám v kapalině a na lopatkách kol přeměněna na teplo, dochází ke zpomalení proudu kapaliny, vzniku momentu na rotoru, tedy zpomalení hřídele. Generované teplo je pak důležité odvádět, k tomu je využit chladicí okruh vozidla, který však musí být dostatečně dimenzován.

Retardér je možné aktivovat řidičem prostřednictvím ovladače na volantu. Moderní retardéry jsou integrovány do brzdových systémů a jsou ovládány elektronicky, například při použití tempomatu pro jízdu z kopce (udržení konstantní, volené rychlosti). Díky elektronice a řídicí jednotce může být retardér aktivován i při sešlápnutí brzdového pedálu v průběhu cíleného zpomalování. Při aktivaci se prostor retardéru zaplní kapalinou. K tomuto slouží čerpadlo nebo zásoba stlačeného vzduchu. Po deaktivaci je kapalina opět vypuštěna. [5; 13]

Výhody hydrodynamických retardérů

- nízká hmotnost celého zařízení
- ochrana provozních brzd, delší životnost brzdového obložení
- vysoká spolehlivost
- vyšší bezpečnost v případě nouzového brždění
- tichý a plynulý chod

Nevýhody hydrodynamických retardérů

- složitá konstrukce
- vyšší pořizovací cena [13]

K dispozici jsou dvě možnosti montáže retardérů. Inline retardéry jsou namotávány přímo do převodové skříně a jsou připojeny k převodovce. Offline retardéry jsou přes ozubené soukolí propojeny s kloubovým hřídelem. Vzniká zde zvyšovací převod a jsou tedy účinné i při nízkých rychlostech. Offline retardéry disponují vyšším brzdným momentem. [13]

Kapaliny používané jako náplně retardérů jsou nejčastěji syntetické oleje. Interval výměny se pohybuje v rozmezí nájezdu 65000 km až 240000 km a liší podle typu zvoleného oleje, hmotnosti vozidla a provozních podmínek. [14] Existují speciální typy retardéru, které jsou přímo propojeny s chladicím okruhem vozidla a jako provozní kapalinu využívají chladicí kapalinu (vodu). Jejich výhodou je ještě menší hmotnost – jsou menší a jsou bezúdržbové. Nedosahují však takových brzdných momentů jako retardér s olejovou náplní. [15]

2.2 Brzdové kapaliny

Brzdová kapalina plní funkci hydraulické kapaliny v hydraulickém systému brzd. Jejím hlavním úkolem je přenos tlaku vznikajícímu v hlavním brzdovém válci skrze celý systém až ke třmenům brzd. Brzdová kapalina je, jako jedna z provozních kapalin, důležitým konstrukčním prvkem celého vozidla hlavně s ohledem na bezpečnost. Kapalina proto musí splňovat poměrně náročné požadavky.

Základním požadavkem hydraulických kapalin je nízká stlačitelnost. Aby mohlo docházet k efektivnímu přenosu sil musí být kapalina nestlačitelná v celé době své životnosti.

Absorpce vody je dalším požadavkem na brzdové kapaliny. Kapalina by měla být schopna vázat určité množství vody. Nelze však stoprocentně zamezit kontaminaci kapaliny vodou z okolního prostoru. Ke vnikání vody dochází nejčastěji přes odvodušňovací ventil systému, víčko nádržky na kapalinu a skrze gumové hadice u kol vozidel. Problémem je bod varu vody při 100 °C, pokud se v systému vyskytuje. Pokud kapalina dokáže vodu vázat, snižuje se sice její bod varu, ale nevyskytuje se zde složka, která se vaří již při 100 °C. Voda je hlavním problémem brzdových kapalin. Pokud dojde k varu, vznikají v brzdové soustavě plynné složky, které jsou stlačitelné. Při stlačení pedálu se stlačuje plyn a nedochází k přenosu síly k brzdovým třmenům. Jedná se o hlavní důvod, proč se nejvíce rozšířily hydroskopické brzdové kapaliny, nelze stoprocentně zamezit kontaminaci brzdové kapaliny vodou. Snížení bodu varu, které se při kontaminaci vodou u hydroskopických kapalin projevuje, je výhodnější než možné problémy, které může způsobit nevázaná voda v systému využívající kapaliny, které nejsou hydroskopické [16].

Brzdové kapaliny musí splňovat mazací funkci. Mazat gumové těsnicí prvky a zároveň si udržovat únosnost mazacího filmu po celou dobu své životnosti. Ochrana konstrukčních prvků okruhu proti korozi je dalším požadavkem brzdových kapalin. [16; 17]

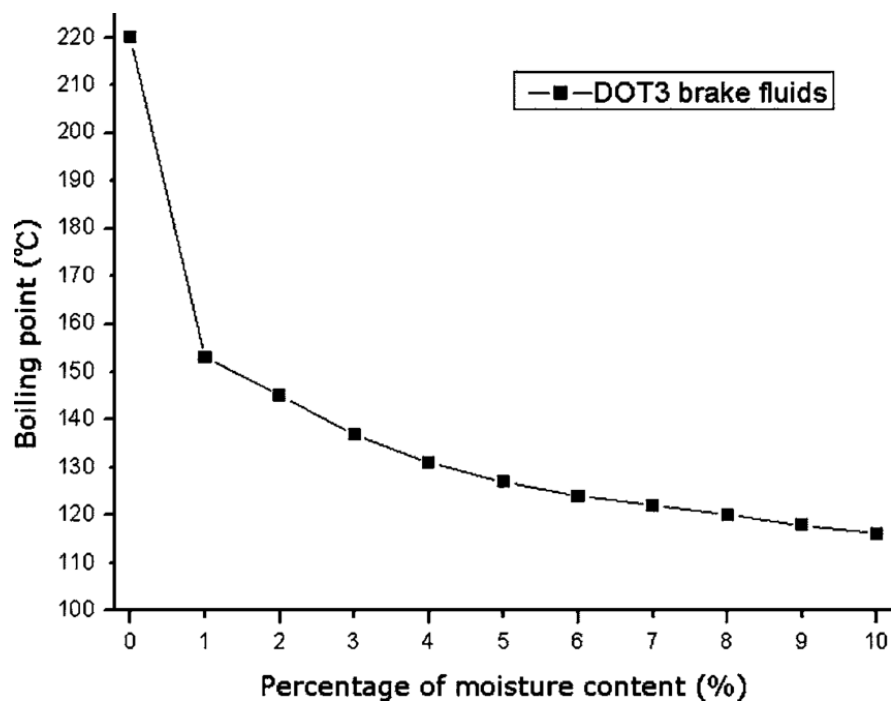
Brzdové kapaliny musí splňovat přísné požadavky tak, aby zajistily spolehlivý provoz brzdového systému. Z tohoto důvodu byly vydány normy, které definují kvalitu, požadavky a určují testy kapalin. Většina používaných norem je velmi podobných. Nejznámější je pak norma FMVSS 116, která používá označení DOT pro jednotlivé kapaliny a stala se tak univerzální referencí pro ostatní normy. Pro evropský prostor je nejrozšířenější normou ISO 4925, pro Ameriku pak SAE 1703, SAE 1704. Výrobci vozidel vydávají vlastní normy. Ty často vycházejí z předchozích norem, ovšem právě tyto normy jsou pak závazné pro daná vozidla. Jelikož normy definují spodní hranice hodnot, je zcela běžné, že na balení je uvedeno několik norem, které daná kapalina splňuje.

