

# SROVNÁVACÍ TEST BRZDOVÝCH KOTOUČŮ

Jiří Hájek<sup>a</sup>, Antonín Kříž<sup>b</sup>, Vojtěch Průcha<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, Czech Republic | [hajek@kmn.zcu.cz](mailto:hajek@kmn.zcu.cz)

<sup>b</sup> ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, Czech Republic | [kriz@kmn.zcu.cz](mailto:kriz@kmn.zcu.cz)

<sup>c</sup> ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, Czech Republic | [vprucha@kmn.zcu.cz](mailto:vprucha@kmn.zcu.cz)

## Abstrakt

Článek se zabývá porovnáním vlastností konvenčních brzdových kotoučů ze šedé litiny a to značek Volkswagen Group (dále jen „VW“, vyrobeno: Bosna a Hercegovina) a TruBlue (vyrobeno: Česká Republika). Vlastnosti kotoučů byly sledovány pomocí laboratorních testů. Laboratorní testy prokázaly lepší výsledky kotouče značky TruBlue. Základními prováděnými experimenty byly: kontrola abrazivního opotřebení metodou „PIN-on-DISC“, „IMPACT TEST“, metalografické pozorování, analýza pomocí SEM, kontrola tvrdosti a chemického složení, korozní test.

## 1. Funkce brzdových kotoučů:

Brzdová soustava je zásadní část vozidla, pomocí níž je zajištěno zpomalení vozidla. Brzdové soustavy pracují na principu zvětšování odporu tření. Při brzdění vozidla se snižuje pohybová energie, která se mění na teplo. Brzdové kotouče reagují s brzdícími destičkami a převádějí kinetickou energii v tepelnou vznikajícím třením. Z těchto důvodů je zřejmé, že zásadními požadavky na brzdové kotouče bude vysoká odolnost proti tření a vysoké teplotě, periodickému zatěžování. Kotouče by měly tlumit vibrace, mít dobrou slévatelnost a obrobitelnost. V souladu s ekonomickým aspektem nejlépe splňuje tyto vlastnosti litina s lupínkovým grafitem (šedá litina). Brzdové kotouče jsou součástí tribologického systému, přičemž kontaktní tlak mezi destičkou a kotoučem bývá od 500 kPa až do 1 200 kPa (v extrémním případě do 2 400 kPa). 90% energie se transformuje na teplo. Teplota v místě kontaktu se může vyšplhat až k 700°C. Opotřebení kotoučů je dominantně abrazivní, minoritním podílem je také adhezivní a oxidační opotřebení.

## 2. Dodaný materiál brzdového kotouče

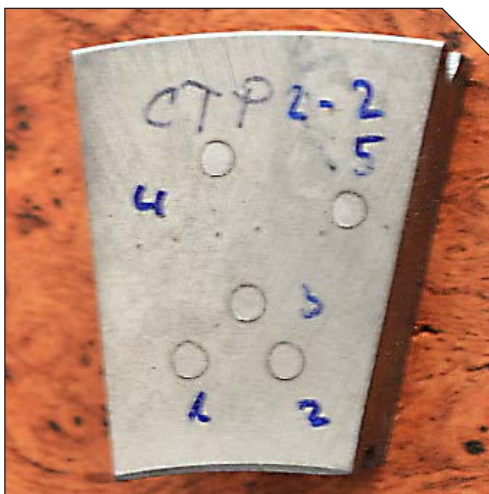
Analyzovány byly dva brzdové kotouče s označením: VW – Bosna a Hercegovina (bez kryogenního zpracování), TruBlue - USA/Česká Republika (s kryogenním zpracováním). Následující snímek dokumentuje rozřez jednotlivých kotoučů na segmenty s vyznačenými analýzami.



