

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

# **Nedestruktivní zkoušení karbonových materiálů jízdních kol**

Non-Destructive Testing of Carbon Materials  
for Bicycles

Student:

Bc. Marek Wilček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Wilček**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**  
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**  
Téma: **Nedestruktivní zkoušení karbonových materiálů jízdních kol  
Non-Destructive Testing of Carbon Materials for Bicycles**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Pro výrobu rámu jízdních kol se čím více používají uhlíkové kompozity. Při jejich používání může dojít k jejich poškození. V rámci následného reklamačního řízení musí výrobce zjistit, zda k poškození došlo vlivem uživatele nebo se jedná o výrobní vadu. Od této kvalifikace poškození se pak odvíjí i průběh reklamačního řízení. Vzhledem k tomu, že poškozené karbonové díly (rámy) je možné efektivně opravovat, je cílem, aby defektoskopie dílů byla nedestruktivní, aby nevznikaly přídavné náklady na opravu. Cílem práce je zjistit, která z dostupných nedestruktivních metod je pro zkoušení karbonových rámu nejefektivnější. Práce je tvořena ve spolupráci se společností Bike Fun International.

### Cíle práce:

- popis používaných způsobů výroby karbonových rámu
- srovnání nedestruktivních metod pro zkoušení karbonových materiálů
- praktické zkoušky nejvhodnějších nedestruktivních metod na reálných vzorcích
- návrh metodiky pro zkoušení karbonových materiálů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

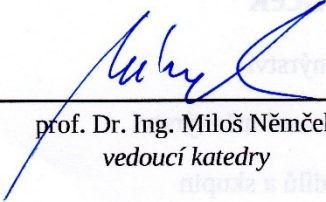
- KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- KREIDL, Marcel. *Ultrazvuková defektoskopie*. Praha: Starmans electronics, 2011. ISBN 978-80-254-6606-3.
- LEGENDRE, André. *Uhlíkové materiály: od černé keramiky k uhlíkovým vláknům*. Přeložil Jan JEHLIČKA. Praha: Informatorium, 2001. ISBN 80-86073-82-3.
- DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
- KŘÍŽ, Rudolf; Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1994, 254 s. ISBN 80-85827-58-1.
- MORAVEC, Vladimír; Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64 s. ISBN 80-248-0878-1.
- Firemní katalogy*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

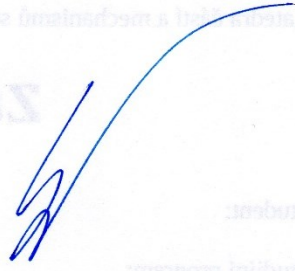
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Patriku Sniehoffovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a také za užitečné rady a připomínky.

## Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne ..... 21.5.2018 .....

.....  
podpis studenta

**Prohlašuji, že:**

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne ..... 21.5.2018 .....

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Wilček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Svornosti 47, Ostrava - Zábřeh

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

WILČEK Marek, *Nedestruktivní zkoušení karbonových materiálů jízdních kol : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2018, 47 s. Vedoucí práce: Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá nedestruktivními zkouškami karbonových materiálů jízdních kol. V úvodu je popsán řešený problém. Následně jsou popsány nejpoužívanější způsoby výroby karbonových rámců. Dále jsou popsány možné nedestruktivní zkoušky pro řešení daného problému. Pro potřeby ověření výsledků nedestruktivních zkoušek jsou provedeny zkoušky destruktivní. Následně jsou uvedeny realizované nedestruktivní zkoušky a jejich výsledky. Na závěr je zpracován návrh metodiky pro zkoušení karbonových materiálů.

**Klíčová slova:** nedestruktivní, nedestruktivní zkoušení, zkouška, karbon, rám, karbonový rám, kolo, jízdní kolo, bicykl

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

WILČEK Marek, *Non-Destructive Testing of Carbon Materials for Bicycles : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2018, 47 s. Thesis head: Ing. Patrik Sniehotta Ph.D.

This master thesis deals with non-destructive testing of carbon materials for bicycles. In the introduction is described problem. Thereafter are described the most commonly used methods of carbon frame production. Possible non-destructive tests to solve problem are also described. To check the results of non-destructive tests are implemented destructive tests. Subsequently, the non-destructive tests are performed and their results are presented. Finally is elaborated a proposal for a methodology for the testing of carbon materials.

**Key words:** non-destructive, non-destructive testing, test, carbon, frame, carbon frame, bike, bicycle

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Výroba karbonových rámu .....	9
2.1 Vlepování karbonových profilů do kovových spojek .....	9
2.2 Vlepování karbonových profilů do karbonových spojek .....	10
2.3 Metoda EPS .....	11
3. Možné nedestruktivní zkoušky .....	13
3.1 Rentgen .....	13
3.2 Rentgen s kontrastní látkou .....	13
3.3 Výpočetní tomografie – CT .....	14
3.4 Tlaková zkouška .....	14
3.5 Ultrazvuk .....	15
3.6 Aktivní termografie – IRNDT .....	16
3.7 Vířivé proudy .....	17
4. Destruktivní zkoušky pro kontrolu výsledků .....	19
4.1 Penetrační zkouška .....	19
4.2 Digitální mikroskop .....	20
5. Provedené nedestruktivní zkoušky .....	27
5.1 Rentgen .....	27
5.2 Výpočetní tomografie .....	31
5.3 Vířivé proudy .....	34
6. Návrh metodiky pro zkoušení karbonových rámu .....	41
7. Závěr .....	44
8. Literatura .....	45
9. Seznam příloh .....	47

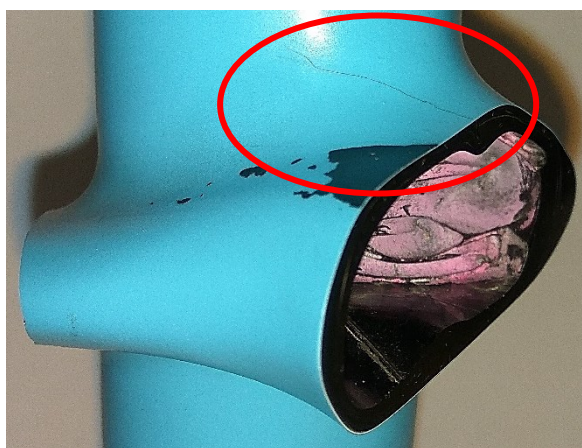
## 1. Úvod

Pro výrobu rámu jízdních kol se v posledních letech čím dál častěji využívá uhlíkových kompozitů. Během používání karbonového rámu může dojít k jeho poškození, jak vinou uživatele, tak v důsledku výrobní vady. Jelikož je karbonový rám pružnější než klasický hliníkový, je při výskytu praskliny na povrchu rámu obtížné zjistit, zda jde o vadu laku nebo strukturální vadu rámu. Lak totiž nemusí být tak pružný jako karbonový rám. U karbonových rámu se nemusí jednat jen o výskyt vad v podobě prasklin, ale také vad v podobě delaminace jednotlivých vrstev materiálu. Vzhledem k možnosti oprav karbonových rámu je důležité posoudit charakter vady a pro účely reklamačního řízení je potřeba zjistit příčinu vady či poškození. Pro tyto účely je nejlepším řešením nedestruktivní zkoušení, které nezvyšuje náklady na případnou opravu rámu.

Nedestruktivní zkoušky budou prováděny na rámu s vyskytující se prasklinou v místě napojení horní rámové trubky na trubku sedlovou. Jedná se o rám Superior XP 969 2017 a tento rám je zobrazen na obrázku 1.1. Zmíněná prasklina je vyobrazena na obrázku 1.2.



Obrázek 1.1 – Rám Superior 969 2017 [1]



Obrázek 1.2 – Prasklina na rámu



## 2. Výroba karbonových rámu

Způsobů výroby karbonových rámu je několik a výrobci volí způsob výroby podle určení rámu a také podle požadavků na výrobní náklady.

### 2.1 Vlepování karbonových profilů do kovových spojek

Při tomto způsobu výroby karbonových rámu jsou využity kovové spojky vyrobené především z hliníku či titanu. Tyto spojky jsou tvarovány tak, aby bylo možné do nich vlepít jednotlivé rámové trubky, které mohou být různých profilů.



*Obrázek 2.1 – Kovová spojka s karbonovými profily [2]*

Tento způsob výroby je výhodný pro jeho široké možnosti jednoduché změny geometrie rámu. Tímto způsobem lze také vyrobit rám na míru. Povrch vlepaných trubek musí být opracován tak, aby byl vhodný pro lepení epoxidovým lepidlem. Oprava takovýchto rámu není náročná. Ovšem výrobní náklady jsou zde poměrně vysoké a pro výrobu rámu na míru je zde potřeba dostatečně kvalifikovaného personálu.

Jednotlivé díly musí být vyrobeny s dostatečnou přesností, jelikož musí být dosaženo velmi malé vůle. Tato vůle je v desetinách milimetru a je důležitá, aby nedošlo k vytvoření příliš silné vrstvy lepidla. Avšak vůle nesmí být příliš malá, došlo by k vytlačení lepidla ze spoje v důsledku možného přesahu.

## 2.2 Vlepování karbonových profilů do karbonových spojek

V případě tohoto způsobu výroby jsou spojky vyráběny ve speciálních formách. Pro výrobu těchto spojek je důležitý výběr kvalitního polotovaru ve formě tkaniny z uhlíkových vláken. Horší materiál má za následek nutnost vyrobit tlustší spojku, která ovšem ani tak nedosahuje charakteristik spojky z kvalitnějšího materiálu.



*Obrázek 2.2 – Karbonová spojka s karbonovými profily [3]*

Tento způsob je výhodnější pro sériovou výrobu, jelikož se ve výsledku jedná o pouhé slepování jednotlivých dílů ve speciálních přípravcích. Díky tomu je dosaženo nižších výrobních nákladů. Personál je zde ovšem limitován dobou schnutí lepidla v případě, že je použito dvousložkové epoxidové lepidlo.

Nevýhodou tohoto způsobu výroby je nemožnost vyrobit rám na míru. Výhodou je sériovost výroby a snížení nároků na personál.

## 2.3 Metoda EPS

Tento způsob je založen na využití formy ve tvaru vnitřku rámu. Tato forma bývá vyrobena z expandovaného polystyrenu – EPS. Forma z EPS je potažena latexem. V některých případech je vnitřní forma tvořena pouze latexovým balónekem.



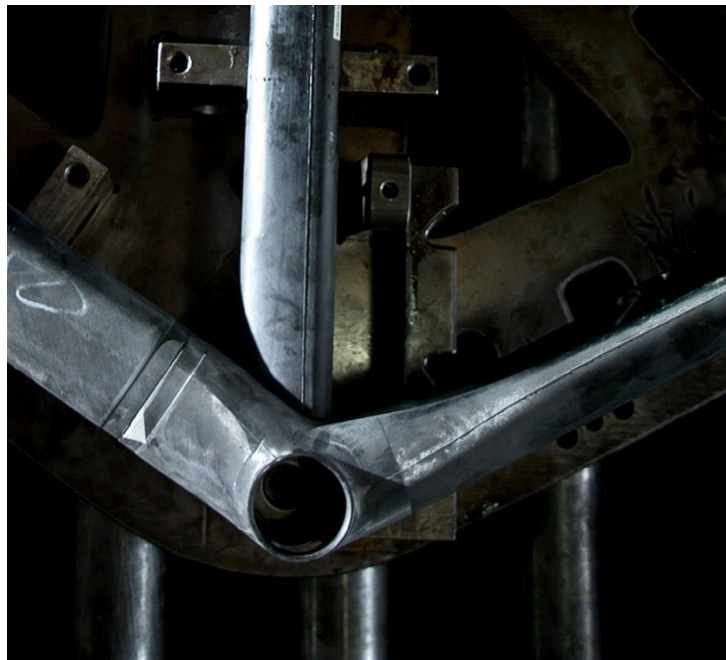
*Obrázek 2.3 – EPS vnitřní forma rámu [4]*

Následně jsou na formu z EPS, případně na nafouknutý balónek, vrstveny jednotlivé části rámu. Tyto části jsou tvořené uhlíkovou tkaninou, která má specifický tvar podle toho, na jaké místo rámu je určena. Tímto způsobem dojde k vytvoření obvykle 5 až 6 vrstev tkaniny, přičemž každá vrstva může být tvořena jiným typem tkaniny. Takto připravený celek se poté vloží do ocelové formy, která zajistí vnější tvar rámu.



