

CTLAB
X-ray Computed Tomography



CEITEC
Středoevropský technologický institut
BRNO | ČESKÁ REPUBLIKA

NEWSLETTER JARO 2019

Milí čtenáři,

představujeme Vám nové číslo newsletteru Laboratoře rentgenové počítačové mikro a nano tomografie na CEITEC VUT v Brně a s ním i informace o aktivitách naší laboratoře. Ve spolupráci s firmou Xray-Lab (Německo) proběhlo v naší laboratoři **testování speciálního držáku pro souběžné měření více vzorků**. Dále se dozvíte o pokračujícím **vývoji studentské formule**, kde je CT technologie součástí procesů zlepšování a kontroly kritických dílů. Seznámíme Vás také s různými **přístupy pro výpočet porozity**. A konkrétní příklady uvedeme na **výrobci kovového 3D tisku**, které byly analyzovány v rámci mezilaboratorního srovnání.

Přejeme Vám příjemné čtení!

Tomáš Zikmund

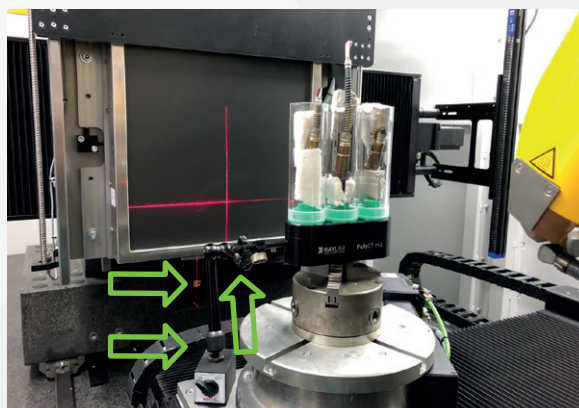
Vedoucí tomografické laboratoře

JAKÉ MOŽNOSTI CT PŘINÁŠÍ

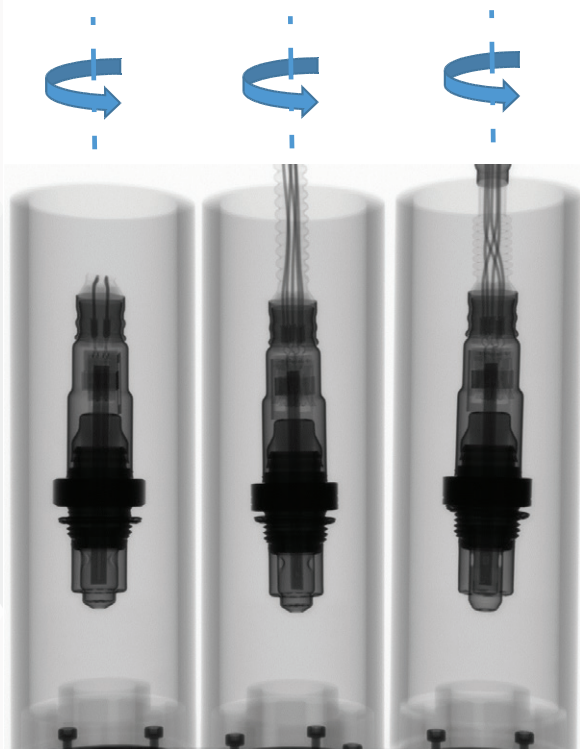
TESTOVÁNÍ POLYCT

V minulých měsících jsme měli v naší laboratoři příležitost otestovat nový produkt od Xray-lab & Fraunhofer Development center for X-ray Technology (EZRT) s názvem **PolyCT**. Tento produkt slouží jako přídavné zařízení do standardního CT systému a umožňuje zkrátit dobu potřebnou ke skenování vzorků na třetinu. Princip spočívá v **naměření tří vzorků během jedné měřicí procedury**.

Tento postup by při standardním CT skenu vedl ke vzniku různých typů obrazových artefaktů vlivem překryvu vzorků v několika úhlech natočení. Princip PolyCT spočívá v mechanickém převodu rotačního pohybu stolku na tři samostatné rotační jednotky, na kterých jsou upevněny vzorky (<https://polyct.com>). Jedinou podmínkou pro instalaci držáku je **upevnění do sklíčidla a fixace těla pomocí magnetické základny (Obr. 1)**.