Jednoznačně nejrozšířenější kapaliny jsou na bázi polyglykoletherů, kdy jsou do základů novějších tříd kapalin DOT 4 a DOT 5.1 přimíchány estery kyseliny borité. Ty nejsou přimíchávány do kapalin třídy DOT 3. [17] S rozšířením a minimalizací modulátoru ABS vznikl v Evropě požadavek na kapalinu se sníženou viskozitou za nízkých teplot. Ta je definována normou ISO 4925 jako kapalina třídy 6, stejným požadavkům pak odpovídá kapalina třídy DOT 4 označená LV (low viscosity) [18].

Polyglykoly spadají do třídy syntetických maziv. Vyrábějí se z etylenoxidů, propylenoxidů a jejich derivátů. Polyglykoly se podle poměru použitých etylenoxidů a propylenoxidů dělí na

ve vodě rozpustné a nerozpustné. Brzdové kapaliny se vyrábějí ze skupiny ve vodě rozpustných polyglykoléterů. Polyglykoly mají vysokou tepelnou vodivost, dobrou viskozitně – tepelnou závislost, ale při nižších teplotách jejich viskozita roste. [16] To je také důvodem toho proč se při výrobě kapalin přidávají rozpouštědla. Zajišťují, aby byla dodržena nízká viskozita i při nízkých teplotách. Vlastností rozpouštědel je napadání pryžových těsnění. Proto se jako další přísady používají modifikační prostředky, které duření pryže omezují. Modifikačním prostředkem jsou glykoly, které vylepšují odolnost kapaliny vůči vodě, rozpouští inhibitory, tedy poslední hlavní přísadu. Inhibitory omezují, eliminují korozi kovových součástí brzdového systému a slouží k ochraně samotné brzdové kapaliny proti oxidaci. [17; 19]

Tyto kapaliny jsou hydroskopické, což je schopnost kapaliny vázat molekuly vody. Vodu brzdové kapaliny na bázi polyglykoléterů pohlčují ze vzdušné vlhkosti, což vede ke snižování jejich bodu varu. Tento jev lze pozorovat na obrázku č. 3. [16]



Obrázek 3 Graf závislosti bodu varu kapaliny třídy DOT 3 na obsahu vody [30]

Silikonové brzdové kapaliny (DOT 5) najdou díky svému vysokému bodu varu využití v oblasti motorsportu. Tento druh kapaliny je víc rozšířen ve Spojených státech amerických, kde je využíván u vojenských vozidel.

Kapaliny na bázi minerálního oleje se dnes téměř nevyskytují, našly své využití u vozidel s centrální hydraulikou, kde sloužily zároveň pro více hydraulických prvků, jako například

posilovač řízení nebo pro hydropneumatické odpružení. Nebyl zde potřeba posilovač brzd, kapalina byla dodávána centrálním čerpadlem. Nejznámějším příkladem použitím tohoto systému byl francouzský výrobce automobilů Citroën, který využíval kapalinu LHM na bázi minerálního oleje. Minerální oleje ani silikonové brzdové kapaliny nejsou hydrofobické, nedokáží navázat vodu. Voda, pokud pronikne do systému, je zde nebezpečná zvláště při teplotách pod bodem mrazu, kdy začíná vytvářet ledové krystalky, které mohou způsobit ucpání potrubí.

V následující tabulce jsou uvedeny základní chemické a fyzikální vlastnosti vybrané brzdové kapaliny třídy DOT 4.

Tabulka 1 Vybrané základní fyzikální a chemické vlastnosti brzdové kapaliny ORLEN OIL DOT-4 [20]

Typická vlastnost	Hodnota
Bod tání / bod tuhnutí	- 50 °C
Bod vzplanutí	> 100 °C
Teplota rozkladu	> 300 °C
pH	7 – 10.5
Kinematická viskozita	5 – 10 mm ² /s 20°C
Hustota	1.02 – 1.07 g/cm ³

2.2.1 Charakteristické, požadované a testované vlastnosti brzdových kapalin

Charakteristické vlastnosti jednotlivých typů brzdových kapalin jsou definovány danými normami. Nejzásadnější jsou hodnoty mokrého a suchého bodu varu a viskozita.

Tabulka 2 Typické vlastnosti jednotlivých tříd brzdových kapalin [12]

Parametr	Glykol - ether			Silikon
	DOT 3	DOT 4	DOT 5	DOT 5.1
Suchý bod varu [°C]	>205	>230	>260	>260
Mokrý bod varu [°C]	>145	>155	>150	>150
Kinematická viskozita při -40 °C [mm ² s ⁻¹]	<1500	<1800	<900	<900

Během brždění dochází vlivem tření ke vzniku velkého množství tepla. Ohřívají se nejen samotné hydraulické válce provozní brzdy ale s nimi i samotná kapalina. U kotoučových brzd při dlouhodobém intenzivním brždění se kapalina může ohřát na teplotu přesahující 200 °C. Při překročení kritické teploty začne docházet k varu kapaliny nebo alespoň některých jejích složek. V kapalině začínají vznikat plynné bublinky výparů, které jsou stlačitelné. Při brždění se tyto plyny stlačují, tlak se tak nepřenese až k brzdám. Nejprve dochází ke snížení účinnosti brzd a může dojít až jejich selhání – prošlápnutí pedálu bez brzdného účinku. Zde hraje důležitou roli podíl vody v brzdové kapalině, kdy se zvyšujícím se podílem vody obsažené v kapalině klesá bod teploty varu této kapaliny a zvyšuje se riziko selhání brzd.

Estery kyseliny borité se přidávají do novějších kapalin tříd DOT 4 a DOT 5.1. Dokáží chemicky vázat vodu, jejich bod varu v závislosti na podílu obsažené vody neklesá tak rychle oproti starší kapalině třídy DOT 3, která ji neobsahuje.