*Obrázek 2.4 – Vnitřní forma s tkaninou ve vnější formě [4]*

Po uzavření formy se vnitřní forma nafoukne tlakem okolo 12 barů a celek se zahřeje na předem stanovenou teplotu. Poté následuje doba, při které dojde k vytvrzení. Po vytvrzení jsou zbytky vnitřní formy odstraněny a důležité části rámu jsou opracovány. Rám je dále připraven na lakování a poté na osazení jednotlivými komponenty.



*Obrázek 2.5 – Část rámu vyrobená tímto způsobem [4]*

Tento způsob výroby je sériový a umožňuje kombinovat různé typy uhlíkových tkanin a docílit tak požadovaných vlastností a charakteristik rámu. Jsou však kladeny vyšší nároky na personál, jelikož tkaniny musí být skládány přesně.

### 3. Možné nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky slouží ke zjištění vnitřní struktury a vlastností materiálu. V této kapitole uvádím nedestruktivní zkoušky, které připadají v úvahu pro řešení daného problému. Z těchto možných nedestruktivních zkoušek poté vyberu ty, které jsou pro řešení tohoto problému nejvhodnější.

#### 3.1 Rentgen

Metoda nedestruktivní zkoušky rentgenem je jedna z nejdostupnějších a cenově nejpřívětivějších nedestruktivních metod zkoušení. Při této metodě je možné pracovat jak se stacionárními, tak s mobilními rentgeny. Omezením jsou zde většinou rozměry rentgenovaného tělesa, jelikož zařízení nemusí být konstruováno pro rozměrná tělesa.

Princip této metody spočívá ve vyzáření vysoce pronikavého elektromagnetického záření, které proniká zkoumaným objektem. Záření je objektem do určité míry pohlcováno a tím vzniká výsledný obraz. To jak moc je záření objektem pohlceno ovlivňuje jeho hustota. Čím vyšší hustotu má zkoumaný objekt, přesněji materiál, ze kterého je objekt vyroben, tím více je elektromagnetické záření pohlceno. Zde může nastat problém při zkoumání karbonových materiálů, jelikož uhlíkové kompozity mají nízkou hustotu. Vlivem toho nemusí být dosaženo optimálního výsledného obrazu.

Dalším problematickým faktorem může být rozlišení rentgenu. Toto lze do jisté míry eliminovat snímáním menšího vzorku, protože čím menší vzorek je snímán, tím lepší je dosažené rozlišení. Ovšem při nedestruktivním zkoušení karbonového rámu není snímání příliš malého vzorku možné.

Rentgenová defektoskopie je ve strojírenství používána například k analýze svarů.

#### 3.2 Rentgen s kontrastní látkou

Zde se jedná o stejný princip jako v případě klasické rentgenové zkoušky. Jediným rozdílem je aplikace kontrastní látky do materiálové vady, například praskliny. Kontrastní látka má vyšší hustotu než materiál zkoušeného objektu. Tato vyšší hustota způsobí, že na výsledném snímku je místo vyplněné kontrastní látkou mnohem lépe viditelné a lze jej tak snadněji identifikovat.

Je však potřeba, aby kontrastní látka byla aplikována v dostatečném množství a vyplnila tak co největší objem vady. Čím větší množství kontrastní látky je do vady aplikováno, tím

lepší je její zobrazení na výsledném snímku. Příliš malé množství kontrastní látky nemusí zajistit požadovaný efekt.

Omezujícím faktorem jsou zde rozměry vady, které nemusejí být dostatečné pro absorbování dostačujícího množství kontrastní látky.

Jako kontrastní látky se nejčastěji používají jodové a baryové tekutiny, které zvyšují absorpci rentgenového záření.

### **3.3 Výpočetní tomografie – CT**

Metoda počítačové tomografie je hůře dostupná. Zpracování a analýza výsledků může být zdlouhavá. Je oproti ultrazvuku a rentgenu finančně náročnější.

Princip metody je takový, že zkoumaný objekt je ustaven a zasunut do přístroje. Poté jej po kruhové trajektorii obíhá zařízení vyzařující rentgenové záření a detektory, které toto záření přijímají. Těleso je takto nasnímano ve velkém množství rovin a v každé rovině je nasnímano z velkého množství úhlů. Výkonný počítač posléze vyhodnotí rozdíl mezi intenzitou záření výstupního a přijatého v každé z těchto rovin a ze všech úhlů. Výsledkem je 3D projekce zkoumaného objektu.

Nevýhodou této metody může být nedostatečný počet rovin, což může zapříčinit neodhalení příliš malé vady. Dále nemusí být citlivost přístroje dostatečná pro odhalení malé vady.

Je zde možnost využití metody nanoCT, která dokáže odhalit i vady o velikosti několik mikrometrů. Ovšem tato metoda je velmi špatně dostupná, a je finančně velice nákladná. Sken vzorku a vyhodnocení dat je časově náročné a trvá 4 až 12 hodin. Přičemž cena za hodinu tohoto skenu se pohybuje okolo 3 000 Kč. [5]

### **3.4 Tlaková zkouška**

Tato metoda je také velmi dostupná a cenově výhodná. Její provedení ale nemusí být vždy možné, nebo může být velmi komplikované.

Principem této zkoušky je přivedení tlakového vzduchu do tělesa. Tlak vzduchu je potřeba volit s ohledem na materiál a konstrukční provedení objektu, do kterého je vzduch přiváděn. Při nevhodné volbě tlaku může dojít k poškození objektu, nebo nemusí být tlak dostatečný k tomu, aby došlo k jeho poklesu vlivem strukturální vady. Právě pokles tlaku je při této zkoušce sledován.

Během tlakové zkoušky musí být zajištěno, že vzduch se dostane do patřičných míst. Zde záleží na vnitřní struktuře zkoušeného objektu. Dále je potřeba objekt dokonale utěsnit, aby výsledek zkoušky nebyl zkreslen. Velmi důležitou a omezující podmínkou pro provedení této zkoušky je, že vada musí být průchozí skrz celou tloušťku stěny objektu. Pokud tomu tak není, k žádnému poklesu tlaku vlivem vady nedojde a vada tak nebude správně identifikována a posouzena.

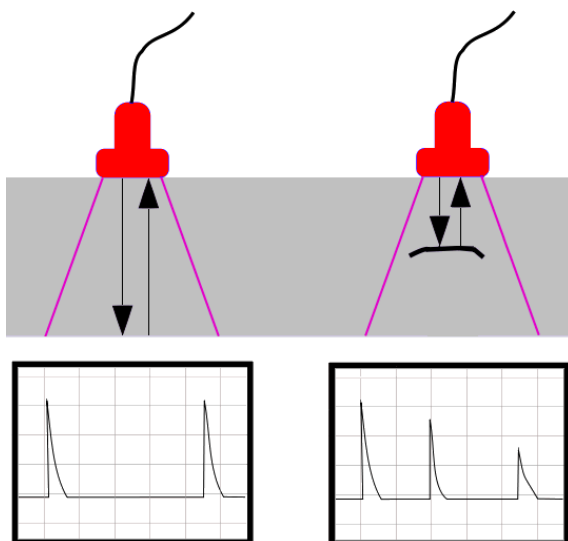
Při využití této zkoušky na karbonovém rámu by musel být tlak vzduchu maximálně v řádu jednotek barů. Při vyšším tlaku je zde riziko poškození rámu.

### **3.5 Ultrazvuk**

Metoda ultrazvukové defektoskopie je také velmi často používaná. Hlavní výhodou, oproti například metodě rentgenové, je zde absence omezení rozměry zkoušeného objektu. Při této metodě stačí přístup pouze k vnější části objektu. Výsledky jsou u této metody k dispozici okamžitě, což může být podstatnou výhodou. Tato metoda je vhodná pro analýzu vad povrchových, ale také vnitřních, a to i hlouběji v materiálu. Lze také poměrně přesně odhadnout lokalizaci a velikost vady. Příprava ultrazvukové defektoskopie je jednoduchá a výsledky je možné také obrazově zpracovat.

Principem této metody je použití vysokých akustických frekvencí, které slouží k analýze materiálových vlastností a identifikaci vad. K odrazu ultrazvukových vln může dojít na stěnách objektu, ale také právě v dutinách či prasklinách. Pro kvalitní přenos akustických vln musí být použito přenosové médium. Jako přenosové médium se nejčastěji používá olej, voda či glycerin. [6]

Znázornění možností odrazu ultrazvukových vln je na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 – Odrazy ultrazvukových vln [7]

Výsledky této metody mohou být v případě zkoušení karbonových rámu velmi snadno zkrešleny. Jedná se především o zkrešlení vlivem tloušťky stěny rámu, která nemusí být vždy konstantní. Eliminovat toto zkrešlení může být bez znalosti vnitřního povrchu rámu velmi komplikované. Nabízí se zde možnost kombinovat výsledky rentgenové zkoušky s ultrazvukem, jelikož rentgen do jisté míry poskytuje informace o vnitřním povrchu rámu.

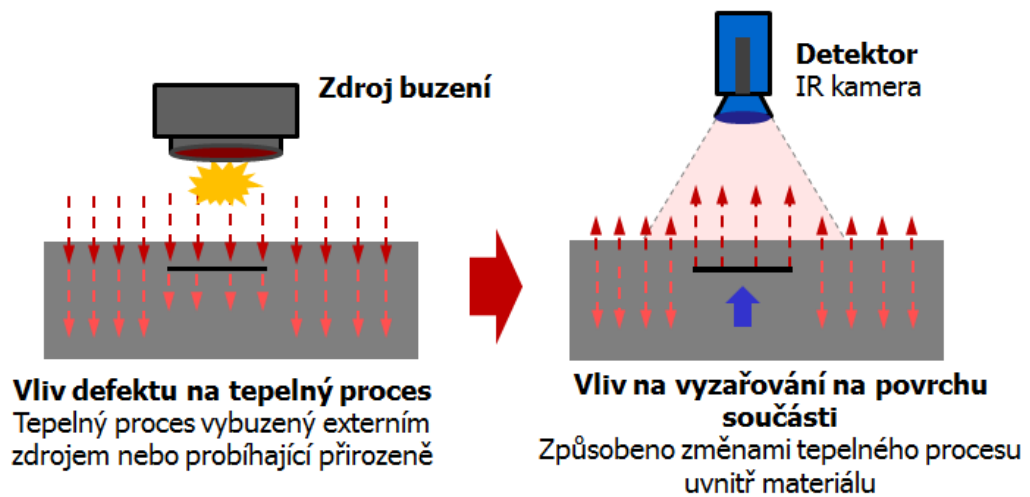
### 3.6 Aktivní termografie – IRNDT

Jedná se o metodu nedestruktivního infračerveného testování. Tato metoda je poměrně moderní a je vhodná pro analýzu povrchových vrstev nebo tenkostěnných objektů z různých materiálů. Touto metodou je možné odhalit vnitřní vady materiálu, jako jsou trhliny, dutiny či nehomogenita.

Metoda je založena na tepelné excitaci materiálu a na sledování jeho odezvy vysoce citlivou infračervenou kamerou. Kamera musí být velice citlivá, jelikož navýšení teploty materiálu vlivem vnesení energie bývá v desetinách až jednotkách stupňů Celsia. Materiálové vady jsou identifikovány, pokud se jejich tepelné vlastnosti liší od tepelných vlastností základního materiálu. Maximální hloubka detekce je několik milimetrů a prostorové rozlišení začíná obvykle okolo jednoho milimetru. V případě použití speciálního vybavení může být prostorové rozlišení lepší, ale v případě sledování větších ploch může být výrazně horší. Vyhodnocení výsledků je prováděno vizuálně. [8] [9]

Princip této metody je zobrazen na obrázku 3.2.