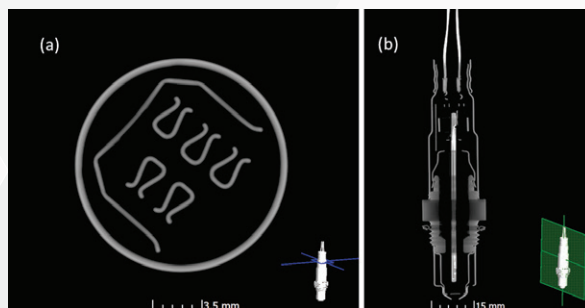


Obr. 1: Zařízení PolyCT se třemi sensory upevněnými v plastových válcích. Rameno spojující magnetickou základnu a tělo držáku je vyznačeno šipkami.



Obr. 2: RTG projekce tří sensorů umístěných v PolyCT zařízení na GE phoenix v|tome|x L240.

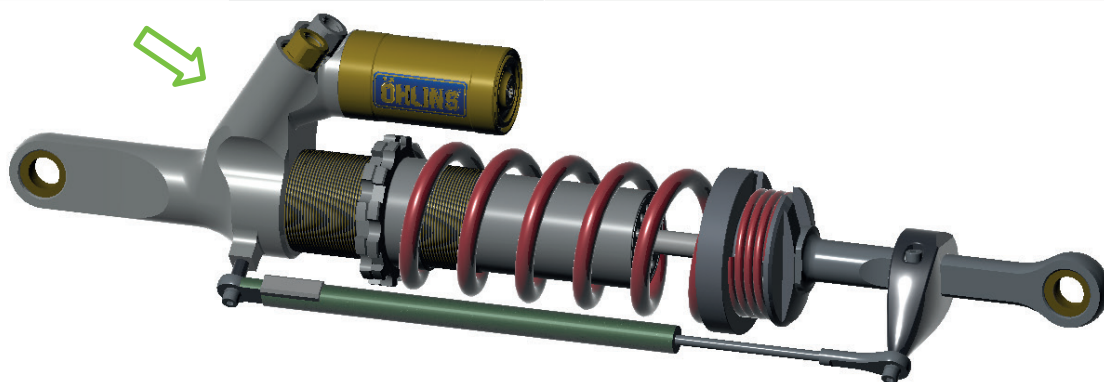
Z těchto důvodů ho lze instalovat do jakékoliv standardní průmyslové CT stanice. Výrobce k nástroji dodává vlastní rekonstrukční software, který umí na grafických kartách zkrátit výpočet rekonstrukce na několik minut. Celý postup byl otestován na třech vzorcích sensorů (**Obr. 2, 3**).



Obr. 3: CT řezy s vyznačením pozice řezu ve 3D modelu pro jeden sensor.