Obr. 1 - Řez dodaných kotoučů TruBlue (vlevo) a VW (vpravo)

## 2.1 Kontrola chemického složení:

Na vyříznutém segmentu byla provedena opakovaně kontrola chemického složení metodou GDOES. Na každém kotouči bylo provedeno pět kontrolních měření. Výsledky byly zprůměrovány a jsou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 2 - Kontrola chemického složení

Hmotnostní zastoupení jednotlivých prvků včetně směrodatných odchylek						
	C	Si	P	S	Mn	Cr
TruBlue	2,79 ± 0,134	1,67 ± 0,015	0,07 ± 0,006	0,06 ± 0,002	0,41 ± 0,004	0,29 ± 0,009
VW	2,90 ± 0,147	1,94 ± 0,005	0,04 ± 0,003	0,12 ± 0,001	0,63 ± 0,006	0,20 ± 0,003

Tab. 1 - Chemické složení testovaných kotoučů

Z měření chemického složení je patrné, že rozdíly mezi výrobci, resp. tavbami jsou minimální. Chemické složení odpovídá „konvenční“ litině s lupínkovým grafitem (šedá litina).

## 2.2 Měření tvrdosti:

Na dodaných vzorcích byla měřena tvrdost dle Brinella, při zátěžné síle 1839 N a průměru kuličky WC 2.5 mm. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce:

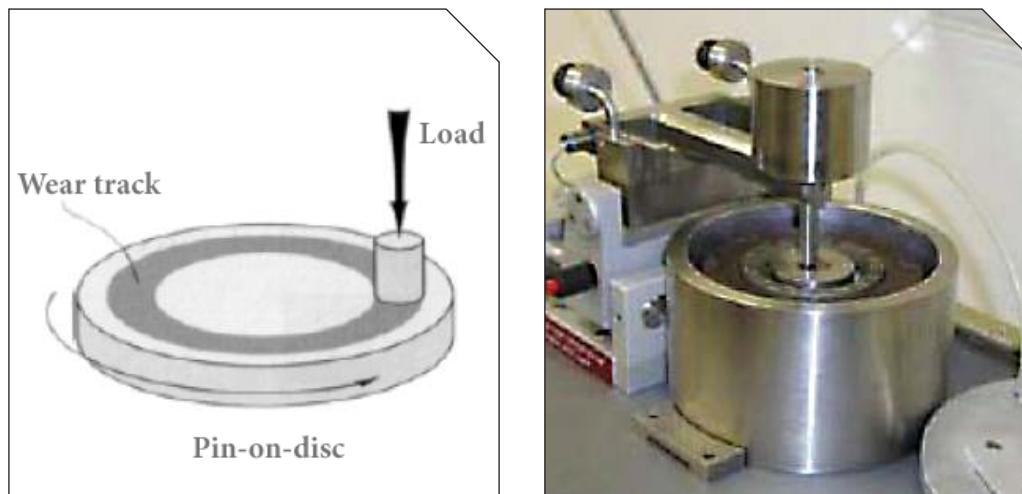
	Hodnoty HBW 2.5, 187.5 kg	
	TruBlue	VW
	199	195
	191	195
	203	199
	199	188
	195	188
Průměr	<b>197</b>	<b>193</b>
Sm. odchylka	4.6	4.8

Tab. 2 - Měření tvrdosti brzdových kotoučů

Tvrdosti všech kotoučů odpovídají litině s lupínkovým grafitem s označením dle EN GJL 250.

## 2.3 Tribologický test:

Tribologické chování experimentálního materiálu lze zjišťovat několika metodami. Každá z nich slouží ke sledování jiného mechanismu opotřebení. Ke sledování tribologického chování byla zvolena metoda „PIN-on-DISC“. Její princip spočívá ve vtlačování stacionárně uloženého „PIN“ tělíška do rotujícího vzorku (obr. 3). Nejdůležitější částí zařízení je elastické rameno, v němž je držák „PIN“ tělíška uchycen (obr. 3). Koeficient tření je určován během testu na základě elastické deformace tohoto ramena. U této metody jsou dominantními mechanismy opotřebení abraze a adheze.