Obrázek 3.2 – Princip aktivní termografie [8]

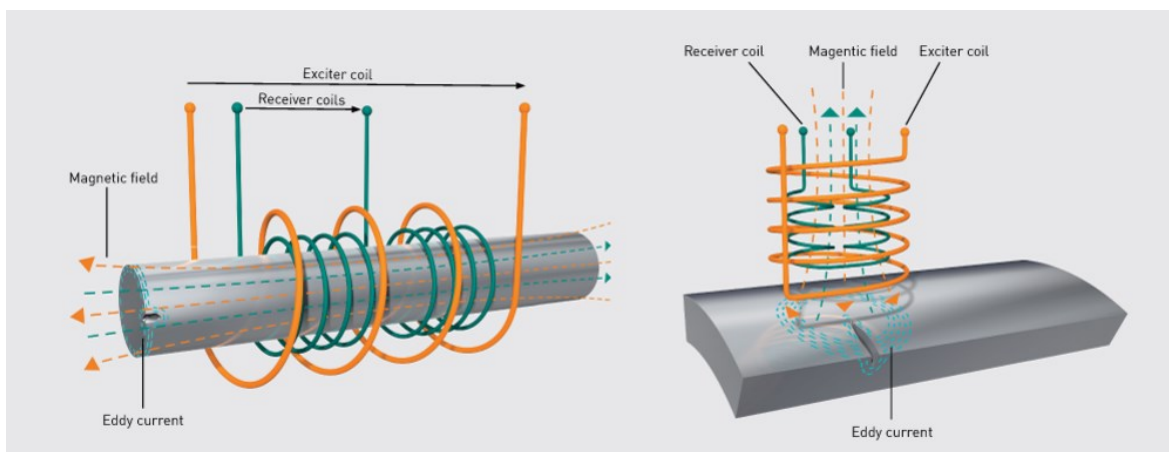
V případě použití této metody na zkoušení karbonových rámců není jisté, zda se podaří identifikovat velmi malé vady, jejichž rozměry lze předpokládat v řádech mikrometrů.

Nevýhodou je zde, oproti například rentgenu či ultrazvuku, potřeba vysoce citlivého termovizního vybavení, důsledkem čehož není tato metoda až tak dostupná.

### 3.7 Vířivé proudy

Touto metodou je možné identifikovat povrchové i podpovrchové vady. Metoda je založena na principu elektromagnetické indukce. Během zkoušky je využito vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, do kterého je umístěn zkoumaný předmět. Zkoumaný předmět musí být elektricky vodivý, aby se v něm začaly indukovat vířivé proudy. Velikost a rozložení těchto vířivých proudů je mapováno snímačem, který je tvořen indukčními cívkami. Případné vady lze identifikovat na základě změn magnetického pole ve zkoumaném předmětu. Snímače jsou také citlivé na změnu elektrické vodivosti.

Na obrázku 3.3 je zobrazena funkce této metody.



Obrázek 3.3 – Metoda vířivých proudů [10]

Pro účely nedestruktivního zkoušení karbonových materiálů je tato metoda vhodná, protože uhlíková vlákna jsou elektricky vodivá.

Jelikož je touto metodou možné zjišťovat tloušťky nevodivých vrstev, je velmi pravděpodobné, že poškození v laku bude možné rozeznat od poškození, které zasahuje do materiálu rámu.

V případě nedestruktivního zkoušení karbonového rámu jízdního kola je velkou výhodou této metody, že rám nemusí být odstrojen. Díky tomu může být využití této metody jak časově, tak ekonomicky výhodné.

## 4. Destruktivní zkoušky pro kontrolu výsledků

Pro ověření dat, která budou získána nedestruktivními zkouškami, jsem se rozhodl provést také zkoušky destruktivní. Cílem těchto zkoušek je s jistotou určit charakter praskliny. Zkoušky byly provedeny na vzorku vyřezaném z rámu a nebylo by možné je provést na rámu jako celku, proto je zde uvádím jako zkoušky destruktivní.

### 4.1 Penetrační zkouška

Charakter praskliny byl zjišťován na ploše řezu kolmé na směr šíření praskliny. Pokud se jedná o prasklinu v materiálu, a nejen v laku, penetrační kapalina by měla prasklinu na této ploše zobrazit.

Na obrázku 4.1 je aplikace penetrační kapaliny na vzorek rámu v místě praskliny.



*Obrázek 4.1 – Aplikace penetrační látky*

Na tomto obrázku je dobře patrné místo výskytu praskliny a také to, že penetrační kapalina vniká do praskliny. Po uplynutí penetračního času byla penetrační kapalina z povrchu odstraněna. Dále bylo možné aplikovat vývojku pro zobrazení penetrační kapaliny absorbované prasklinou. Vzorek po nanesení vývojky je zobrazen na obrázku 4.2.



*Obrázek 4.2 – Vzorek po nanesení vývojky*

Na obrázku je viditelné velké množství penetrační kapaliny. Penetrační kapalina je viditelná také v místě vyústění praskliny a je zde náznak toho, že prasklina může být v materiálu. Bohužel vzhledem k hrubému povrchu této plochy jsem nebyl schopen s jistotou určit, zda se opravdu jedná o prasklinu v materiálu, nebo zda jde jen o vryp vzniklý řezem horní rámové trubky.

## **4.2 Digitální mikroskop**

Jako další destruktivní metodu jsem zvolil analýzu praskliny za využití digitálního mikroskopu. I zde probíhala analýza na vzorku vyřezaném z rámu. Zkoumáno bylo místo vyústění praskliny na ploše řezu horní rámové trubky.

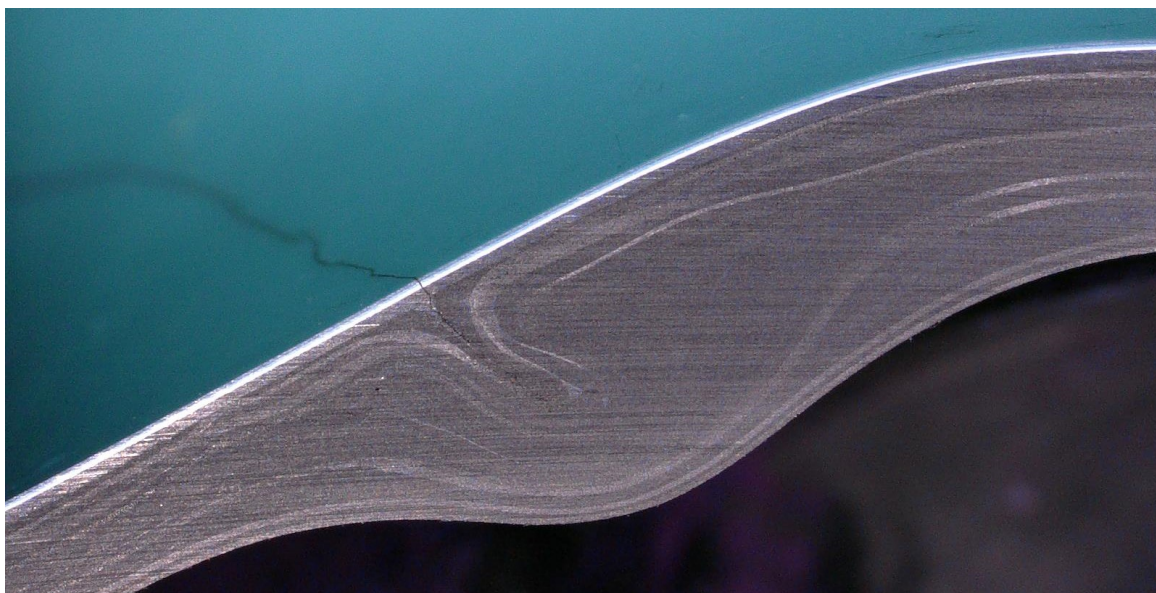
Při této analýze byl využit digitální mikroskop od společnosti KEYENCE model VHX-5000. Mikroskop byl osazen objektivem VH-Z100UR. Sestava tak umožňovala až tisícínásobné zvětšení. Díky možnosti takto velkého zvětšení se podařilo zobrazit i ty nejmenší detaily. Na obrázku 4.3 je fotografie dané sestavy mikroskopu včetně vzorku rámu z průběhu analýzy.



*Obrázek 4.3 – Digitální mikroskop KEYENCE VHX-5000*

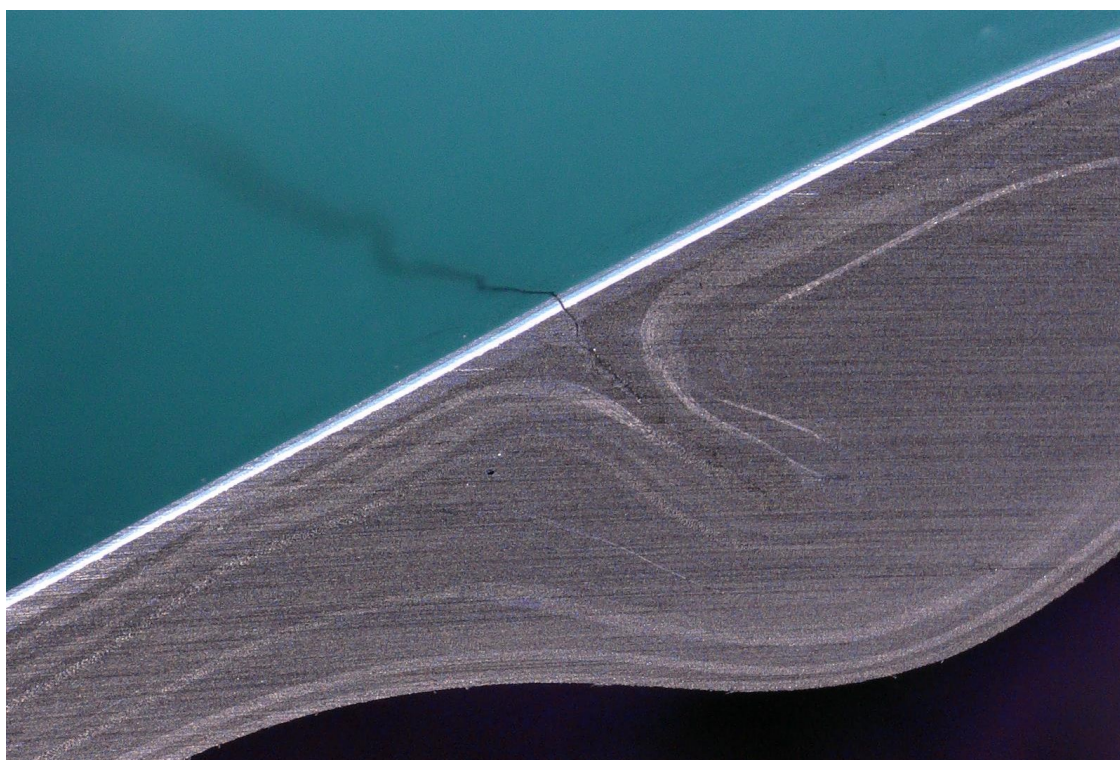
Při prvním pohledu na místo očekávaného výskytu praskliny se zdálo, že se jedná pouze o prasklinu v laku, která nezasahuje do samotného materiálu rámu. Avšak povrch plochy řezu byl natolik hrubý, že nebylo možné prasklinu dostatečně zaostřit a s jistotou říci, zda je opravdu jen ve vrstvě laku. Z tohoto důvodu byla plocha řezu vyleštěna, což následně umožnilo dokonalé zaostření zkoumaného místa.

Pohled na zkoumané místo, při již vyleštěné ploše, přinesl důležitá zjištění. Podařilo se zobrazit nejen celou prasklinu, ale také strukturu materiálu.