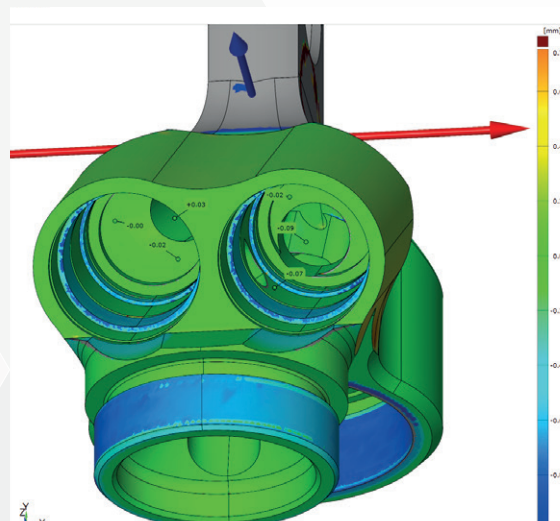
ANALÝZA HLAVICE TLUMIČŮ PRO STUDENTSKOU FORMULI

V letošním roce TU Brno Racing provedl na novém **monopostu Dragon 9** (www.tubnoracing.cz) razantní změnu v uložení tlumičů pro lepší benefit z aerodynamického účinku a navýšení gripu pneumatik. Tým poprvé využil koncept roll/heave, kdy na každé nápravě je jeden tlumič (**Obr. 4**), který pracuje pouze za předpokladu pokud se stlačí levé a pravé kolo zároveň a druhý tlumič pokud se kolo na jedné straně stlačí a na druhé straně vyvěsí. Díky tomu lze docílit rozdílné tuhosti a tlumení ve dvou od sebe oddělených jízdních stavech roll/heave. K tomu bylo však nutné provést řadu změn. Jednou z nich byla i úprava tlumiče. Pro co nejlepší uložení celé sestavy tlumičů s přepákováním bylo vše vloženo na přední nápravě co nejnižší k docílení co nejlepší aerodynamiky a zároveň i ke snížení těžiště. Bylo tedy nutné upravit hlavici tlumiče, aby zde nedošlo ke kolizi s ostatními díly podvozku. Konvenční metoda 3D skenování zde nebyla možná, neboť vnitřní kanálky tlumiče by nebylo možné zaznamenat. Proto byla využita **technika CT skenování celé hlavice tlumiče v naší laboratoři**. Následný výstup v souboru .STL byli kolegové z TU Brno Racing schopni přemodelovat a upravit dle svých potřeb. Hlavním cílem bylo zjistit rozměry vnitřních kanálků, které jsou hlavním aspektem funkce plynokapalinového tlumiče.



Obr. 4: Tlumič, který je součástí studentské formule. Skenovaná hlavice v levé části.

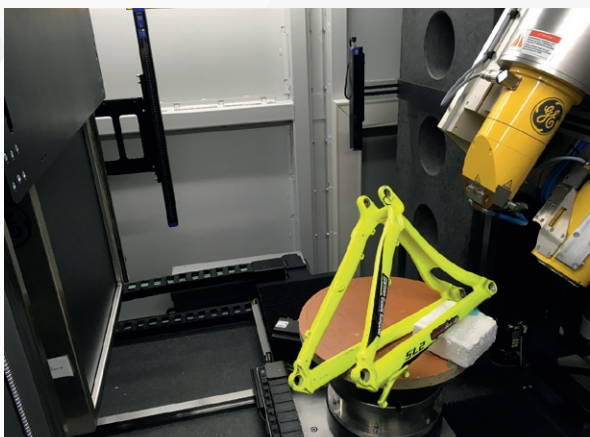
Pro získání přesné rozměrové informace z CT dat byla hlavice vymontována z tlumiče a zbavena veškerých ocelových částí. Ocelové části by v datech znehodnocovaly rozhraní hlavice vyrobené z hliníkové slitiny. Z voxelových dat byl vygenerován **sít'ový model** ve formátu STL, na základě něhož byl vygenerován **CAD model** spolu s navrhovanými změnami (použitím Creo Parametric). Takto vytvořený CAD model byl sesazen na původní povrchový STL model za účelem kontroly rozměrů vnitřních dutin (**Obr. 5**). Odchytky nového návrhu v kritických rozměrech splnily předepsanou přesnost v setinách milimetrů. Inovace uložení tlumiče zvyšuje šance na úspěch v mezinárodní soutěži a byla možná jenom díky zapojení CT technologie.



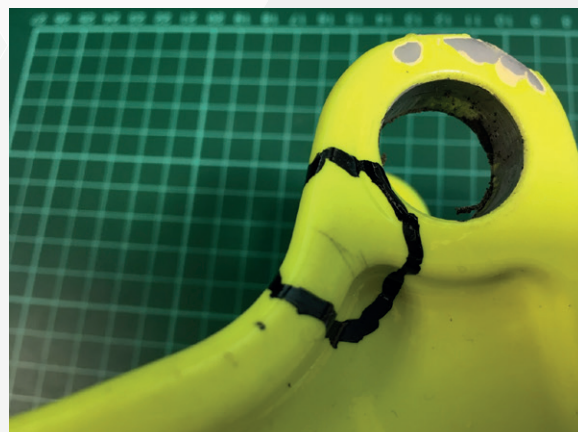
Obr. 5: Pohled na srovnání geometrie původního STL modelu a nově navrženého CAD modelu hlavice tlumičů.

VYŠETŘENÍ ZADNÍ STAVBY RÁMU JÍZDNÍHO KOLA S PODEZŘENÍM NA VNITŘNÍ TRHLINU

Zadní stavba kovového rámu jízdního kola byla podrobena tomografické analýze z důvodu podezření na vnitřní trhliny, které mohou ovlivnit rozhodnutí reklamačního řízení. Podezření vzniklo na základě viditelných povrchových vlasových struktur (**Obr. 7a**).