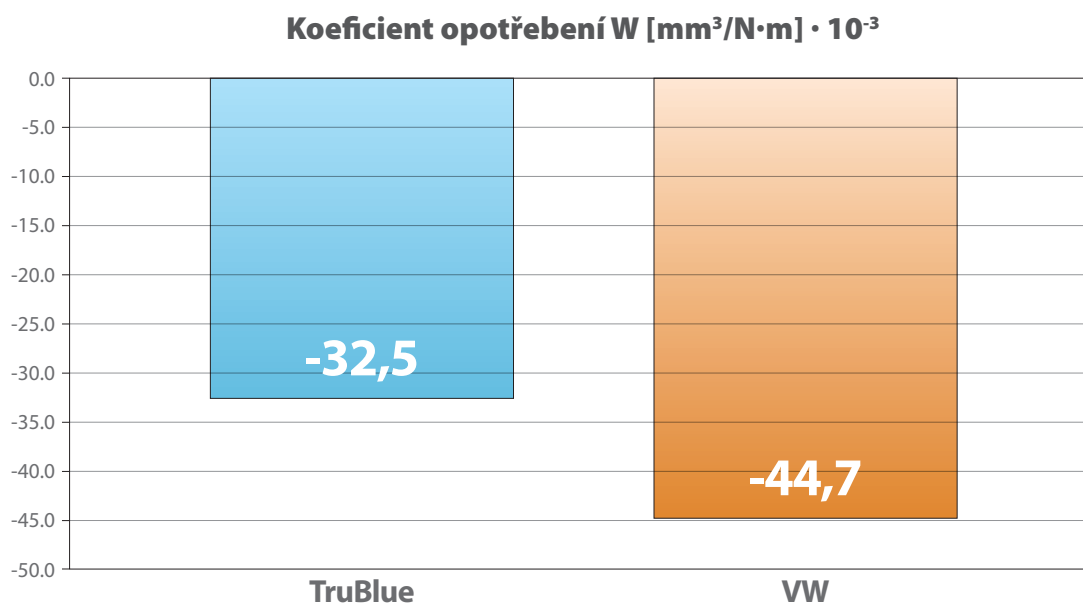


Obr. 3 - Schéma tribologického testu „PIN-on-DISC“

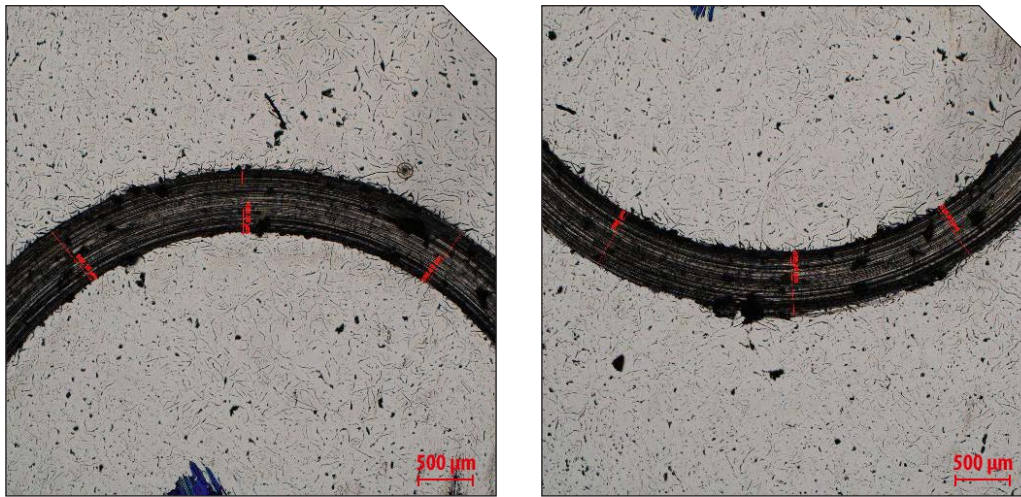
### Tribologický test při pokojové teplotě

Měření probíhalo za pokojové teploty při relativní vlhkosti 50%. Vzorky byly čištěny acetonem 60 s před testem. Ostatní parametry tribologického testu:

- $L = 10 \text{ N}$
- $r = 3,5 \text{ mm}$
- $n = 20\,000$  cyklů
- „PIN“ = ball  $\text{Al}_2\text{O}_3$



Graf. 1 - Opotřebení brzdových kotoučů, měřeno při pokojové teplotě



Obr. 4 - Stopa opotřebení kotouče TruBlue (vlevo) a VW (vpravo)

Opotřebení bylo vyhodnoceno z měřené šířky stopy opotřebení metodou dle ASTM G99-05 (2010). Každá stopa byla měřena ve 12 místech rozložených rovnoměrně po celém obvodu. Výrazné snížení opotřebení kotoučů značky TruBlue s kryogenním zpracováním je obvykle připisováno precipitaci velice jemných karbidů při „popouštění“ po kryogenním zpracování.

## 2.4 Popis materiálu – metalografie

Snímky dokumentují mikrostrukturu podeutektické litiny s lupínkovým grafitem. Lupínky jsou ve všech případech vyloučeny charakteristicky pro litinu s lupínkovým grafitem, což svědčí o dostatečné homogenitě výrobku. Zároveň je na snímcích patrné malé množství ředin (ve stejném množství u obou pozorovaných kotoučů).

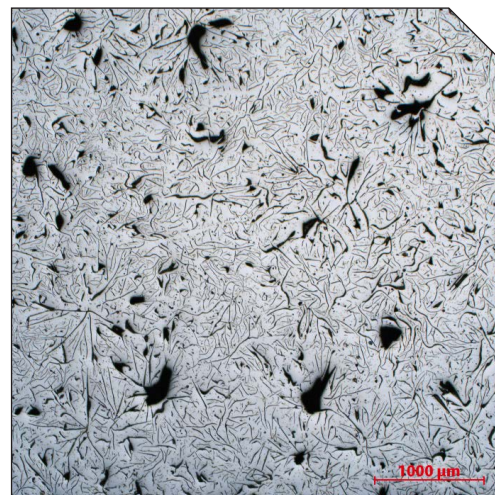
Pozorování v neleptaném stavu:

### Metalografie – kotouče TruBlue



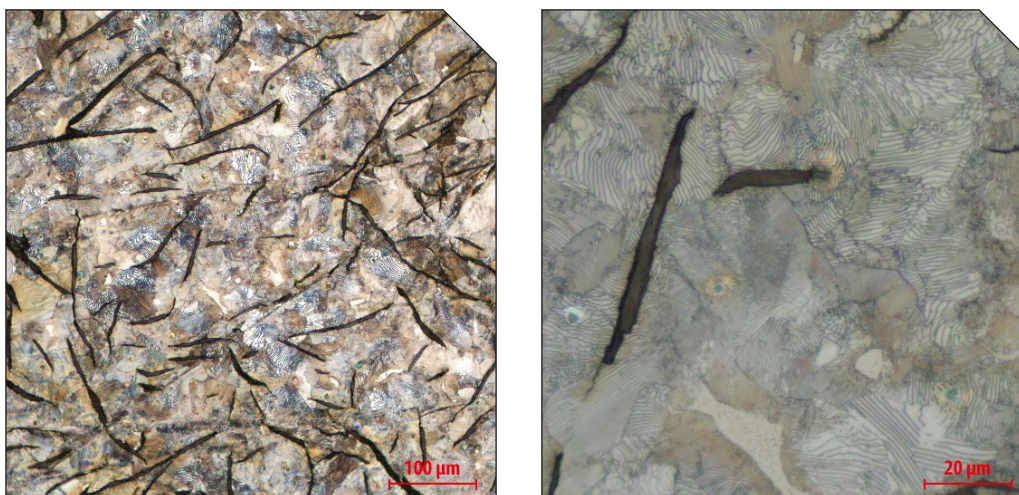
Obr. 5 - Rozložení lupínků grafitu u litiny s lupínkovým grafitem, kotouč TruBlue. Zvětšení 25x.