V samotných normách jsou pak přesně definovány postupy, materiály a náležitosti, pro jednotlivé laboratorní testy kapalin. Normy dále definují referenční kapaliny jednotlivých tříd brzdových kapalin. Následně jsou popsány zkoušky kapalin tříd DOT podle FMVSS 116.

2.2.1.1 Suchý bod varu

Jedná se o hodnotu teploty, při které se začne vařit nová kapalina. Nové kapaliny neobsahují žádnou nebo minimální množství vody (<0.2 %) [12]. Suchý bod varu je základním požadavkem, který musí nové brzdové kapaliny splňovat. Tyto hodnoty charakterizují schopnost jednotlivých tříd kapalin snášet tepelné zatížení. Normy určují minimální přípustnou hodnotu. [12; 17]

2.2.1.2 Mokrý bod varu

Mokrý bod varu má simulovat kapalinu se stářím dva až tři roky. Kapalina v závislosti na provozních a klimatických podmínkách absorbuje přibližně 1 % – 1,5 % vody z okolního prostředí za jeden rok. [12] Příprava vzorku pro určení mokrého bodu varu pobíhá laboratorně, kdy je vzorek brzdové kapaliny kontrolovaně zvlhčován. Jakmile je dosaženo hmotnostního podílu vody 3,7 %, proběhne stanovení bodu varu. Normy určují spodní hranice této hodnoty.

2.2.1.3 Viskozita

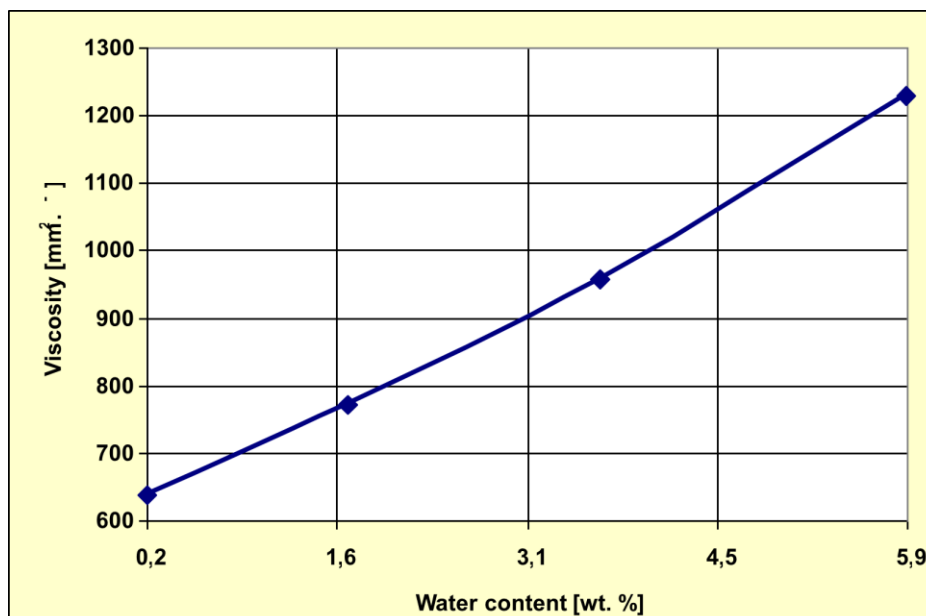
Společně s bodem varu se jedná o nejdůležitější vlastnost brzdových kapalin. Hlavním úkolem brzdové kapaliny je plnit funkci hydraulické kapaliny. Základním parametrem všech hydraulických kapalin je viskozita, která charakterizuje vnitřní tření v kapalině. Viskozita určuje únosnost a tvorbu mazacího filmu. Se zvyšující se viskozitou roste těsnicí schopnost kapaliny. Zároveň ale dochází k větším ztrátám způsobených třením v kapalině. Tato veličina je důležitá z pohledu čerpatelnosti kapaliny. Brzdové kapaliny mají obecně dobrou teplotně-viskozitní závislost se zvyšujícími se hodnotami při nízkých teplotách. [16] Viskozita brzdových kapalin by měla být při všech provozních podmínkách co nejnižší. Se zvyšující se viskozitou rostou ztráty způsobené třením v kapalině, dochází k ovlivnění průtoku a při čerpání k většímu namáhání čerpadla. Tyto problémy se mohou projevit například ve snížené dynamice nárustu tlaku při použití čerpadla modulátoru ABS.

Dynamická viskozita lze vyjádřit Newtonovým zákonem viskozity, ze kterého vyplývají i jednotky. Dynamická viskozita, někdy také nazývaná jako absolutní viskozita, se značí η a její jednotkou jsou Pa·s. [21]

Kinematická viskozita, značena písmenem ν , je rovna poměru dynamické viskozity a hustoty při shodné teplotě. Používané jednotky jsou mm^2s^{-1} . Pro oblast maziv je běžnější využívat a měřit hodnoty kinematické viskozity. K tomu se využívá nejčastěji kapilárních viskozimetrů. [21]

Normy definují maximální přípustnou kinematickou viskozitu při teplotě $-40\text{ }^\circ\text{C}$, pro jednotlivé třídy brzdových kapalin (Tabulka 2). Zároveň definují i maximální hodnotu kinematické viskozity $1,5\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ pro teplotu $100\text{ }^\circ\text{C}$ [22] pro všechny třídy kapalin tak, aby byly zachovány mazací vlastnosti i při vyšších teplotách. Typické hodnoty kinematické viskozity brzdových kapalin se pohybují v rozmezí $5 - 10\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$. [20; 23]

Viskozita brzdové kapaliny je závislá nejen na teplotě, ale i na obsahu vody v brzdové kapalině. Se zvyšujícím se obsahem vody roste viskozita kapaliny, což společně se snižujícím se bodem varu vede ke zhoršení jejího stavu.



Obrázek 4 Graf závislosti kinematické viskozity na obsahu vody brzdové kapaliny třídy DOT 4 při $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28]

2.2.1.4 Hodnota pH

Hodnota pH pro brzdové kapaliny (mimo silikonové kapaliny) by neměla být nižší než 7,0 a ne vyšší než 11,5. Brzdové kapaliny jsou tedy neutrální až zásadité. [22]

2.2.1.5 Stabilita

Zkouška stability je rozdělena na dvě části. Určení stability za vysokých teplot a stanovení chemické stability.