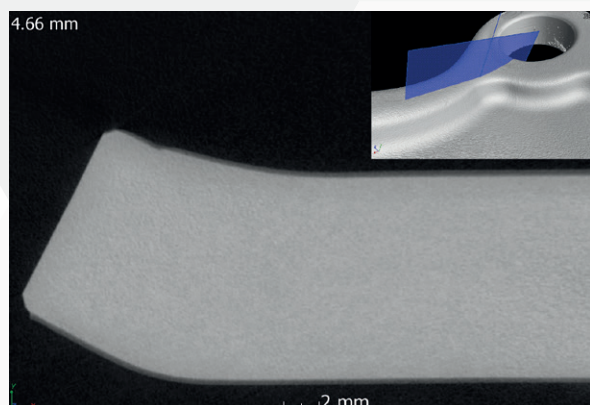


Obr. 6: Rám kola před měřením na microCT zařízení GE phoenix v|tome|x L240.

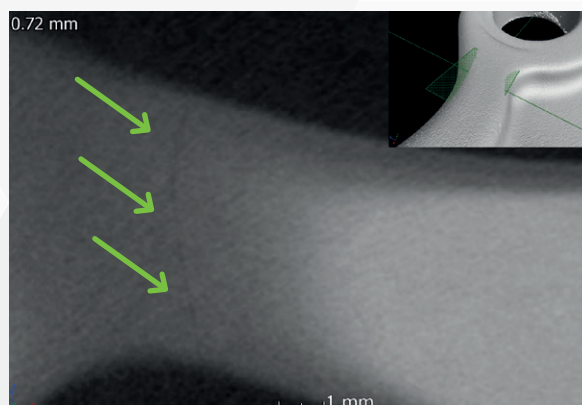


Obr. 7a: Fotografie části rámu kola s viditelným defektem.

U těchto struktur nebylo možné určit, zda se jedná pouze o trhliny povrchové vrstvy barvy/laku nebo o poškození hliníkového rámu. Rám byl v přístroji upevněn v náklonu tak, aby se ostatní části rámu nepřekrývaly v zorném poli s oblastí trhliny (**Obr. 6**) a zároveň, aby bylo zajistěno otočení v nejbližší vzdálenosti od rentgenové trubice. Toto nastavení dovolilo obdržet data s voxelovým rozlišením 48 μm . Při vizuální kontrole CT dat nebylo nalezeno žádné vnitřní poškození materiálu (**Obr. 7b**). S největší pravděpodobností se tak jedná pouze o povrchovou prasklinu vrstvy laku/barvy. Tato prasklina byla také v CT datech pozorovatelná pouze v povrchové vrstvě (**Obr. 7c**). Pro finální rozhodnutí by bylo nutné navázat na stávající analýzu detailnějším měřením nebo zapojením mikroskopických metod, oba případy ovšem představují destruktivní zásah.



Obr. 7b: Tomografický řez zájmovou oblastí bez defektu v hliníkové slitině.



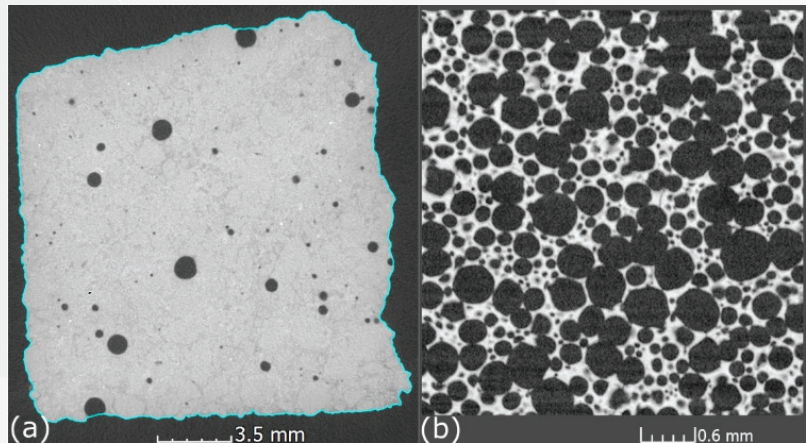
Obr. 7c: CT řez vrstvou laku s pozorovatelnou trhlinou.