### Metalografie – kotouče VW



Obr. 6 - Rozložení lupínků grafitu u litiny s lupínkovým grafitem, kotouč VW. Zvětšení 25x.

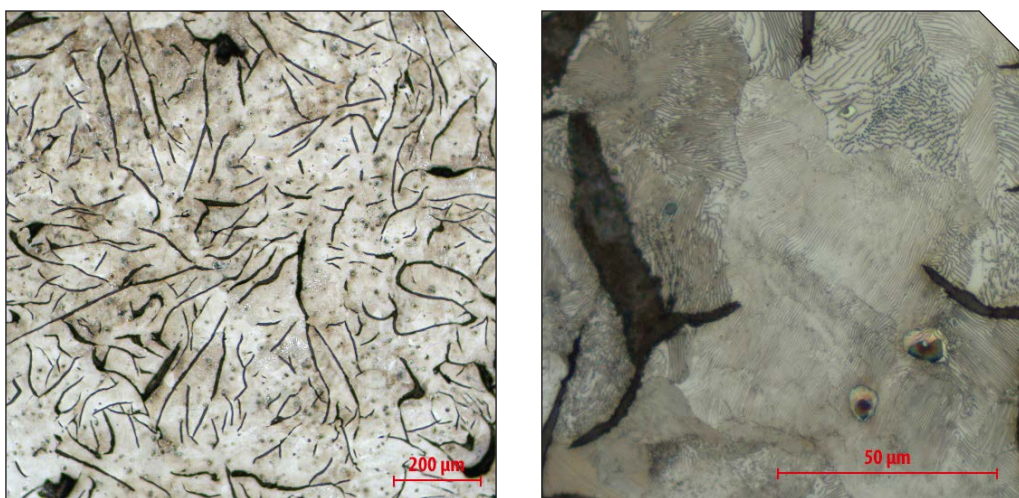
## Metalografie – kotouče TruBlue



Obr. 7 - Mikrostruktura brzdového kotouče TruBlue. Vlevo zvětšení 100x. Vpravo 1000x.

Mikrostruktura kotouče TruBlue se na světelném mikroskopu jeví totožně. Matrice je opět tvořena plně perlitickou maticí, ve které jsou uloženy relativně jemné lupínky grafitu. Perlit v matici je rovněž možné považovat za jemný. Oproti předchozím snímkům je zde ale zachyceno fosfidické eutektikum – tzv. steadit, který se vyskytuje po hranicích eutektických buněk. Přítomnost a rozložení steaditu (bílé oblasti na snímku) je velmi důležité pro odolnost proti otěru.

## Metalografie – kotouče VW



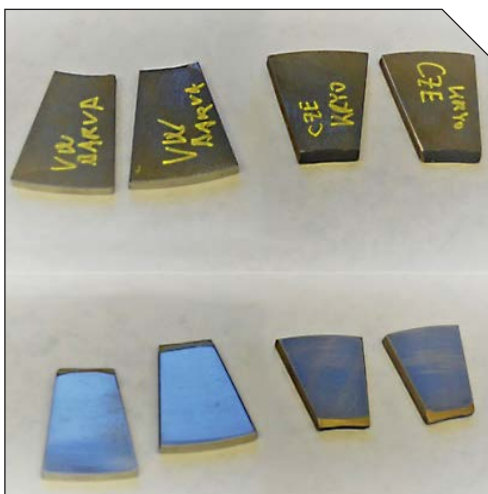
Obr. 8 - Mikrostruktura brzdového kotouče VW. Vlevo zvětšení 100x. Vpravo 1000x.

Mikrostruktura brzdového kotouče VW je tvořena plně perlitickou maticí, ve které jsou uloženy relativně jemné lupínky grafitu. Perlit v matici je rovněž možné považovat za jemný.

## 2.6 Korozní odolnost

### Dodané vzorky

Ke koroznímu testu byly dodány vzorky brzdových kotoučů. Vzorky byly označeny a na exponované straně broušeny na brusném papíru zrnitosti 800. Broušení bylo provedeno cca 5 min před vložením materiálu do korozní komory.