Stabilita za vysokých teplot

Vzorek 60 ml testované kapaliny se zahřívá na teplotu $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 120 minut. Po uplynutí dvou hodin se zvýší rychlost zahřívání a změří se bod varu kapaliny. Případné zvyšování teploty probíhá až do $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pokud je dosažena tato teplota, měření se ukončuje s výsledkem překročení $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hodnotí se změna hodnoty teploty varu před testem stability s hodnotou bodu varu změřenou po zahřívání. [17; 22]

Chemická stabilita

Kapaliny stejných tříd mají být podle norem vzájemně mísitelné. Zkouška chemické stability se provádí na 30 ml vzorku testované kapaliny smíchaném s 30 ml referenční kapaliny. Její složení je určeno normou. Takto namíchaný vzorek je přiveden k varu, kdy se měří teplota bodu varu. Následuje udržování teploty, při které se kapalina bude vařit, a to po dobu 15 minut. Každých 30 sekund se zaznamená teplota varu kapaliny. Během tohoto testu se hodnotí změny teploty bodu varu, které by měly být co nejmenší. [22]

2.2.1.6 Koroze

Korozní působení kapalin na konstrukční prvky brzdové soustavy je nežádoucí. Proto se na šesti specifikovaných kovových vzorcích (plíšky o rozměru 8 cm x 1,3 cm x 0,6 cm) hodnotí korozní působení. Normou jsou přesně definovány kovové vzorky. Jedná se o materiály běžně používané pro konstrukce brzdových soustav. Vzorky materiálů jsou očištěny etanolem (pro silikonové kapaliny se použije isopropanol), přesně zváženy a spojeny do článku. Je připraven vzorek kapaliny. Vzorek testované kapaliny o objemu 760 ml brzdové kapaliny je smícháno se 40 ml destilované vody, do této směsi jsou spojené vzorky ponořeny. Vše je uzavřeno v nádobě a umístěno na 120 hodin do pece při teplotě 100 °C. Následně se vše nechá zchladnout na pokojovou teplotu a vzorky jsou vyjmuty, řádně umyty a kontrolují se známky koroze. Vzorky jsou následně řádně vysušeny a zváženy. V úvahu se nebere zabarvení ani případná změna barvy. Do kapaliny se pro tento test přidávají i kaučukové manžety ze třmenů brzd. Vyhodnocuje se narušení povrchu, loupání, puchření, rozpadání, měří se tvrdost gumy a změní se průměr základny před a po zkoušce. Kapalina se po testu promíchá a nesmí želírovat nebo vytvářet krystaly. Určuje se množství sedimentu ve 100 ml vzorku a také hodnota pH musí být v předepsaném intervalu. [22]

2.2.1.7 Tekutost a vzhled za nízkých teplot

Vzorek 100 ml kapaliny se umístí do předepsané vzorkovnice o objemu asi 125 ml, které je následně uzavřena. Vzorkovnice je ochlazená na -40 °C po dobu 144 hodin. Následně se sleduje a hodnotí čírost, vznik usazenin, sedimentace, krystalizace, oddělování nebo rozvrstvení složek, separace složek a nadměrná viskozita. Poté se vzorkovnice otočí dnem vzhůru a měří se čas, za který vystoupá vzduchová bublina.

Vzorek je nechán neřízeně zchladnout a po dosažení pokojové teploty je opět podroben vizuální kontrole. Toto měření se následně opakuje, kdy je vzorek ochlazen na -50 °C po dobu 6 hodin. [22]

2.2.1.8 Snášlivost s vodou

Při této zkoušce je 100 ml testované brzdové kapaliny zvlhčeno 3,5 ml destilované vody. Kapalina je v zazátkované zkumavce vložena do chladicí komory o teplotě -40 °C na dobu 120 hodin. Posléze je zkumavka vyjmuta a hodnotí se vzhled kapaliny. Ta by neměla vykazovat známky sedimentace, krystalizace a rozvrstvení složek. Pokud dojde k zakalení, musí kapalina během ohřívání získat svou původní průzračnost a tekutost. Obdobně jako u zkoušky tekutosti se určí doba stoupání vzduchové bubliny.

Následuje vložení vzorku do pece vyhřáté na 60 °C . Po uplynutí 24 hodin v peci nemá kapalina vykazovat znaky rozvrstvení a objem sedimentů nemá přesáhnout 0,15 %. [22]

2.2.1.9 Mísitelnost

Vzorek 50 ml brzdové kapaliny se smíchá se stejným objemem referenční brzdové kapaliny pro danou třídu kapalin. Tento test je obdobný s testem snášivosti vody. Zkumavka se vzorkem je chlazená na 24 hodin při -40 °C . Opět se zkoumají kaly, sedimentace, krystalizace a nesmí se vyskytovat rozvrstvení složek kapalin. U kapaliny tříd DOT 5 se na rozvrstvení nebere v zřetel. Objemový podíl sedimentu nesmí po testu při 60 °C přesáhnout 0,05 %. [22]

2.2.1.10 Odolnost proti oxidaci

K testování je využita dvojice kovových vzorků, z litiny a hliníku, ty jsou zavěšeny na ocelovém šroubu a vzájemně odděleny kusem alobalu. Do vzorku brzdové kapaliny zvlhčeného 5 % vody se přidá 0,2 % benzoylperoxidu. Takto připravený vzorek je následně vložen do pece o teplotě 70 °C a po dobu dvouhodinového trvání testu je vždy po 15 minutách promíchán. Po vyjmutí z pece se vzorek nechá zchladnout na pokojovou teplotu. Do 24 hodin po vyjmutí vzorku z pece se přejde k samotnému testu odolnosti vůči oxidaci.

Do zkumavky je vložen vzorek gumového těsnění, na který je posazen testovaný plech. Zkumavka je doplněna připraveným vzorkem kapaliny přibližně do poloviny výšky kovového vzorku. Zkumavka je uzavřena a ponechána ve svislé pozici při pokojové teplotě po dobu 70 hodin. Následně se vzorek bez uzávěru na 168 hodin přesune do pece se stálou teplotou 70 °C .

Po vyjmutí nesmějí být patrné žádné zbytky gumy na vzorcích kovů. Na testovaných kovových vzorcích nesmí být patrná důlková koroze, naleptání, zdrsnění povrchu. Je přípustná změna barvy, výskyt skvrn. Po důkladném vysušení jsou vzorky zváženy a maximální přípustné změna váhy způsobená korozi je pro vzorek hliníku $0,05 \text{ mg/cm}^{-2}$ a pro litinu $0,3 \text{ mg/cm}^{-2}$. [22]

2.2.1.11 Vliv na kaučukové materiály

Provádí se testování standartních, v systémech hydraulických brzd, používaných gumových materiálů (SBR). Pro tento test jsou připraveny dvě nádoby. Obě jsou naplněny testovanou kapalinou a je do nich ponořen vzorek gumy. Následně jsou takto připravené vzorky zahřívány, jeden při teplotě $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a druhý při teplotě $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Po uplynutí sedmdesáti hodin v peci se nechají vzorky vychladnout na pokojovou teplotu. Vzorky gumy jsou opláchnuty v etanolu, pro DOT 5 je použit isopropanol, a vysušeny. Probíhá kontrola gumových částí na naleptání, puchření, lepkavost a odlupování vrchních vrstev.