POROZITA

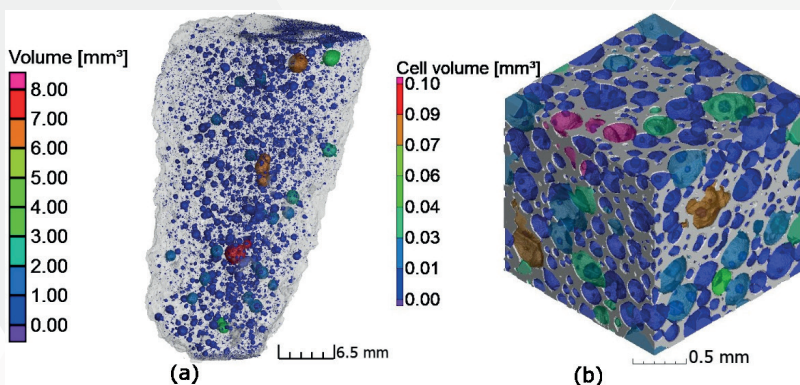
Určení porozity je jedním z nejčastějších požadavků na počítačovou tomografii. Porozita P je v kvantitativním smyslu definována jako **poměr objemu pórů V_p a celkového objemu vzorku včetně pórů V** :

$$P [\%] = V_p/V * 100 \%$$

Pro určení celkového objemu vzorku je kritickým bodem určení původního povrchu tak, aby nezahrnoval póry spojené s vnějším prostorem (Obr. 8a). Toho se dosahuje buď pokročilejšími metodami obrazového zpracování, nebo se analýza implementuje na vepsanou oblast definovaného tvaru. Samotná segmentace vzduchu od materiálu je pak provedena nejčastěji prahováním, které na základě intenzitní hodnoty přiřazuje voxely do kategorie materiálu nebo pozadí.



Obr. 8: Příklad CT řezů vzorků s a) uzavřenou porozitou: betonový vzorek; modrou barvou je vyznačen povrch vzorku pro analýzu pórů, b) otevřenou porozitou: hydroxyapatitová pěna.



Obr. 9: Analýza pórů ve vzorku s a) uzavřenou porozitou: betonový vzorek, b) otevřenou porozitou: hydroxyapatitová pěna. Jednotlivé póry jsou barevně kódovány podle velikosti.

Na základě morfologického charakteru lze kategorizovat **dva základní druhy porozity**.

Prvním druhem je **uzavřená porozita**, v které každý pór tvoří samostatný objem obklopený materiálem (Obr. 8a). V průmyslu se typicky vyskytuje v kovových odlitcích, plastových vyliscích nebo výrobcích 3D tisku. Póry narušují homogenitu vnitřní struktury a snižují původní mechanické vlastnosti dílu.

Snahou výrobců je ji minimalizovat. Hodnota P se v tomto případě stává indikátorem kvality výrobku a navíc je doplňována informacemi o velikosti pórů (maximální velikost, případně největší lineární rozměr póru), jejich distribucí ve vzorku nebo vzdáleností k povrchu vzorku (Obr. 9a).

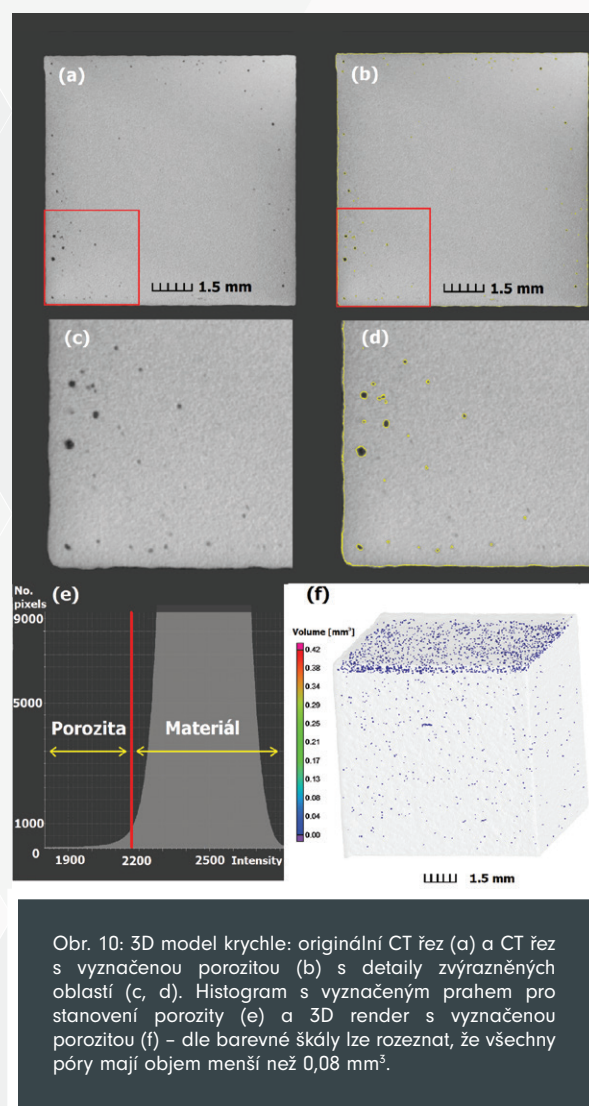
Druhým typem je **otevřená porozita (Obr. 8b)**, kde jsou spolu póry vzájemně propojeny. Struktura vzorku je tak tvořena unikátní sítí tenkých stěn, která dílu zajišťuje nízkou váhu, dobré izolační vlastnosti a odolnost vůči nárazům. Typickým příkladem jsou hliníkové pěny, pěnové sklo nebo biomateriály pro regenerativní účely. V tomto případě číslo porozity spíše definuje danou vnitřní strukturu, než že by vypovídalo o kvalitě výrobku. V takové komplexní struktuře je pro charakterizaci struktury pouze číslo porozity či velikosti pórů (**Obr. 9b**) nedostatečné, a proto se také hodnotí jejich tvar (sféricita), konektivita pórů, kontaktní plocha mezi sousedními póry a průměrná tloušťka stěn.