Obr. 9 - Testované vzorky

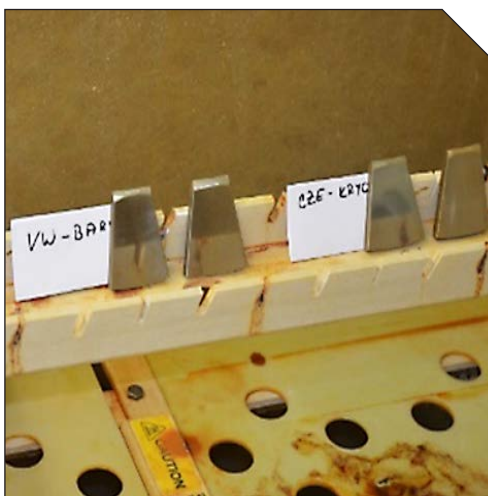
### Parametry korozního testu

Korozní test byl proveden v korozní komoře Q-FOG/CCT600, sériové číslo 12-3031-40-CT600. Test neutrální solnou mlhou byl proveden v souladu s normou ČSN EN ISO 9227. Parametry testu jsou uvedeny v Tab. 3. Test byl ukončen po 270 minutách expozice, kdy již bylo korozní napadení vzorků značné.

Tab. 3 - Parametry korozního testu

Koncentrace solného roztoku	5±1 %
Hodnota pH solného roztoku	6,5 – 7,2
Teplota ve zkušební komoře	35±2 °C
Spad roztoku (sběrač 80 cm <sup>2</sup> )	1,7 ml/h
Doba testu	270 min (4,5 h)

Umístění vzorků v korozní komoře je uvedeno na následujícím obrázku.



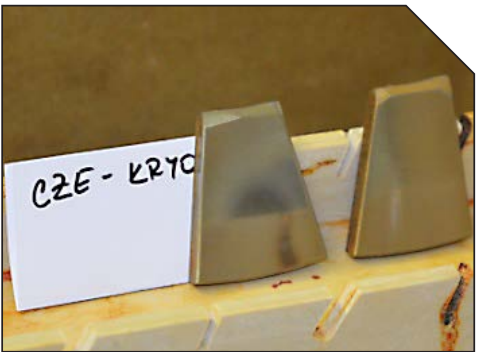
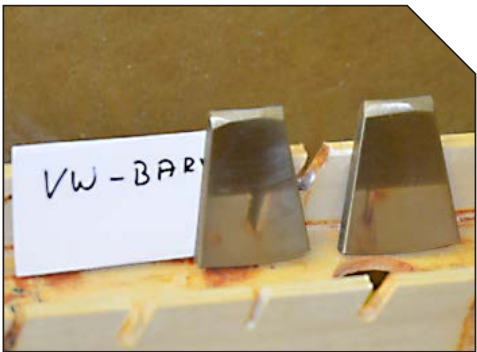
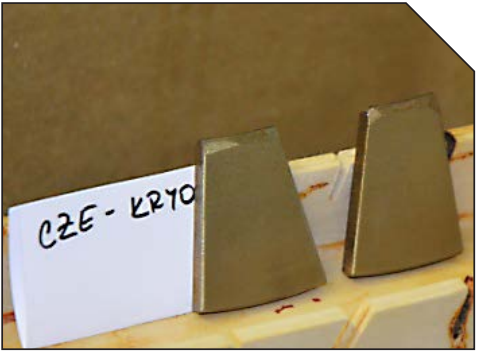
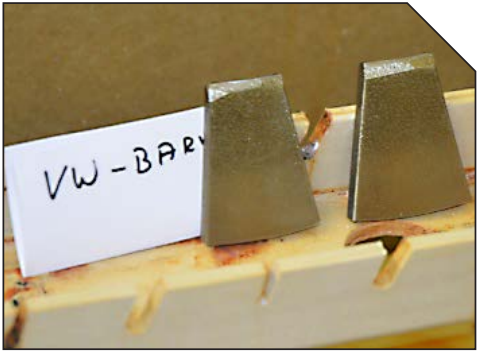