*Obrázek 4.4 – Místo vyústění praskliny*

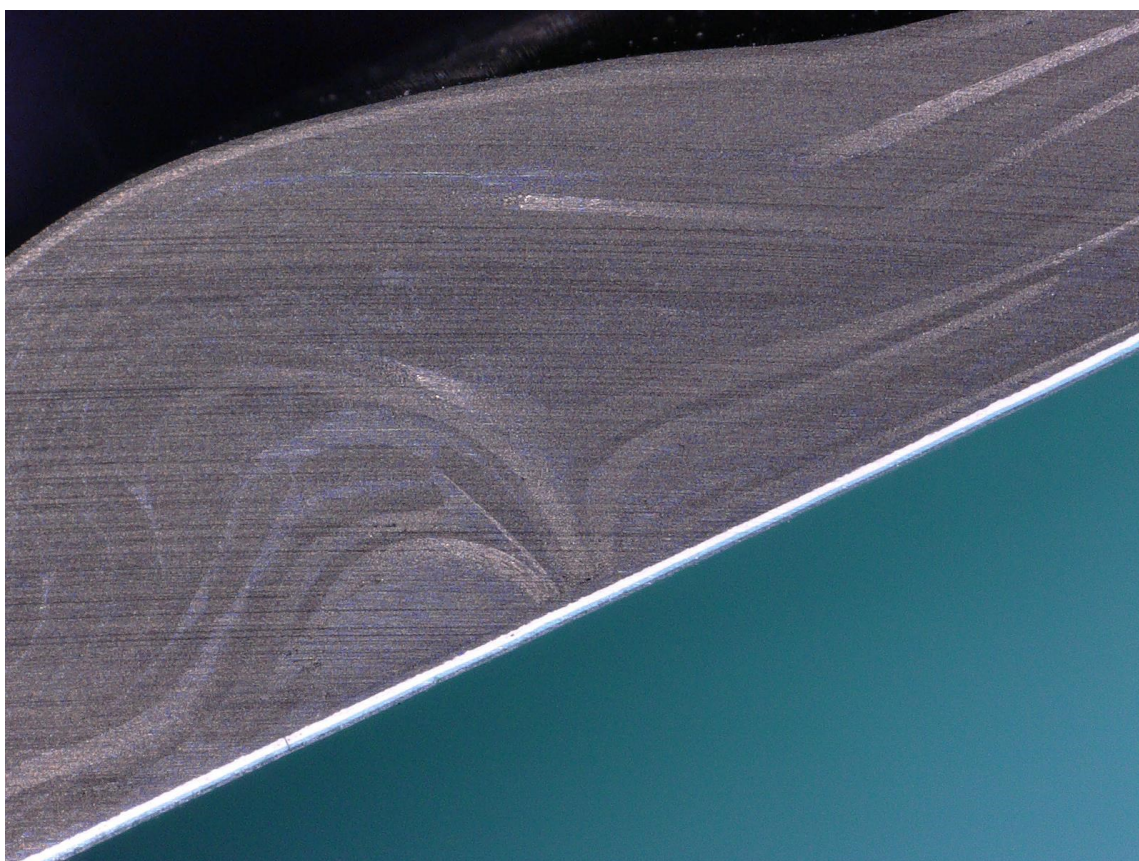
Na obrázku 4.4 je dobře viditelné, že prasklina zasahuje podstatně hlouběji do materiálu a není tedy pouze ve vrstvě laku, jak se zdálo při prvním pohledu. Zároveň je zde velmi dobře viditelná deformace jednotlivých vrstev uhlíkových vláken v okolí praskliny. Toto je detailněji zobrazeno na obrázku 4.5.



*Obrázek 4.5 – Detailní pohled na okolí praskliny*

Jak je patrné, prasklina je v místě, které má o poznání větší tloušťku. V tomto místě také došlo k deformaci vrstev materiálu, a to do tvaru podobnému písmenu U. Je velice pravděpodobné, že v důsledku této materiálové vady docházelo v tomto místě ke značné koncentraci napětí, což vedlo až ke vzniku této praskliny. Tato vada vznikla pravděpodobně špatným vrstvením materiálu. To také proto, že se jedná o místo napojení horní rámové trubky a zadní stavby na trubku sedlovou. Toto místo je tvarově velmi komplikované a je tedy možné zde předpokládat větší množství podobných vad.

Při zkoumání zbylých částí plochy řezu byla objevena další místa s výskytem vad. Jedním z takovýchto míst byla oblast spodní části této rámové trubky, kde byla objevena vada identická jako v místě praskliny. Zde již zřejmě nedocházelo k tak vysoké koncentraci napětí a prasklina zde nevznikla. Zmíněné místo je zobrazeno na obrázku 4.6.

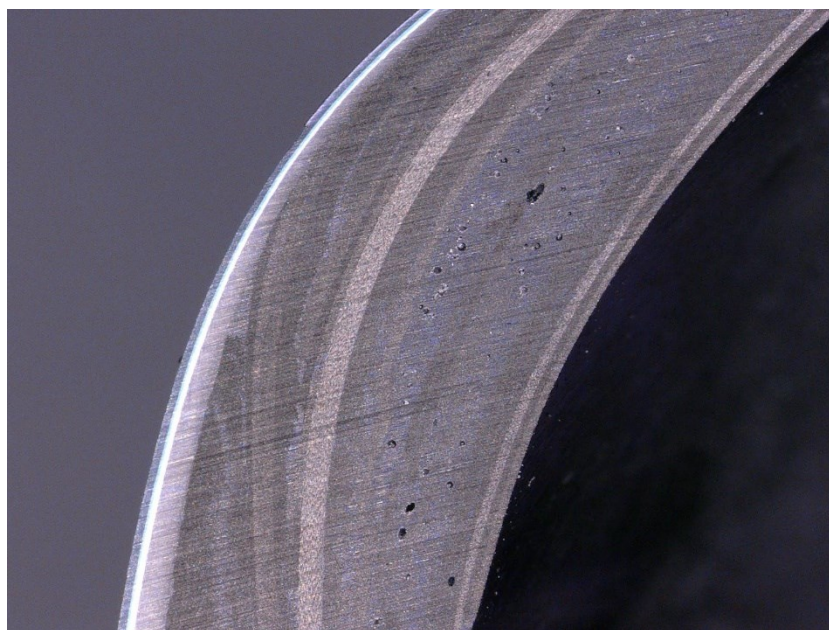


*Obrázek 4.6 – Deformace vrstev na spodní straně trubky*

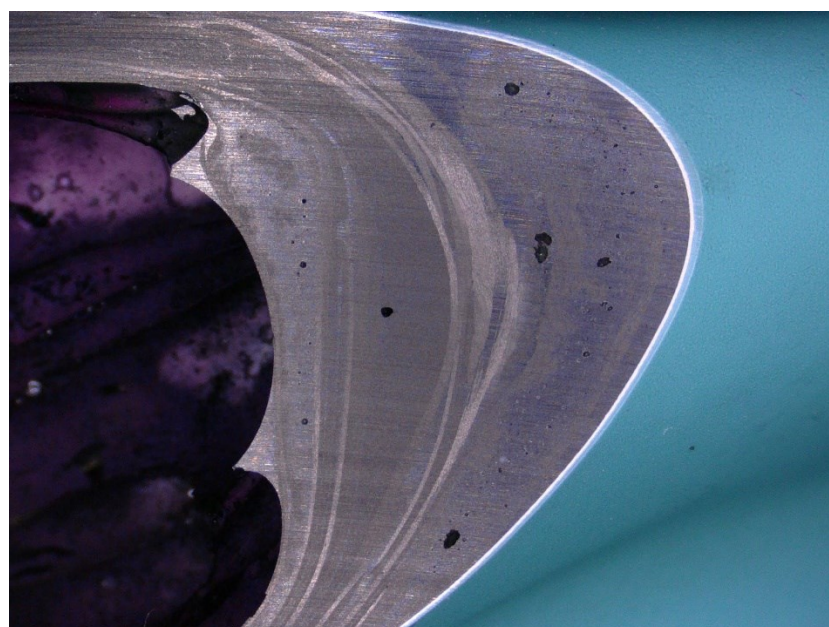
K menší koncentraci napětí v tomto místě docházelo také proto, že deformace do tvaru písmene U zde není tak výrazná jako v místě praskliny.

Na zkoumané ploše byla také nalezena místa s výskytem poměrně velkého množství vzduchových bublin, které se během výroby nepodařilo odstranit. Některé z bublin je možné

na vyleštěné ploše odhalit i pouhým okem bez použití mikroskopu. Na základě toho je možné předpokládat výskyt i ještě větších vzduchových bublin v těchto místech blíže k sedlové trubce. Zmíněná místa se vzduchovými bublinami lze vidět na obrázcích 4.7 a 4.8.



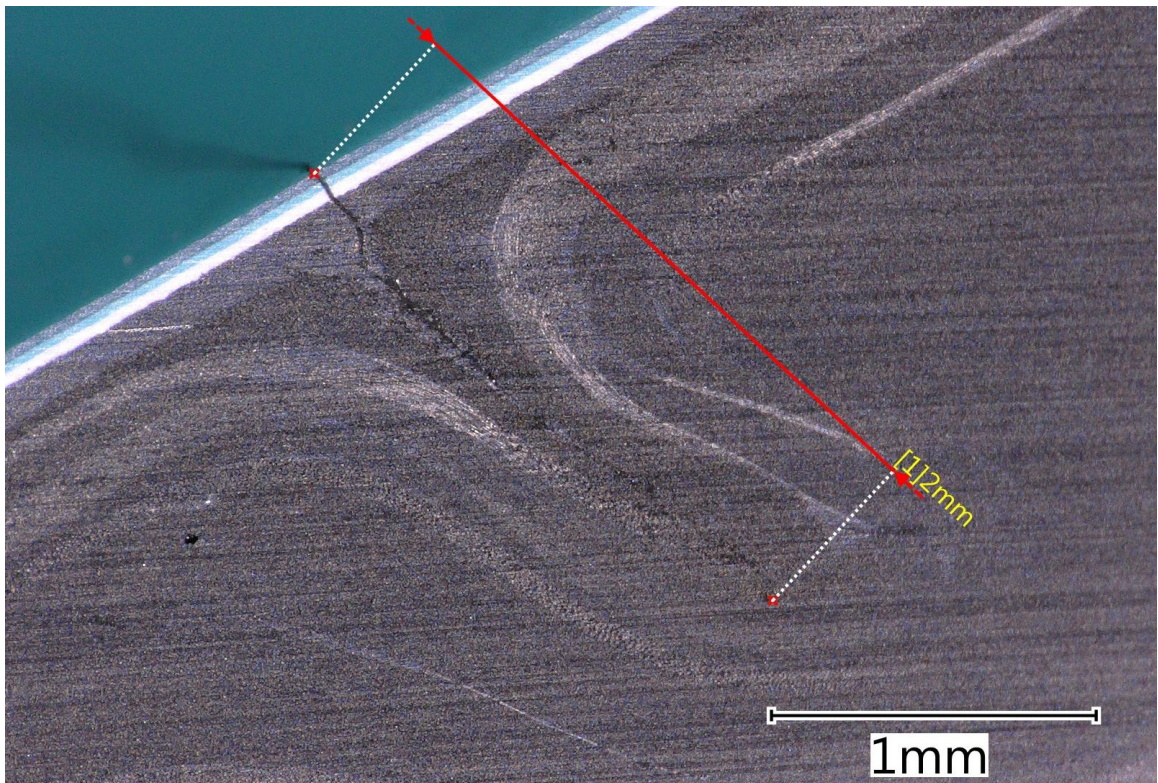
*Obrázek 4.7 – Vzduchové bubliny v materiálu*



*Obrázek 4.8 – Vzduchové bubliny viditelné i bez mikroskopu*

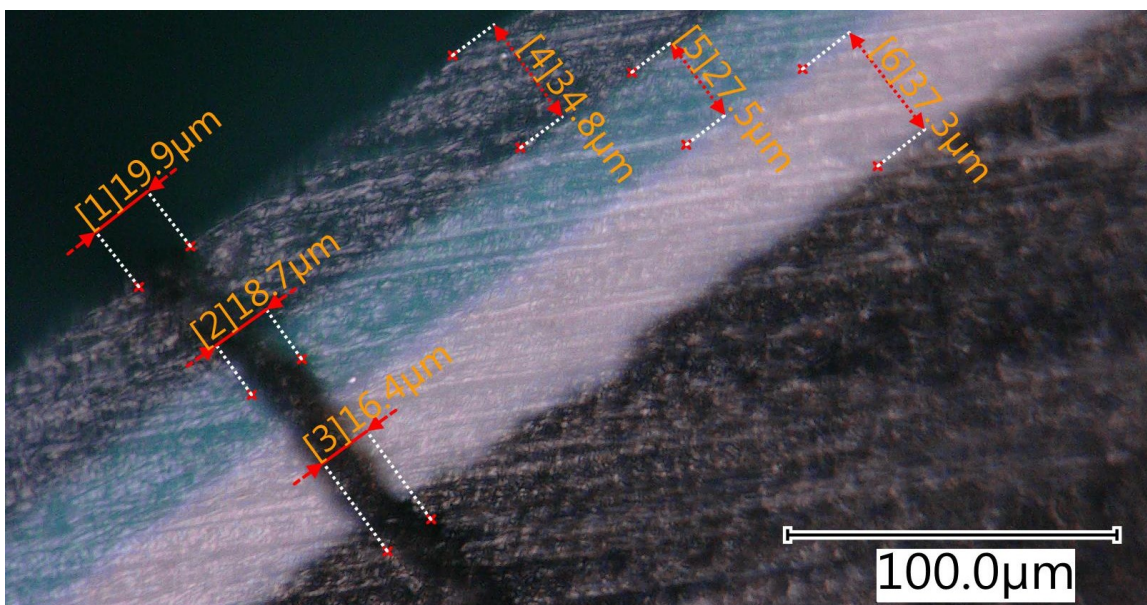
Digitálním mikroskopem bylo možné provést měření rozměrů praskliny. Rozhodl jsem se tedy toto měření uskutečnit a získat tak další užitečné informace, které mohou být využity při realizování nedestruktivních zkoušek. Výsledek měření hloubky praskliny je uveden na obrázku 4.9.