NOVINKY

ZAPOJENÍ SE DO MEZILABORATORNÍHO SROVNÁNÍ URČENÍ POROZITY POMOCÍ MICROCT

Porozita v microCT závisí především na nastavení přístroje a také na postupu operátora při zpracování dat. I přestože se vyvíjí standardy pro výpočet porozity, v současné době neexistuje univerzální postup pro zpracování tomografických dat. Problematickou částí výpočtu je segmentace pórů v obraze, která je ztěžována artefakty zobrazení. Proto dochází v rámci výzkumu k mezilaboratornímu srovnání, kterého se naše laboratoř účastnila. Mezinárodní testování laboratoř na měření porozity pomocí microCT je organizováno univerzitou Stellenbosch v Jihoafrické republice. Pro účel této studie byla vytvořena **kovová kostička o hraně 10 mm pomocí LPFB (Laser Powder Bed Fusion) technologie**. LPFB je technologie 3D tisku, která využívá spékání vrstvy kovového prášku výkonným laserem.

Tomografické měření kostičky proběhlo s předepsanými parametry měření a data byla získána s 15 μm voxelovým rozlišením. Dodržen byl také jednotný způsob výpočtu porozity založený na prahování. Hodnota prahu byla volena operátorem na základě vizuálního hodnocení (**Obr. 10c - d**). Porozita analyzované kostičky je 0,02 %. Většina pórů je menších než 0,08 mm^3 a je distribuována pod povrchem (**Obr. 10f**).



Obr. 10: 3D model krychle: originální CT řez (a) a CT řez s vyznačenou porozitou (b) s detaily zvýrazněných oblastí (c, d). Histogram s vyznačeným prahem pro stanovení porozity (e) a 3D render s vyznačenou porozitou (f) – dle barevné škály lze rozeznat, že všechny póry mají objem menší než 0,08 mm^3 .

GE WORKSHOP

Ve dnech 28. a 29. května 2019 naše laboratoř pořádala první ročník odborného semináře s názvem **GE workshop pro nedestruktivní testování v automobilovém průmyslu**. Jednalo se o jedinečnou událost na území České Republiky, kterou společnost GE navazuje na předešlé ročníky ze Cincinnati (Ohio, USA) 2018 a Albany (New York, USA) 2017. Cílem semináře bylo seznámit odborníky z průmyslu s novějšími technologiemi ze strany výrobce, sdílet zkušenosti nedestruktivního testování a definovat požadavky vývoje v automobilovém průmyslu. Přihlášeno bylo 52 účastníků z více než 20ti českých a zahraničních firem. Mezi přednášejícími byli mimo jiných zástupci CzechInvestu, Volume Graphics (Německo), Českého metrologického institutu a Synchrotronu Elettra (Itálie).

KONTAKTY

Web:

ctlab.ceitec.cz

Email:

ctlab@ceitec.vutbr.cz

Telefon:

+420 541 149 867

Adresa:

CEITEC VUT

Vysoké učení technické v Brně

Středoevropský technologický institut

Purkyňova 656/123

612 00 Brno

Kontaktní osoba:

Ing. Tomas Zikmund, Ph.D.

tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz

+420 541 142 846