Měří se změna tvrdosti a změna průměru testovaných gumových manžet. Zvětšení průměru by se mělo pohybovat mezi $0,15 \text{ mm}$ až $1,40 \text{ mm}$. [22]

Celkově by brzdové kapaliny neměly negativně působit na pryžové materiály, tvrdnutí, smršťování je zcela nežádoucí, docházelo by ke ztrátě těsnosti a únikům brzdové kapaliny. Brzdová kapalina by měla způsobovat mírné nabobtnání pryže. [17]

2.2.1.12 Barva

Jednotlivé třídy brzdových kapalin mezi sebou nejsou zaměnitelné. Obzvláště pak kapaliny tříd vyrobených s rozdílnou základovou látkou. Konstrukční prvky brzdové soustavy jsou vždy vybírány s ohledem na zvolenou kapalinu. Jedná se především o gumové součásti zejména těsnění. Každý typ těsnění odolává určitým typům kapalin. Z tohoto důvodu nesmějí být použity minerální ani silikonové kapaliny pro okruh s předepsanou glykolovou kapalinou a naopak, mohlo by dojít k poškození těsnění, ztrátě těsnosti což vede ke ztrátě tlaku a následnému selhání brzd. Vždy je nutné při plnění použít pouze přesně předepsaný typ brzdové kapaliny [17]

Z tohoto důvodu jsou jednotlivé typy kapalin rozlišeny i barevně. Glykolové kapaliny mají bezbarvou, žlutou až jantarovou barvu. Silikonové kapaliny třídy DOT 5 jsou růžové a hydraulické minerální oleje zelené. [22]

2.2.1.13 Komplexní zátěžový test

Ze standardizovaných dílů (hlavní brzdový válec, brzdové třmeny, těsnění, potrubí) je sestaven simulační brzdový okruh, na kterém probíhá simulace brzdových cyklů. Kapalina je stlačována rychlostí asi 1000 zdvihů za hodinu na tlak 6895 kPa. V první fázi probíhá test při pokojové teplotě, kdy je píst stlačen 16 000krát. Jsou seřizeny brzdy a opraveny případné úniky, dolita kapalina. Následuje vložení celého systému do prostoru s teplotou 120 °C a pokračuje se se stlačovacími cykly. Kontrolována je hladina kapaliny v intervalu 24 000 cyklů, zaznamenáno je množství kapaliny, které je případně potřeba doplnit. Celkově je v průběhu testu provedeno 85 000 cyklů, následně je provedena kontrola. Po vychladnutí je provedeno dalších 100 cyklů a je zaznamenáno množství uniklé kapaliny.

Po ukončení zátěže je celý systém rozebrán a hodnotí se viditelná poškození jednotlivých konstrukčních prvků, opotřebení pístů, stav těsnících prvků, vznik usazenin a pryskyřic. V kapalině se určí podíl sedimentu. [22]

2.2.1.14 Požadavky na balení kapalin

Nádoby, ve kterých se prodávají brzdové kapaliny musí splňovat, určité požadavky. Nádoba musí být uzavřena uzávěrem s vnitřním těsněním odolným vůči kapalině a zároveň musí být víčko zkonstruováno tak, aby se při prvním otevření porušil bezpečnostní prvek, sloužící zároveň jako ochrana proti neoprávněné manipulaci. Na obalu musí být uvedeny informace o jakou třídu kapaliny se jedná, u třídy DOT 5 i označení, že se jedná o silikonovou kapalinu, a normy které kapalina splňuje. Vyžadovány jsou i informace o výrobci, sériové číslo identifikující výrobní šarži a datum výroby. Uvedena musí být bezpečnostní upozornění, například, že se jedná o jedovatou kapalinu. Je nutné dodržovat doporučení výrobce vozidla, upozornění na vzájemnou nemísitelnost tříd brzdových kapalin. Štítky na baleních musí odolávat obsažené kapalině tak, aby byly informace po kontaminaci štítku stále čitelné. [22]

2.2.2 Testery brzdových kapalin

Platí předpoklad, že kromě bodu varu a viskozity, které jsou ovlivňovány podílem vody, si kapaliny své vlastnosti uchovávají. Laboratorní testy jsou nákladné a časově náročné. S ohledem na množství brzdové kapaliny v brzdovém systému vozidla nejsou tyto laboratorní

zkoušky ekonomicky výhodné a lepším řešením je celou kapalinu vyměnit. Laboratorní zkoušky jsou využívány při výstupní kontrole výrobcí kapalin. K orientačnímu stanovení stavu brzdové kapaliny jsou k dispozici komerční přístroje. Přístroje lze rozlišit podle způsobu určování stavu brzdové kapaliny. Jednoduší přístroje určené pouze pro určitou třídu kapaliny určují obsah vody v kapalině. K tomu využívají měření vodivosti brzdové kapaliny, která se zvyšujícím se podílem vody klesá. Na trhu jsou k dispozici i refraktometry k orientačnímu zjištění bodu varu brzdové kapaliny. Tyto přístroje neměří přímo bod varu kapaliny, který je určen normami jako závazná hodnota, proto nejsou považovány za zcela přesné a tato měření jsou spíše orientační. Přístroje založené na měření vodivosti často neukazují konkrétní číselnou hodnotu, ale pouze stav kapaliny indikují rozsvícením diody odpovídající určitému stavu kapaliny. Například zelená dioda – Kapalina OK. [24]

Další druh přístrojů měří přímo bod varu kapaliny. Tyto přístroje jsou vybaveny topnou spirálou, která je ponořena do kapaliny a je změřena hodnota bodu varu. Přesnost takovýchto přístrojů lze považovat za dostatečnou. [18; 25]

Měření těmito testery, obzvláště pokud se jedná o levné přístroje určené pro domácí použití, je nutné brát pouze jako orientační. Mohou se vyskytovat rozdíly při měření různými přístroji. Kapalina by tedy měla být vyměněna už při přiblížení se spodní hranici dovolených hodnot. Kapalina je nejčastěji měřena přímo ve vyrovnávací nádržce, kde může být v jiném stavu než kapalina u třmenů kotoučových brzd, kde dochází k intenzivnímu ohřívání (varu) kapaliny. Tento případ je umocněn využíváním EHB, kdy je povětšinu času systém rozdělen uzavřeným elektromagnetickým ventilem. Z obdobných důvodů je nevyhovující měření v krátké době po doplnění brzdové kapaliny, kdy v nádržce bude pouze nová kapalina [18]. Výměna brzdové kapaliny je nutná při naměření teploty bodu varu nižším než 180 °C. Při měření z nádržky a při měření kapaliny odebrané od vlastních brzd je kritická hodnota 150 °C. [26]