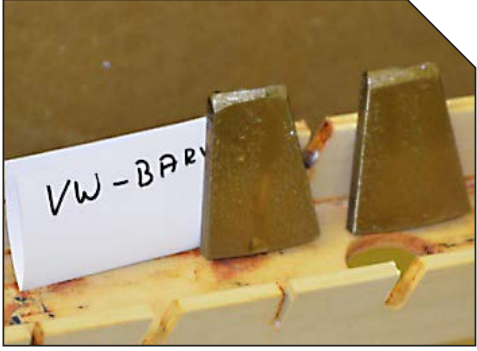

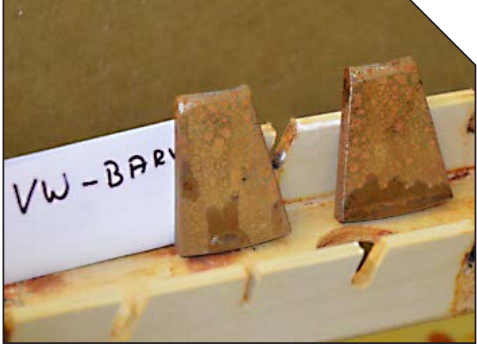

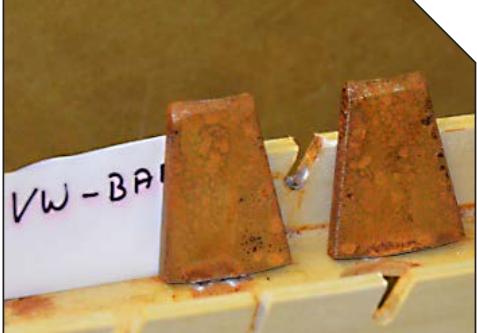
Obr. 10 - Umístění vzorků v korozní komoře

Vzorky byly pravidelně sledovány a hodnoceny vizuálně na přítomnost červené koroze.

## Výsledky



Průběh korozního napadení vzorků byl průběžně vizuálně sledován. Výsledky jsou shrnuty v Tab. 4.

Tab. 4 - Průběh korozního napadení v čase testu

0 min začátek testu		
3 min		
10 min		
35 min		
270 min konec testu		

Po ukončení testu byly vlhkým látkovým hadrem odstraněny korozní produkty a bylo vizuálně vyhodnoceno korozní napadení. Hodnocení bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 10289.

Tab. 5 - Hodnocení korozního napadení dle normy ČSN EN ISO 10289

Vzorek	Vzorek	Korozní napadení [% povrch]
TruBlue		80
VW		80

Korozní napadení jednotlivých vzorků má stejný charakter. Jedná se o rovnoměrnou korozi. Jiné formy koroze, např. bodová, nebyly pozorovány. Jednotlivé vzorky vykazovaly stejnou korozní odolnost.

Vzorky brzdových kotoučů byly testovány v neutrální solné mlze. Test probíhal 270 minut. Po této době došlo ke koroznímu napadení většiny povrchu. Jednalo se o rovnoměrnou korozi. Nerovnoměrné formy koroze nebyly pozorovány. Korozní napadení a míra napadení povrchu materiálů je u všech vzorků srovnatelná. Neliší se ani charakter korozního napadení.