Obrázek 4.9 – Změřená hloubka praskliny

Bylo zjištěno, že prasklina je hluboká přibližně 2 milimetry. Vzhledem k povaze místa výskytu praskliny předpokládám, že postupem času a vlivem užívání rámu by docházelo k dalšímu šíření této praskliny. Další měření bylo provedeno pro zjištění šířky této praskliny na povrchu a na přechodu do materiálu. Byly zjištěny i tloušťky jednotlivých vrstev laku.



Obrázek 4.10 – Šířka praskliny a tloušťky vrstev laku

Z obrázku 4.10 je patrné, že šířka praskliny na povrchu je přibližně 20 mikrometrů a pozvolna se zmenšuje. Na přechodu plniče a materiálu je šířka praskliny přibližně 16 mikrometrů. Dále byla změřena tloušťka vrstvy plniče, samotné barvy i bezbarvého laku.

Tato analýza pomocí digitálního mikroskopu přinesla značné množství důležitých informací. Velmi důležitým zjištěním zde bylo to, proč ke vzniku této praskliny došlo a co jejímu vzniku předcházelo.

Díky změření rozměrů praskliny jsem došel k závěru, že při zkoumání metodou klasického rentgenu nelze očekávat uspokojivé výsledky. Je to dáno především citlivostí rentgenu, která není dostatečná pro zobrazení a identifikaci takto malé praskliny na velkém vzorku a celém rámu. Nabízí se zde ale možnost využití rentgenu v kombinaci s vhodnou kontrastní látkou, jelikož prasklina je velmi hluboká a mohla by pojmout dostatečné množství kontrastní látky, aby se jí na výsledných snímcích podařilo identifikovat.

Znalost rozměrů praskliny a tloušťek laku bych mohl využít při případné zkoušce ultrazvukem. Je také možné předpokládat, že zkouškou vířivými proudy budou získány dobré výsledky.

## 5. Provedené nedestruktivní zkoušky

Z nedestruktivních zkoušek, které připadají v úvahu, jsem vybral ty, které jsou pro tento účel nejvhodnější z různých hledisek.

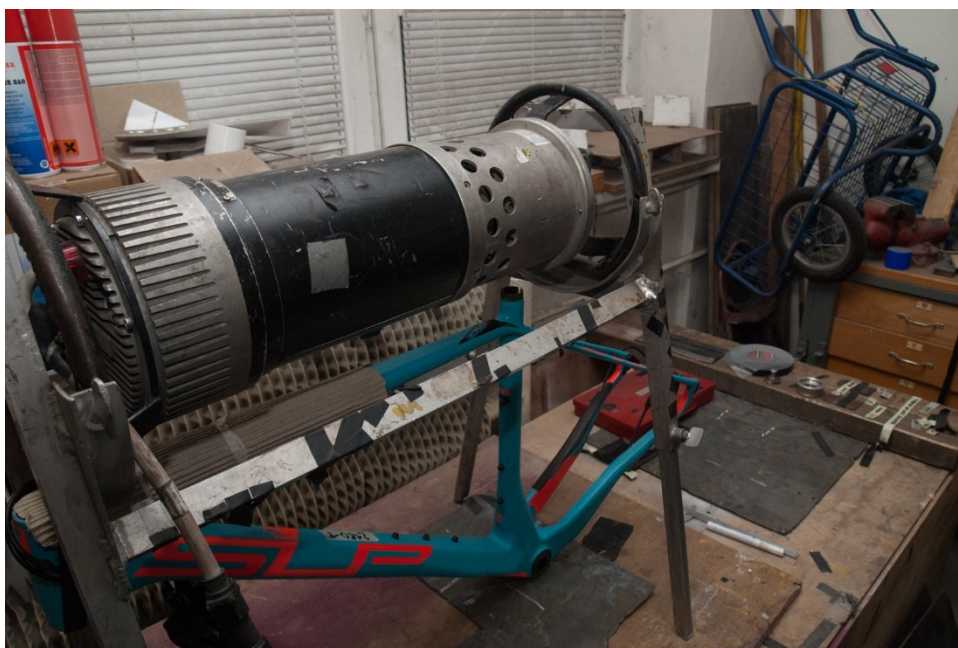
Zkoušku ultrazvukem jsem se po několika konzultacích rozhodl nerealizovat, jelikož výsledky této metody by byly velice zkreslené vlivem nekonstantní tloušťky stěn rámu a také vlivem značně členitého povrchu uvnitř rámu v některých místech. Dále by bylo obtížné zkoušení ultrazvukem kvůli tvarové složitosti některých míst na rámu, která by znemožnila správný kontakt sondy s povrchem.

Zkoušku rentgenem s kontrastní látkou jsem se také rozhodl neprovádět, a to z toho důvodu, že citlivost rentgenu by neumožnila zobrazení vady ani při použití kontrastní látky. K tomuto jsem došel také po několika konzultacích.

### 5.1 Rentgen

Zkouška rentgenem byla provedena ve spolupráci se společností NDtest s.r.o. a bylo využito mobilního rentgenu, který snímá pouze zkoumanou část rámu.

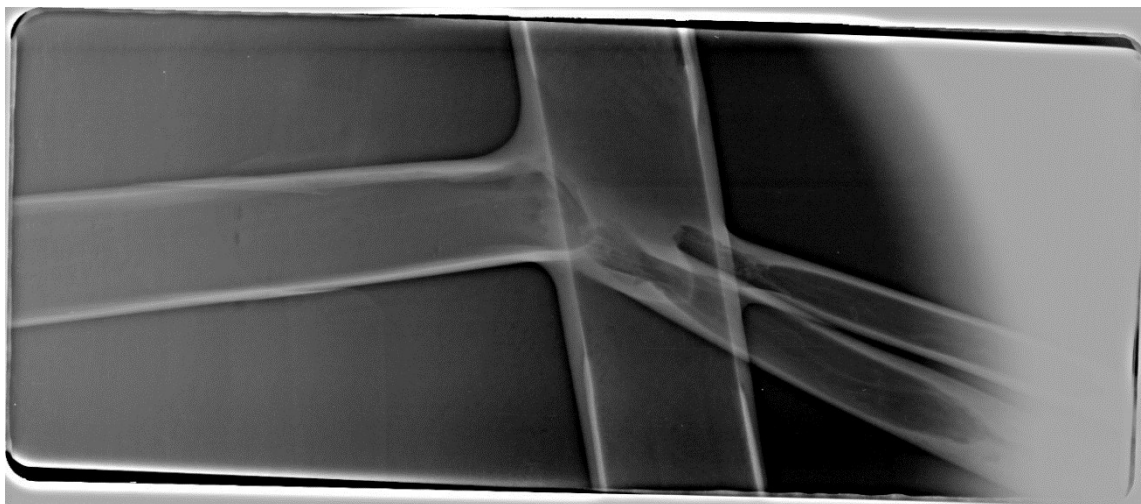
Rám jízdního kola byl umístěn do držáku rentgenu a uchycen tak, aby zařízení snímalo část rámu, na které byla zjištěna prasklina. Toto sestavení je zobrazeno na obrázku 5.1.



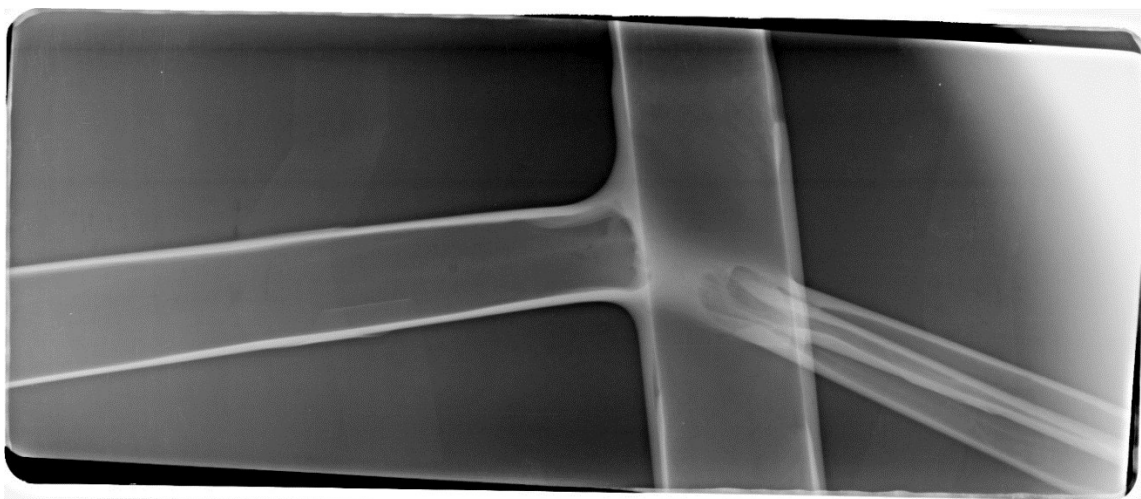
*Obrázek 5.1 – Sestavení rentgenu a rámu*

Na výsledných rentgenových snímcích je poměrně dobře viditelná struktura a vnitřek rámu i přes nízkou hustotu materiálu. Avšak prasklinu v rámu se touto zkouškou nepodařilo zobrazit. Rozlišení rentgenu nebylo dostatečné pro zobrazení takto malé praskliny.

Na obrázcích 5.2 a 5.3 jsou rentgenové snímky oblasti s prasklinou. Prasklinu nelze na těchto snímcích identifikovat.



*Obrázek 5.2 - RTG snímek 1*



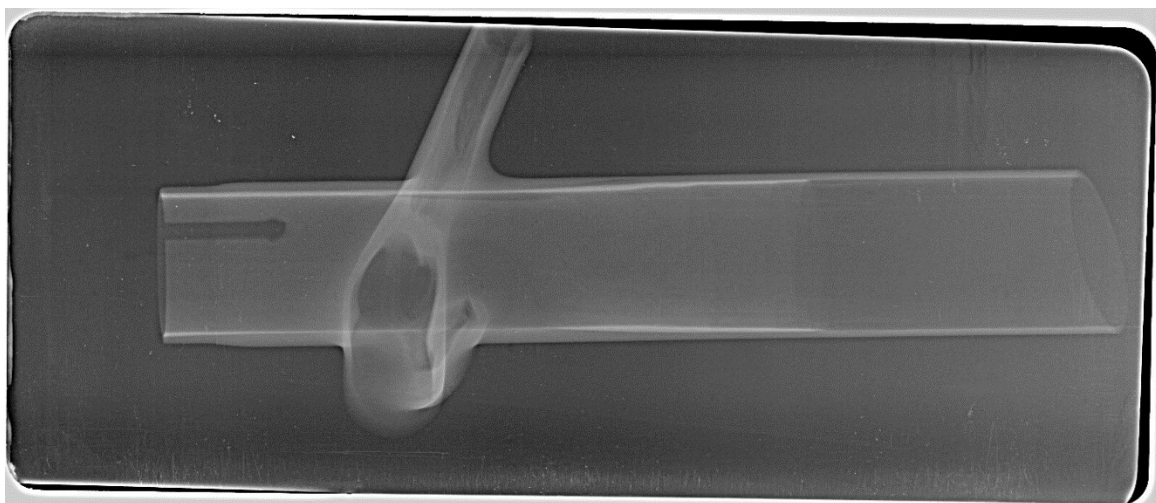
*Obrázek 5.3 – RTG snímek 2*

Snímky poskytly důležité informace o tloušťce stěn rámu a také o vnitřním povrchu rámových trubek. Je patrné, že tloušťka stěn je výrazně proměnlivá a také vnitřní povrch je značně nerovnoměrný a členitý.

Na základě tohoto zjištění lze očekávat, že jednotlivé vrstvy uhlíkových vláken mohou být tvarově deformovány či nesprávně rozloženy. Vlivem těchto vad může v daných místech docházet ke koncentraci napětí nebo jeho špatnému rozložení. Následkem toho může být právě vznik prasklin.

Lze také předpokládat, že v případě zkoušky ultrazvukem budou výsledky zkresleny právě vlivem již zmíněných vad a nekonstantní tloušťkou stěny rámu.

Celý rám byl zrentgenován několikrát, aby bylo získáno dostatečné množství snímků z různých úhlů. Část rámu s vyskytující se prasklinou byla poté vyřezána. Řez na horní rámové trubce byl veden tak, aby protínal prasklinu. Díky tomu bylo možné pořídit rentgenový snímek plochy řezu kolmé na směr šíření praskliny. Tento snímek je na obrázku 5.4.