Vždy je nutné dodržovat pokyny výrobců kapalin. Obecně platí, že kapaliny tříd DOT 4 a DOT 5.1, by měly být měněny v intervalu dvou let, kapalina třídy DOT 3 každý rok. [17; 18] Studie dokázaly, že vyšší roční kilometrový nájezd vede ke zhoršování parametrů brzdových kapalin, ale někdy může být výměna každé 2 roky předčasná. Vždy je potřeba brát ohled na roční nájezd kilometrů a na provozní podmínky daného vozidla. [24]

2.2.3 Budoucí brzdové kapaliny

Lze pozorovat, že novější brzdové kapaliny mají lepší charakteristické vlastnosti. Postupně dochází ke snižování viskozity za nízkých teplot současně se zvyšuje mokrý bod varu moderních brzdových kapalin. Moderní vozidla jsou dnes standardně vybavena systémy elektronické stabilizace, adaptivními tempomaty a systémem nouzového zastavení. Využívání těchto systémů vede k velmi časté činnosti modulátoru ABS. Oproti tomu u vozidla vybaveného pouze systémem ABS docházelo k aktivaci pumpy modulátoru ojediněle. S nástupem vyšších úrovní autonomního řízení se tato činnost umocňuje. Z tohoto směru vyplývá požadavek na nové a budoucí brzdové kapaliny. Ty by měly být schopny lepšího mazání tak, aby bylo omezeno opotřebení, zároveň se zachováním trendu zvyšující hodnotu bodu mokrého varu a snižování viskozity při nízkých teplotách. Standardizační organizace pracují na vývoji a aktualizaci platných norem pro brzdové kapaliny. [12]

3 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo popsat soustavu hydraulických brzdových systémů. Vymežit její princip fungování s ohledem na spolehlivost a bezpečnost. V práci jsou popsány jednotlivé konstrukční prvky hydraulických brzd a je zde nastíněn vývoj těchto systémů s postupným integrováním elektroniky, což vede ke zvyšování bezpečnosti provozu a zvyšování pohodlí uživatelů. Byly popsány brzdové kapaliny, jejich různé druhy a oblasti použití. Práce se věnuje popisu požadovaných vlastností nejrozšířenějšího druhu brzdových kapalin, a to kapalin na bázi polyglykolů. Úkolem praktické části této práce je ověřit znalosti získané v rešeršní části práce, měřením viskozity vybraných vzorků kapalin.

4 Metodika práce

4.1 Vzorky

Bylo odebráno šest vzorků ze čtyřech vozidel. Ve všech případech se jednalo o vozidla vybavená jednotkou ABS. Vzorky byly odebírány ze dvou míst. Vzorky č.1, č.4, č.5 a č.6 byly odebrány po odstranění sítka z nádržky brzdové kapaliny. Vzorek č. 2 byl odebrán ze stejného vozidla jako vzorek č.1. Odebrání proběhlo přes odvzdušňovací ventil bubnové brzdy u kola zadní nápravy. Stejně vozidlo jako u vzorku č.3 bylo použito i k odběru kapaliny vzorku č.4, tento vzorek byl odebrán obdobně jako vzorek č.2, přes odvzdušňovací ventil. V tomto případě se jednalo o brzdy kotoučové přední nápravy. Jednotlivé vzorky, jejich označení, stáří a třídy jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3 Informace o odebraných vzorcích

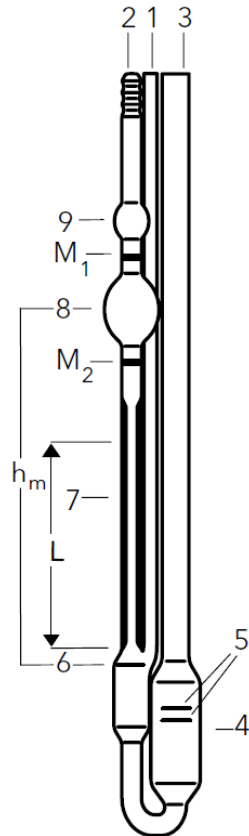
Označení vzorků	Místo odběru	Požadovaná třída kapaliny	Stáří kapaliny (roky)
č. 1	Vyrovnávací nádržka	DOT 4	2
č. 2	Bubnová brzda	DOT 4	2
č. 3	Kotoučová brzda	DOT 4	7
č. 4	Vyrovnávací nádržka	DOT 4	7
č. 5	Vyrovnávací nádržka	DOT 4 LV (ISO 4295 třída 6)	4
č. 6	Vyrovnávací nádržka	DOT 4 LV (ISO 4295 třída 6)	1



Obrázek 5 Měřené vzorky brzdových kapalin (vlastní zdroj)

4.2 Měření viskozity

Byla provedena měření kinematické viskozity. K těmto měřením byl využit Ubbelohdeho viskozimetr, pomocí kterého lze změřit přímo kinematickou viskozitu. Ubbelohdeho viskozimetr spadá do skupiny kapilárních viskozimetrů. Měření tímto typem viskozimetru spočívá v měření času, za který daný objem kapaliny proteče kapilárou. Průtok kapaliny je dán pouze gravitační silou a není jinak nuceně urychlován. Kapalina je nasáta pomocí sací trubice (2) do pomocné baňky (9) na obrázku číslo 6. Po uvolnění začne hladina klesat a je měřena doba mezi okamžiky kdy klesající hladina protne měrné rysky (M_1 , M_2). Přístroj je zkonstruován a vybrán tak, aby při průtoku kapilárou docházelo pouze k laminárnímu proudění kapaliny. Pro výpočet viskozity je pak zapotřebí znát konstantu viskozimetru. Kalibrační konstanta vyjadřuje geometrické parametry daného viskozimetru a zahrnuje korekce použité pro měření. [27]



Obrázek 6 Viskozimetr dle Ubbelohdeho: 1 – Odvzdušňovací trubice; 2 – Sací trubice; 3 – Plnicí trubice; 4 – Nádobka; 5 – Plnicí rysky; 6 – Baňka; 7 – Kapilára; 8 – Měrná baňka; 9 - Pomocná baňka; h_2 – průměrná hydrostatická hnací výška; L – Délka kapiláry; M_1, M_2 – Měrné rysky [27]

Konstanta použitého viskozimetru

$$K = 1,002$$

Rovnice pro výpočet kinematické viskozity

$$v = K * t$$

Kde:

v je kinematická viskozita

K je konstanta viskozimetru

t je čas doby průtoku viskozimetrem

Měření proběhlo při nejnižších teplotách, které technologické podmínky chlazení dovolily.
V případě tohoto měření byly všechny vzorky měřeny při - 20 °C.