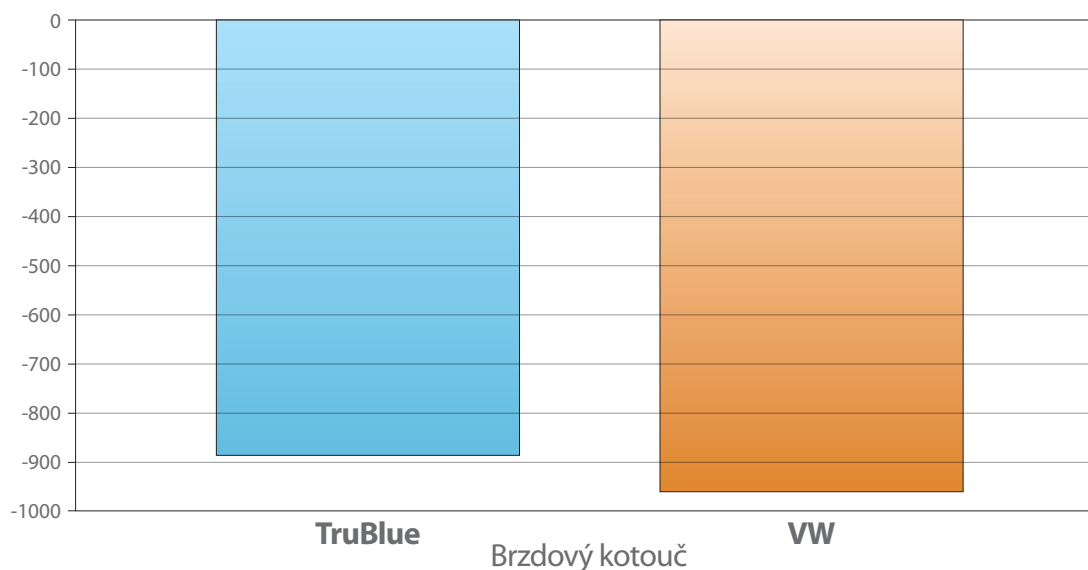
## 2.7 Impact test

Byly testovány vzorky brzdových kotoučů pomocí metody „Impact test“. Pomocí této metody lze prověřit odolnosti proti lokálnímu rázovému zatížení. Metoda je založena na definovaném opakovaném rázovém zatížení povrchu pomocí indentoru, který je nejčastěji ve formě kuličky (obvykle WC). Energie úderu je měřena pomocí piezoelektrického tenzometru značky Kistler. Díky opakovaným úderům je vytvořen kráter, který je vyhodnocen. Vyhodnocovaným výsledkem je velikost vzniklého kráteru. Zároveň je nutno poznamenat, že se jedná o zkoušku poměrovou, tedy absolutní velikost kráteru nemusí vypovídat o vysoké nebo nízké odolnosti, jelikož parametry zkoušky se mohou lišit. Lze říci, že vzorek, v němž byl vytvořen menší kráter, je odolnější proti lokálnímu rázovému zatížení. Důležité je zejména dodržení stejných okrajových podmínek. Síla úderu je veličina analyticky obtížně měřitelná. Vzhledem k tomu, že se jedná o jev vysoce dynamický, úder trvá příliš krátkou dobu, používá se jednotka daN, tj dynamický Newton. Síla úderu je snímána s frekvencí 17 tis/sec. Po upevnění vzorku na měřicí stůl bylo zahájeno měření. Počet úderů v jedné sérii byl proveden při 50 000. Byly provedeny dva na sobě nezávislé testy. Jako optimální síla úderu byla zvolena 600 daN. Výsledné velikosti kráterů jsou zdokumentovány v následující tab. 6. Všechny údaje jsou v  $\mu\text{m}$ . Vždy byly měřeny 2 na sobě kolmé rozměry a ty byly zaneseny do tabulky a zprůměrovány.

Tab. 6 - Výsledné hodnoty z měření tzv. Impact testem

	Velikost kráteru v $\mu\text{m}$	100 000
TruBlue	887	1358
VW	961	1335

### Impact test 50 000 cyklů



Graf. 2 - Impact test - výsledné hodnoty

Z výsledků je v případě testovaných 50 000 cyklů vidět mírný pokles opotřebení u kotoučů značky TruBlue.

### **3. Závěr**

- Z naměřených experimentů vyplývá vyšší odolnost proti opotřebení u brzdových kotoučů značky TruBlue. Dá se předpokládat, že odolnost proti opotřebení se bude zvyšovat s teplotou v místě kontaktu.
- Odolnost proti opakovanému dynamickému namáhání je vyšší u brzdových kotoučů značky TruBlue. Toto vyplývá z tzv. Impact testu.