*Obrázek 5.4 – RTG snímek 3*

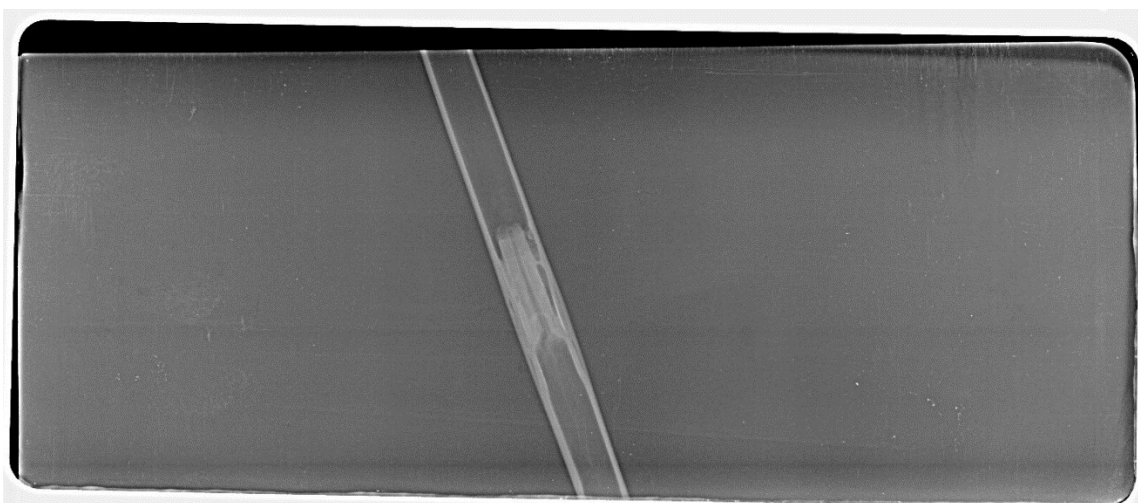
Na tomto snímku je přesně známo místo vyústění praskliny, avšak ani v tomto případě nelze prasklinu na snímku identifikovat.

Nemožnost identifikace praskliny je patrně příčinou nízkého rozlišení rentgenu. Lepšího rozlišení lze dosáhnout snímáním menšího vzorku, ale v případě nedestruktivního zkoušení celého rámu toto není možné. Ani v případě snímání menšího vzorku nelze zaručit, že citlivost rentgenu bude dostatečná na zobrazení praskliny, jejíž tloušťku lze předpokládat pouze v řádech mikrometrů.

Během této zkoušky byly pořízeny také snímky lepených spojů rámových trubek. Tyto snímky jsou zobrazeny na obrázcích 5.5 a 5.6.



*Obrázek 5.5 – RTG snímek 4*



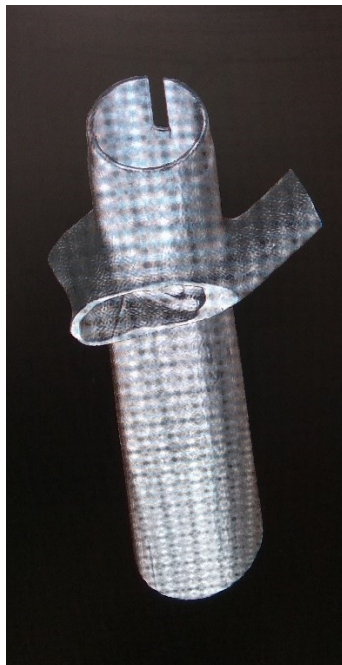
*Obrázek 5.6 – RTG snímek 5*

Na těchto snímcích je poměrně dobře viditelné množství a také zatečení lepidla. Nabízí se zde možnost využití rentgenové zkoušky pro zjištění kvality těchto lepených spojů. Další možností je zkoumání vad, které se mohou vyskytovat v těchto místech, a příčinou jejich vzniku lze předpokládat špatný lepený spoj.

## 5.2 Výpočetní tomografie

Zkouška výpočetní tomografií byla provedena ve Fakultní nemocnici v Ostravě - Porubě. Tato zkouška byla provedena na vzorku vyřezaném z rámu z důvodu jeho menších rozměrů.

Po naskenování vzorku na tomografu byla provedena analýza získaných dat. Výsledná 3D projekce je zobrazena na obrázcích 5.7 a 5.8.



*Obrázek 5.7 – 3D projekce CT*



*Obrázek 5.8 – 3D projekce CT z jiného úhlu*

Při analyzování 3D projekce se nepodařilo odhalit prasklinu. Počítačový software, ve kterém byla 3D projekce zpracována, nabízel možnost využití různých filtrů. Postupně byly aplikovány tyto filtry, aby bylo zjištěno, zda je možné s jejich využitím prasklinu odhalit či nikoli. Bohužel ani s využitím filtrů se nepodařilo prasklinu zobrazit. Na obrázku 5.9 je znázorněna ukázka použití jednoho z filtrů.

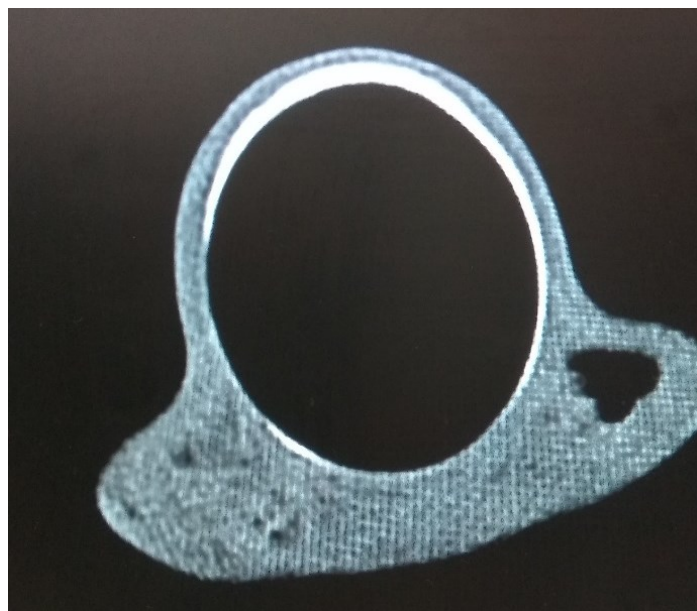


*Obrázek 5.9 – Ukázka aplikování filtru*

Po provedení této zkoušky jsem došel k závěru, že standartní CT není dostatečně citlivé pro zobrazení takto malých vad. Řešením by zde bylo využití metody nanoCT, která je dostatečně citlivá pro zobrazení vad o velikosti v řádech mikrometrů. Metoda nanoCT je ale obtížně dostupná a pro dané účely je ekonomicky velice nevýhodná, proto jsem se rozhodl metodu nanoCT nerealizovat.

Ačkoli nebyla metodou výpočetní tomografie prasklina zobrazena, přinesla tato zkouška informace o vzduchových bublinách větších rozměrů. Toto je zobrazeno na obrázku 5.10 v levé spodní části vzorku.





*Obrázek 5.10 – Vzduchové bubliny větších rozměrů*

Metoda výpočetní tomografie může být kombinována s metodou ultrazvukovou, jelikož poskytuje informace o vnitřním povrchu rámu a tyto informace mohou sloužit k částečné eliminaci zkreslení dat z ultrazvuku.

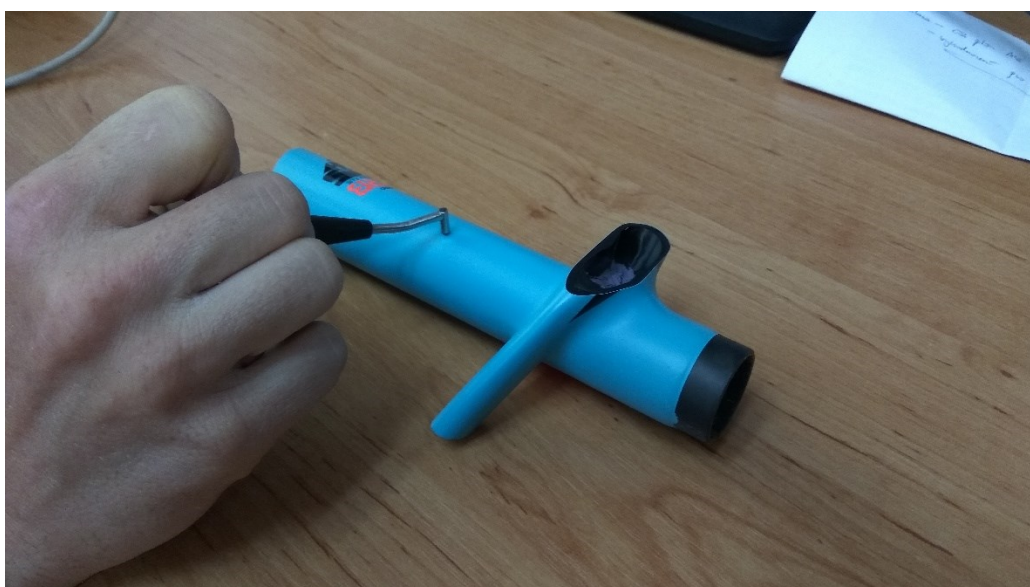
### 5.3 Vířivé proudy

Zkoušku metodou vířivých proudů jsem realizoval s panem Ing. Michalem Šoferem Ph.D. na VŠB-TUO. Při zkoušení byl použit přístroj ETHER NDE Veritor Eddy Current Flow Detector, který je zobrazen na obrázku 5.11. Zkouška byla provedena na vzorku vyřezaném z rámu.



Obrázek 5.11 – Přístroj ETHER NDE Veritor Eddy Current Flow Detector

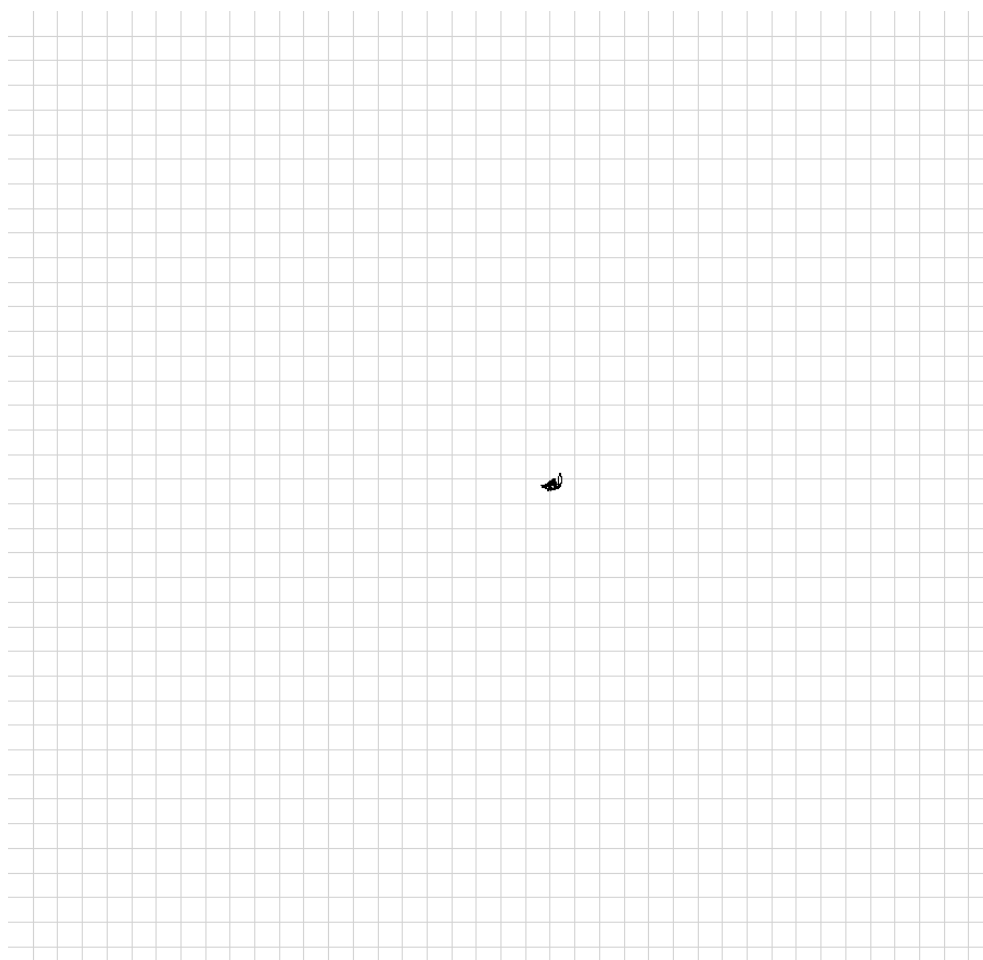
K přístroji byla připojena sonda se snímačem. Tato sonda je zobrazena na obrázku 5.12 během jejího použití při zkoušce.