5 Výsledky

Všechny vzorky odebrané z vyrovnávací nádržky mají nažloutlou barvu a není na nich pozorovatelné jakékoliv znečištění nebo jiný defekt. Vzorek č.2 má zašedlou barvu a je mírně zakalený, kapalina je stále průhledná, ale znečištění je jasně patrné. V tomto vzorku lze pozorovat malé pevné částice, které časem klesají ke dnu. Vzorek č. 3 je silně znečištěn, má hnědočernou barvu a ve vzorkovnici je neprůhledný. Vypovídá to o jeho silném znečištění, které však lze vzhledem k jeho stáří očekávat. Znečištění vzorků je od mechanických nečistot, otěrových částic z brzdového obložení, které se do kapaliny dostávají přes těsnění pístů brzdových třmenů. Dále vzorky mohou být znečištěny korozí brzdového potrubí, jelikož stáří vozidel, ze kterých byly vzorky od brzd odebrány, je okolo dvaceti let. Díky vodě obsažené v kapalině a vysokým teplotám dochází ke korozi, zejména dílů a částí potrubí, které jsou v těsné blízkosti vlastních brzd. Třením zde dochází ke vzniku tepla, které se přenáší na díly brzdového ústrojí a na kapalinu samotnou. Vysoké teploty a větší podíl vody v kapalině jsou jevy podporující korozi, proto jsou v obou vzorcích odebraných od brzd pozorovatelné částice viditelné pouhým okem.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty viskozity

Vzorek	Teplota	Kinematická viskozita [mm^2s^{-1}]
č. 1	- 20 °C	35,71
č. 2	- 20 °C	42,07
č. 3	- 20 °C	41,42
č. 4	- 20 °C	27,20
č. 5	- 20 °C	25,59
č. 6	- 20 °C	16,94

Z naměřených hodnot viskozit lze pozorovat, že kapaliny odebrané od třmenu a bubnu brzd mají hodnoty viskozity vyšší než kapaliny odebrané z nádržky brzdové kapaliny při odběru stejného vozidla. Za předpokladu získaném v rešersní části, že s vyšším podílem vody v brzdové kapalině se kinematické viskozita za nízkých teplot zvyšuje. [28] Lze tedy předpokládat vyšší kontaminaci vodou brzdových kapalin u vlastních brzd než v nádržce.

Z měření nebylo jednoznačně zjištěno, že by se u vzorků starších kapalin odebraných z nádržek projevovala vyšší viskozita při nízkých teplotách než u vzorků novějších. Nenachází se jasná

souvislost mezi stářím kapaliny a její viskozitou. Vzorek č. 6, který je nejnovější, má však hodnotu viskozity jasně nejvyšší.

Při zohledňování výsledků měření je nutné brát ohled na fakt, že kapaliny různých výrobců se mohou ve svých parametrech lehce lišit. Závazné jsou pro výrobce hodnoty stanovené normami. Hodnoty viskozit při -20 °C zdaleka nedosahují limitních hodnot určenými normami. Normy definují maximální přípustnou viskozitu při -40 °C , pro kapaliny třídy DOT 4 je to $1800\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$, pro kapaliny třídy 6 dle ISO 4295 je hodnota $750\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$. Oproti viskozitě při normálních teplotách ($+20\text{ °C}$) je však viditelné zvýšení viskozity, ta se obvykle pohybuje okolo $10\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$.

6 Závěr

Provedená měření a vyhodnocení výsledků zčásti odpovídají předpokladům z teoretické části práce. Se zvyšujícím se podílem vody v brzdových kapalinách na bázi polyglykoetherů se viskozita při nízkých teplotách zvyšuje. Viditelné zvýšení viskozity nastává zejména při měření kapalin odebraných přes odvzdušňovací ventily samotných brzd. V případě provedených měření se ve všech případech jedná o kapalinu třídy DOT 4. Z měření nelze jednoznačně prokázat, že starší kapaliny, které by teoreticky měly obsahovat více vody, mají horší viskozitní vlastnosti. To může být zapříčiněno dvěma hlavními důvody, stáří kapaliny neodpovídá obsahu vody v kapalině nebo se projevíly vlastnosti kapalin vyrobených jinými výrobci.

Měření viskozity nelze považovat za zcela jednoduché i s ohledem na požadovanou teplotu měření, při které by dle platných norem měla být změřena. K měření viskozity je zapotřebí speciálních přístrojů – viskozimetrů. Autoservisy nedisponují takovými přístroji. Měření viskozity tedy nelze považovat za úplně vhodné pro určení stavu brzdových kapalin. Vhodnějším způsobem určení stavu brzdových kapalin je měření hodnoty bodu varu brzdové kapaliny, ten je také udáván jako základní parametr vlastností brzdových kapalin. Pro hodnotu bodu varu kapaliny obdobně jako u viskozity platí, že se zvyšujícím se podílem vody v brzdové kapalině se hodnota parametru zhoršuje, tedy hodnota bodu varu klesá. Toto měření lze provést laboratorně nebo jsou k dispozici přístroje, které jsou vybaveny topnou spirálou a stanoví hodnotu bodu varu přímo ve vyrovnávací nádržce kapaliny. Těmito přístroji disponují některé servisy, měření je rychlé a má vypovídající hodnotu o stavu kapaliny. Určení stavu kapaliny lze dosáhnou i za pomoci levnějších přístrojů, pracujících na jiném principu. Jedná se například o testery měřící vodivost kapaliny nebo refraktometry. Tato měření je však nutné brát jako orientační. Oproti měření viskozity se vzorky nemusí ochlazovat na nízké teploty, což je značná výhoda.