Obrázek 5.12 – Sonda při měření místa bez poškození

Během zkoušky bylo provedeno měření v místě bez poškození, dále v místě změny laku a také v místě praskliny a na jejím konci. Bylo také provedeno měření, při kterém byla sonda oddalována od povrchu vzorku. Při každém měření byla získávána data o změně magnetického pole. Záznam byl nastaven tak, aby zobrazoval data získaná během posledních pěti vteřin daného měření. Data byla zpracovávána s využitím softwaru ETHERNDE Veritor. Před zahájením každého měření byl program po přiložení sondy ke vzorku vynulován. Nulování proběhlo v místě, kde se nenacházela vada, a toto místo bylo blízko zkoumané vady. Tímto bylo zaručeno správné detekování změny magnetického pole ve výsledném grafu. Během měření bylo dbáno také na to, aby sonda byla kolmo k měřenému povrchu, a data tak nebyla zkreslena.

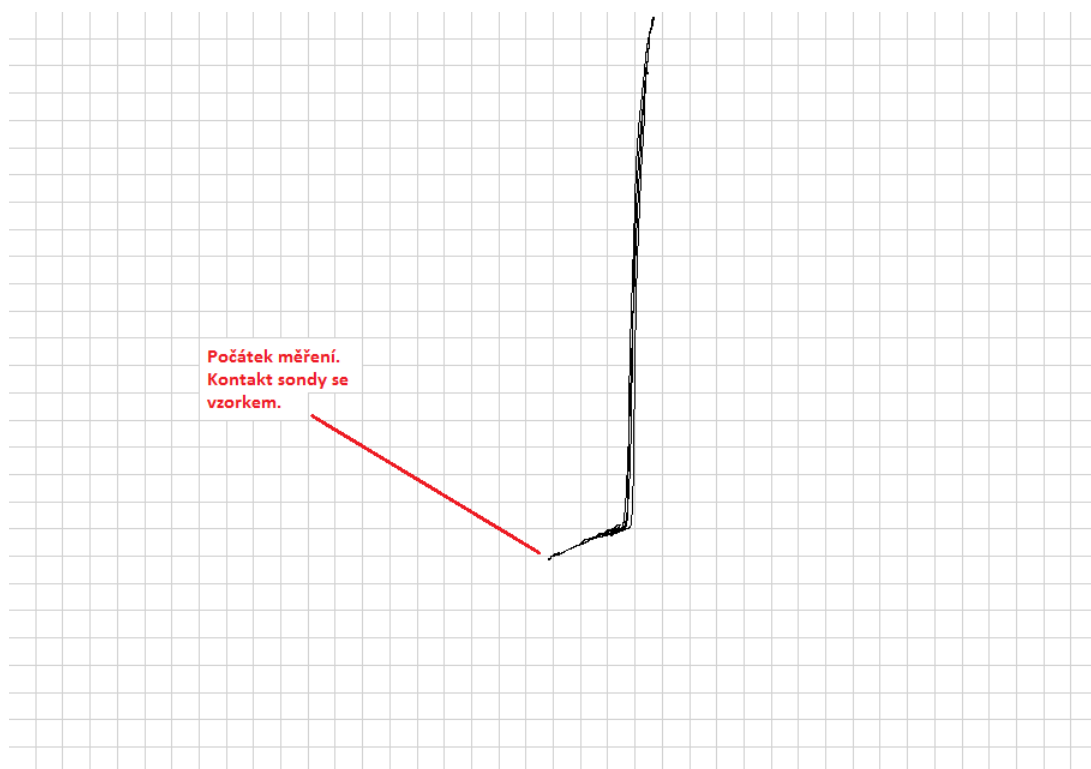
První měření bylo provedeno v místě bez poškození a bylo provedeno pro zjištění změn magnetického pole v takovémto místě. Získaná data jsou zobrazena na obrázku 5.13.



*Obrázek 5.13 – Změna magnetického pole v místě bez poškození*

Z obrázku 5.13 je zřejmé, že v místě bez poškození dochází jen k velmi malé až nepatrné změně magnetického pole ve vzorku. V místech s vyskytujícími se vadami lze očekávat mnohem větší změny tohoto magnetického pole.

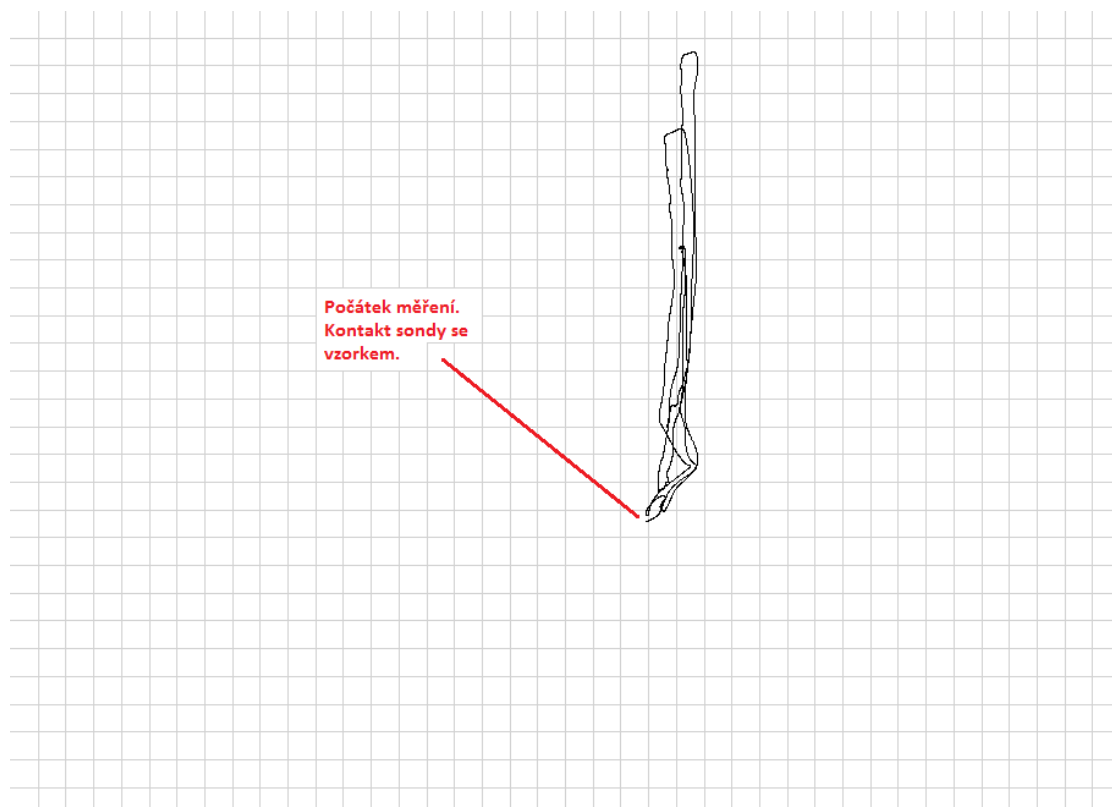
Při dalším měření byla získána data o změně magnetického pole v případě, že je sonda oddalována od vzorku a poté je k němu opět přiložena. Získaná data jsou zobrazena na obrázku 5.14.



*Obrázek 5.14 – Změna magnetického pole při oddálení sondy*

Na obrázku 5.14 je vidět, že při oddálení sondy byla změna magnetického pole značná. Tato změna magnetického pole je v grafu znázorněna křivkami směřujícími nahoru od místa počátku měření.

Pro další měření bylo zvoleno místo, kde se na laku nacházela část polepu. Data z tohoto měření byla opět zaznamenána a jsou na obrázku 5.15.



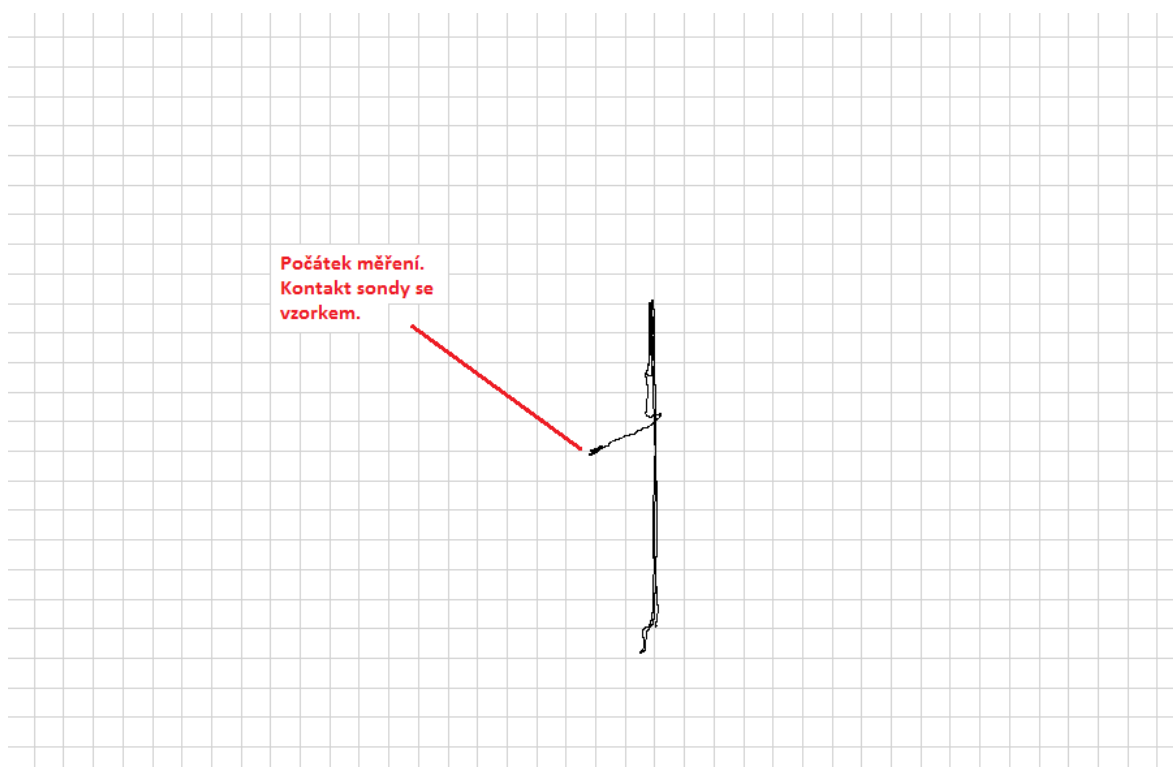
*Obrázek 5.15 – Změna magnetického pole v místě polepu*

Výsledek tohoto měření dokazuje, že metoda je dostatečně citlivá na to, aby zaznamenala takto malou změnu v laku. Z grafu je patrné, že změna magnetického pole v místě polepu je poměrně velká a na tomto grafu je velmi dobře viditelná. Z grafu je také možné vypořodovat, že změna magnetického pole v místě změny v laku je znázorněna podobně, jako tomu bylo v případě oddalování sondy od vzorku. Tedy tak, že křivky směřují nahoru od místa počátku měření.

Následně bylo přistoupeno k měření místa s vyskytující se prasklinou. Fotografie z tohoto měření je na obrázku 5.16 a výsledky jsou zobrazeny na obrázku 5.17.