Vždy je nutné brát ohled i na finanční náklady spojené s určením stavu brzdových kapalin. Cena obvyklého množství náplně se pohybuje v nižších řádech stokorun. Cestou tedy může být čistě preventivní výměna v určitém časovém intervalu. Obecně platí, že by brzdová kapalina měla být vyměněna každé dva roky, avšak je doloženo, že tento interval může být prodloužen. [29] Rychlost, kterou brzdové kapaliny ztrácejí své vlastnosti, je ovlivněna stavem brzdového systému a provozními podmínkami daného vozidla a může se tedy velmi lišit.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] POLICIE ČR. *Ročenka nehodovosti za rok 2022: Tabulkové přehledy (č. 1 - 8)*. Online. Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia ČR, 2023. Dostupné z: <https://www.policie.cz/soubor/rocenka-2022-priloha-web-tabulky-pdf.aspx>. [cit. 30.3.2024].
- [2] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 13 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění. Online. In: . 2016. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/194/oj>. [cit. 19.02.2024].
- [3] DAY, A. a BRYANT, David. *Braking of road vehicles*. Second. Cambridge, MA;Kidlington, Oxford: Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier, 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04185-4>.
- [4] REIF, Konrad. *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems: Function, Regulation and Components: Function, Regulation and Components*. online. 1;2014. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2014. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-03978-3>. [cit. 2024-03-31].
- [5] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: Pneumatiky a kola. Zavěšení kol, nápravy. Odpružení. Řídicí ústrojí. Brzdové soustavy*. 2. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-239-0026-9.
- [6] DENTON, Tom a PELLIS, Hayley. *Automobile mechanical and electrical systems*. Third edition. Abingdon, Oxon: Routledge, Taylor & Francis Group, 2023. ISBN 978-1-032-28908-3.
- [7] HALDERMAN, James a MITCHELL, Jr.,. *Automotive brake systems*. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2004. ISBN 0-13-047507-6.
- [8] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN 30 3502, Silniční vozidla. Díly hydraulických brzd. Technické předpisy*.
- [9] SAJDL, Jan. EBV (Elektronische BremseVerteilersystem). online. *Autolexicon.net*. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/ebv-elektronische-bremseverteilersystem/>. [cit. 2023-12-14].

- [10] SIMON, Bettina. *Safe Braking: Start of developing Bosch's anti-lock braking system ABS*. online. In: ROBERT BOSCH GMBH 2024. Dostupné z: <https://www.bosch.com/stories/beginnings-of-abs/>. [cit. 2024-03-14].
- [11] VLK, František. *Automobilová elektronika 2: Systémy řízení podvozku a komfortní systémy*. 1. vydání. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-7062-3.
- [12] DIETSCHKE, Karl-Heinz a REIF, Konrad. *Automotive handbook*. 11th edition. Karlsruhe: Bosh, 2022. ISBN 978-1-119-91190-6.
- [13] VOITH GROUP. *Retardéry Voith*. Voith GmbH & Co. KGaA. 2020. Dostupné z: <https://voith.com/corp-en/braking-systems/retarders-trucks.html>. [cit. 14.02.2024].
- [14] VOITH GROUP. *Voith Retarder: List of Approved Oils*. J.M. Voith SE & Co. KG. 2022. Dostupné z: www.voith.com/brochures/153.004557xx. [cit. 14.02.2024].
- [15] VOITH GROUP. *Lightweights with Great Effect: Voith Is the World's Only Manufacturer of Water Retarders*. Voith Turbo GmbH & Co. KG. 2012. Dostupné z: https://voith.com/corp-en/pm_lightweights-with-great-effect.pdf. [cit. 14.02.2024].
- [16] PIRRO, Don; WEBSTER, Martin a DASCHNER, Ekkehard. *Lubrication fundamentals*. online. Third edition, revised and expanded. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 9781315367033. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b19217>. [cit. 2024-02-16].
- [17] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel: Benzín. Nafta. Alternativní paliva. Motorové oleje. Převodové oleje*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [18] HENYCH, Vít. Jak se testují nové brzdové kapaliny?. *AutoExpert: časopis profesionálů v autoopravárenství*. 2022, roč. 27, č. 78, s. 22-23. ISSN 1211-2380.
- [19] Kontrola brzdové kapaliny. *Pneuservis: odborný magazín pro pneuservisní/rychloservisní praxi a obchod s pneumatikami*. 2008, č. 4, s. 68-72. ISSN 1802-1468.
- [20] ORLEN OIL SP. Z O.O. *DOT-4: Safety Data Sheet*. Version 6.1. 2022. Dostupné z: <https://www.orlenoil.pl/oodownload/3312.pdf>. [cit. 30.3.2024].

- [21] TOTTEN, George a DE NEGRI, Victor. *Handbook of Hydraulic Fluid Technology*. online. 2nd. CRC Press, 2012. ISBN 978-0-429-09284-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b11225>. [cit. 2024-03-31].
- [22] 571.116 Standard No. 116: Motor vehicle brake fluids. Dostupné z: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/part-571/section-571.116>. [cit. 19.02.2024].
- [23] FILSON S.R.O. *BEZPEČNOSTNÍ LIST: CARLSON Brzdová kapalina DOT 4*. Verze 4.0. 2024. Dostupné z: <https://www.filson.cz/sites/default/files/sdb/BL%20CARLSON%20Brzdov%C3%A1%20kapalina%20DOT%204%20r4.pdf>. [cit. 30.3.2024].
- [24] CABAN, Jacek; VRÁBEL, Ján; ŠARKAN, Branislav; KURANC, Andrzej a SŁOWIK, Tomasz. Operational Tests of Brake Fluid in Passenger Cars. *Periodica polytechnica. Transportation engineering*. 2020, roč. 49, č. , s. 126-131. Dostupné z: <https://doi.org/10.3311/PPtr.14583>.
- [25] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel: [diagnostické testery, motortestery, výkon vozidla, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky]*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-7064-X.
- [26] POSPÍŠIL, Jiří. Brzdové kapaliny. *AutoExpert: časopis profesionálů v autoopravárenství*. 2009, roč. 14, č. 78, s. 37-41. ISSN 1211-2380.
- [27] EICH, Andreas; WILKE, Jürgen; KRYK, Holger; HARTMAN, Jutta a WAGNER, Dieter. *Visco handbook: Theory and Application of Viscometry Using Glass Capillary Viscometers*. online. 2015. Dostupné z: https://www.xylemanalytics.com/en/File%20Library/Resource%20Library/SIA/10%20Publications/SIA_Visco-handbook_English.pdf. [cit. 2024-03-25].
- [28] ČORŇÁK, Štefan a SKOLIL, J. Research of Brake Fluids Viscosity Properties. online. *Advances in Military Technology*. 2008, roč. 3, s. 5-10. ISSN 1802-2308. [cit. 2024-03-31].
- [29] CABAN, Jacek; DROŹDZIEL, Paweł; VRÁBEL, Ján; ŠARKAN, Branislav; MARCZUK, Andrzej et al. THE RESEARCH ON AGEING OF GLYCOL-BASED BRAKE FLUIDS OF VEHICLES IN OPERATION. *Advances in science & technology, research journal*. 2016, roč. 10, č. , s. 9-16. ISSN 2080-4075. Dostupné z: <https://doi.org/10.12913/22998624/65113>.

- [30] MITCHELL, DMR; KAO, M-J; TIEN, der-chi; TING, C-C a TSUNG, T-T. Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid. *Journal of Testing and Evaluation* - *J TEST EVAL*. 2006, roč. 34. Dostupné z: <https://doi.org/10.1520/JTE14254>.