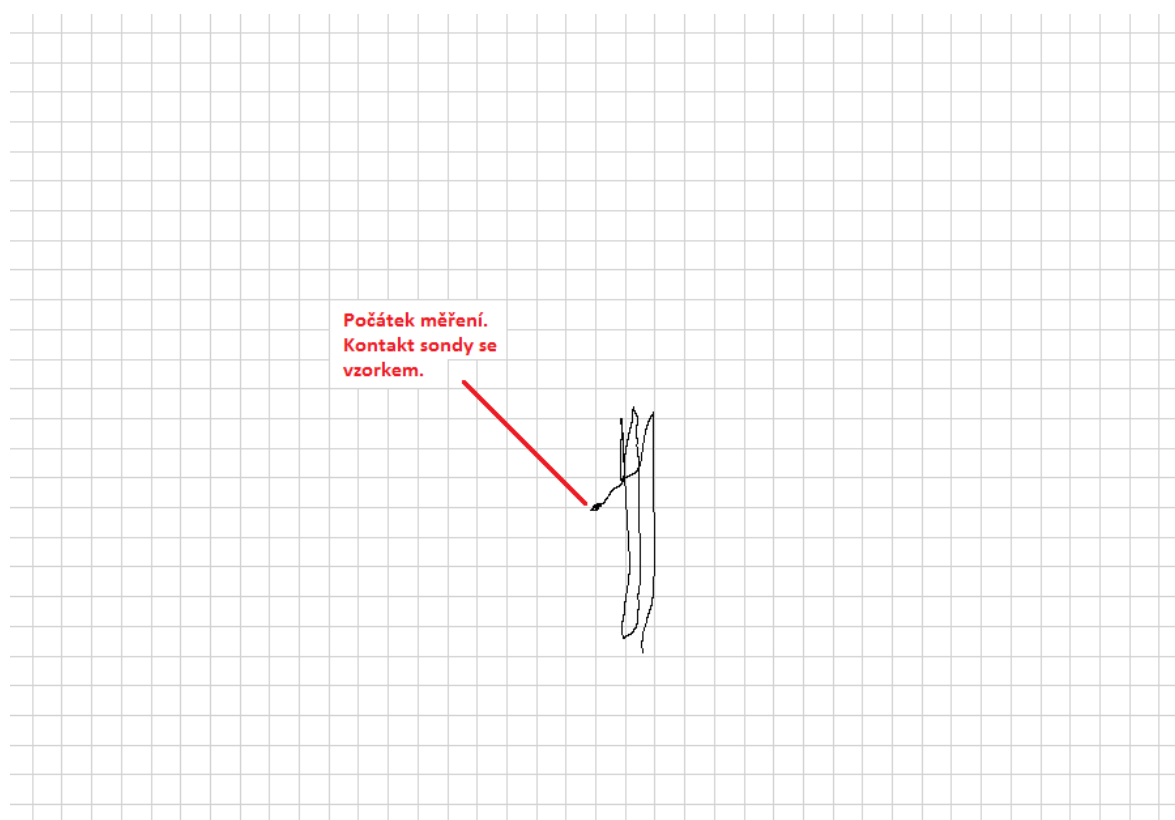
*Obrázek 5.16 – Měření místa s prasklinou*



*Obrázek 5.17 – Změna magnetického pole v místě s prasklinou*

Z výsledků měření je velmi dobře patrná změna magnetického pole. Také je zde vidět, že zobrazovaná odchylka je směrem nahoru i dolů od místa počátku měření. Část nacházející se nad bodem počátku měření zde indikuje poškození vrstvy laku a v tomto případě může jít také o vrstvu pryskyřice bez uhlíkových vláken. Část, která se nachází pod bodem počátku měření, pak indikuje poškození samotného rámu. Je touto metodou tedy velmi dobře zjištělné, zda se jedná pouze o povrchovou vadu či vadu v samotném rámu. Zde se potvrdilo, že vada není jen povrchová.

Na konec bylo uskutečněno měření v místě, kde vlasečnice indikující prasklinu zaniká. Cílem tohoto měření bylo ověřit, jestli je metoda dostatečně citlivá na odhalení vady v rámu i v místech, kde vada není tak značná. Výsledky měření jsou na obrázku 5.18.



*Obrázek 5.18 – Změna magnetického pole v místě, kde prasklina zaniká*

Výsledky tohoto měření ukazují, že metoda je dostatečně citlivá a je možné určit charakter vady i v místě, kde lze předpokládat výrazně menší rozměry dané vady. Z grafu je zřejmé, že prasklina zde již není tak hluboká, jelikož znázorněné odchylky magnetického pole jsou menší.

Zkoušení metodou vířivých proudů se ukázalo jako velmi vhodné a výsledky z provedených měření jsou velice uspokojivé. Ze všech zkoušených metod pouze tato poskytuje data, která lze spolehlivě využít.

Zkouška byla prováděna pomocí přístroje připojeného k počítači, ale existují také přístroje, které jsou vybaveny vlastním displejem a ovládacími prvky. V případě využití takovýchto přístrojů není přítomnost počítače potřeba a zkouška tak může být realizována kdekoliv. Ukázka přístroje s vlastním displejem a ovládacími prvky je na obrázku 5.19.



*Obrázek 5.19 – ETHER NDE ETi-200 [15]*



## 6. Návrh metodiky pro zkoušení karbonových rámu

Při návrhu metodiky zkoušení vycházím z dat získaných jak nedestruktivními, tak destruktivními zkouškami. Pro nedestruktivní zkoušení mohu doporučit pouze metodu vířivých proudů, která jako jediná ze zkoušených metod poskytuje jasné a přesvědčivé výsledky o charakteru zkoumané vady. Výsledky ostatních zkoušek se ukázaly jako nedostatečné a nelze je tedy použít, jedná-li se o karbonové rámy jízdních kol.

Před samotnou realizací zkoušky metodou vířivých proudů navrhuji vizuální kontrolu jízdního kola jako celku. Při této vizuální kontrole je cílem odhalit případné známky po nehodě a podobně. V případě odhalení takovýchto známek poškození je zde zvýšená pravděpodobnost, že daná vada mohla být způsobena právě například nehodou nebo nešetrným zacházením. Fotografie takovýchto známek poškození jsou na obrázcích 6.1 a 6.2.



*Obrázek 6.1 – poškození rámu následkem pádu či nárazu*

Na obrázku 6.1 je viditelné množství škrábanců a odřenin vzniklých následkem pádu nebo nárazu. Je zřejmé, že zobrazená prasklina je následkem již zmíněného pádu nebo nárazu. Na obrázku 6.2 jsou zobrazeny stopy po pádu nebo nešetrném zacházení nacházející se na rámu.



*Obrázek 6.2 – Stopy po pádu nebo nešetrném zacházení*

Pokud se však známky po takovémto poškození nepodaří odhalit, je možné předpokládat, že vada může být následkem výrobní vady.

Dalším krokem je samotná realizace nedestruktivní zkoušky metodou vířivých proudů. Tuto zkoušku by měl provádět člověk, který již má s podobným zkoušením určité zkušenosti a má potřebné znalosti pro zajištění správných a nezkrivených výsledků. Je také potřeba před zahájením zkoušky zkoumané místo řádně očistit od případných nečistot, které se na rámu jízdního kola mohou vyskytovat.

Na základě získaných výsledků pak lze jasně prokázat charakter vady. Tedy jedná-li se pouze o vadu laku, nebo o vadu samotného rámu. V případě, že je zjištěna vada samotného rámu v kritických místech, jakými jsou například přechod horní rámové trubky v zadní stavbu u trubky sedlové a místa podobně tvarově složitá, je zvýšená pravděpodobnost vzniku takové vady právě v důsledku výrobní vady rámu. Vada v takovémto tvarově složitém místě je zobrazena na obrázku 6.3.



*Obrázek 6.3 – Vada ve tvarově složitém místě*

Jak bylo dokázáno zkouškou digitálním mikroskopem, v tomto místě lze předpokládat výskyt výrobní vady.

Ukázky stop po pádech nebo nešetrném zacházení s rámem, které je potřeba odhalit při vizuální kontrole jsou obsaženy v přílohách A a B.

## 7. Závěr

V mé diplomové práci jsem se zabýval nedestruktivním zkoušením karbonových materiálů. Provedl jsem výběr možných nedestruktivních zkoušek. Popsal jsem principy těchto zkoušek a uvedl jsem jejich výhody či nevýhody. Pro účely ověření správnosti výsledků nedestruktivních zkoušek jsem provedl také zkoušky destruktivní. Dále jsem realizoval nedestruktivní zkoušky, které jsem shledal jako nejvhodnější pro danou problematiku.

Z provedených nedestruktivních zkoušek vyšla nejlépe zkouška metodou vířivých proudů. Oproti ostatním metodám tato poskytuje správné a přesvědčivé výsledky, které je možné spolehlivě použít. Metoda vířivých proudů se ukázala také dostatečně citlivá na detekci pouhého poškození laku.

Na závěr jsem vypracoval návrh metodiky zkoušení. Při tomto návrhu jsem vycházel z dat získaných provedenými zkouškami. V tomto návrhu metodiky jsem předpokládal využití nedestruktivního zkoušení metodou vířivých proudů, ale také jsem vzal v úvahu vizuální kontrolu jízdního kola jako celku před samotným zkoušením. Návrh metodiky jsem zpracoval tak, aby bylo možné získat co nejvíce informací.

Úspěšně se mi podařilo najít vhodnou metodu nedestruktivního zkoušení a všechny cíle diplomové práce jsem splnil.

## 8. Literatura

- [1] Štěřba kola, [online], [cit. 11.5.2018].  
Dostupné z: <<https://www.sterba-kola.cz/zbozi/superior-xp-969-2017>>
- [2] BIKERUMOR, [online], [cit. 11.5.2018].  
Dostupné z: <<https://bikerumor.com/2016/02/29/nahbs-2016-bastion-cycles-changes-the-game-with-3d-printed-ti-and-carbon-bike-that-customers-design/>>
- [3] BIKERUMOR, [online], [cit. 11.5.2018].  
Dostupné z: <<https://bikerumor.com/2016/03/07/nahbs-2016-holland-cycles-shapely-lugged-carbon-hc-road-bike-finally-out-for-a-ride/>>
- [4] MOUNTAIN BIKE RIDER, [online], [cit. 11.5.2018].  
Dostupné z: <[http://www.mbr.co.uk/news/product\\_news/scotts-imp-carbon-frame-process-black-magic-324258](http://www.mbr.co.uk/news/product_news/scotts-imp-carbon-frame-process-black-magic-324258)>
- [5] CEITEC, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<http://www.ctlab.cz/cenik/>>
- [6] LDM, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z:  
<[http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2004/UZ\\_JANSKY.pdf](http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2004/UZ_JANSKY.pdf)>
- [7] WERMAC, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <[http://www.wermac.org/others/ndt\\_ut.html](http://www.wermac.org/others/ndt_ut.html)>
- [8] ZCU, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://tftp.zcu.cz/cz/laboratore/irndt/aktivni-termografie>>
- [9] NCBI, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5712988/>>
- [10] FOERSTER, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<http://www.foerstergroup.cz/cs/cze/technologie/zkouseni-virivymi-proudy/>>
- [11] NOTENDUR, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <[https://notendur.hi.is/runson/Project/comptest2004\\_paper.pdf](https://notendur.hi.is/runson/Project/comptest2004_paper.pdf)>

- [12] FIT WERX, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<http://fitwerx.com/carbon-fiber-frame-manufacturing-techniques-part-one-of-a-three-part-series-on-carbon-fiber/>>
- [13] ASNT, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>>
- [14] INSPECTIONEERING, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://inspectioneering.com/tag/nondestructive+testing>>
- [15] ETHER NDE, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<http://www.ethernde.com/instruments/flaw-detectors/eti>>
- [16] TECHMAGAZIN, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <[http://www.techmagazin.cz/ke\\_stazeni/ndt/ndt1.pdf](http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/ndt/ndt1.pdf)>
- [17] WELDINSPECT, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://weldinspect.cz/>>
- [18] ND TEST, [online], [cit. 13.5.2018].  
Dostupné z: <<http://www.ndtest.cz/>>
- [19] OLYMPUS-IMS, [online], [13.5.2018].  
Dostupné z: <<https://www.olympus-ims.com/sv/eddycurrenttesting/>>
- [20] NDE-ED, [online], [13.5.2018].  
Dostupné z: <[https://www.nde-ed.org/index\\_flash.htm](https://www.nde-ed.org/index_flash.htm)>
- [21] TANDFONLINE, [online], [13.5.2018].  
Dostupné z:  
<<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/21642583.2017.1311240>>

## **9. Seznam příloh**

Příloha A – Stopy po pádu či nešetrném zacházení na rámu XP979

Příloha B – Stopy po pádu či nešetrném zacházení na rámu Team Issue

## **PŘÍLOHY**



PŘÍLOHA A – Stopy po pádu či nešetrném zacházení na rámu XP979



*Stopa po pádu na boku horní rámové trubky*



*Stopy po pádu na boku spodní rámové trubky*



*Stopy po pádu na spodní trubce zadní stavby*



*Detailnější pohled na poškození zadní stavby*

Příloha B – Stopy po pádu či nešetrném zacházení na rámu Team Issue



*Poškození na horní trubce zadní stavby – následek pádu nebo nárazu*



*Stopa po pádu – následek silného nárazu*