

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Využití laserového skeneru pro měření deformací karoserií osobních vozidel
po dopravní nehodě

Hlavůněk Ivo

Bakalářská práce

2014

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ivo Hlavůněk**
Osobní číslo: **D10955**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury**
Název tématu: **Využití laserového skeneru pro měření deformací karoserií osobních vozidel po dopravní nehodě**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Měření deformací karoserie pomocí referenčních bodů
- 3) Měření deformace karoserie laserovým skenerem
- 4) Vyhodnocení měření povrchu karoserie, deformačních zón a nosníků pomocí laserového skeneru
- 5) Závěr: Další možnosti využití navržených postupů

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- 1) Návod k použití laserového skeneru zn. Faro
- 2) Servisní manuály výrobců automobilů - seznam a kóty referenčních bodů karoserie


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 31. května 2013


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích 28. 8. 2014

Ivo Hlavůněk

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Tesařovi, CSc., za ochotu a vstřícnost.

Anotace:

Práce se zabývá možnostmi měření deformací vozidel po nehodě. Srovnává postup měření rozměrů motorového dvoustopého vozidla dle normy ČSN 30 0521 z roku 1955 a novější způsob skenování 3D laserem. Popisuje zásady měření včetně výpočtu chyb, úskalí měření a základní návod a nastavení k obsluze laserového fázového skeneru Faro Focus 3D.

Klíčová slova:

Měření rozměrů vozidla, norma ČSN 30 0521, laser, skener.

Annotation:

This work deals with measuring deformation vehicle after the road accident. It compares the measurement procedure dimensional two-track motor vehicles according to CSN 30 0521 1955 and newer method of 3D laser scanning. It describes the principles of measurement, including calculation errors, measurement pitfalls and basic setup instructions and manual laser phase Faro Focus 3D scanner.

Keywords:

Measuring of vehicle dimensions, CSN 30 0521, laser, scanning.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD..... | 7 |
| 1. MĚŘENÍ ROZMĚRŮ VOZIDLA (NORMA ČSN 30 0521) | 8 |
| 1.1. CHARAKTERISTIKA NORMY..... | 8 |
| 1.2. MĚŘIDLA A POMŮCKY PRO MĚŘENÍ..... | 8 |
| 1.3. POSTUPY..... | 10 |
| 1.4. OBECNÉ CHYBY MĚŘENÍ A NEJISTOTY..... | 11 |
| 2. LASER.. | 13 |
| 2.1. HISTORIE A PRINCIP..... | 13 |
| 2.2. DRUHY LASERŮ..... | 13 |
| 2.3. PŘÍKLADY POUŽITÍ LASERU..... | 16 |
| 3. MĚŘENÍ S LASEREM FOCUS 3D.. | 19 |
| 3.1. POPIS PŘÍSTROJE..... | 19 |
| 3.2. MOŽNOSTI NASTAVENÍ..... | 19 |
| 3.3. ZÁSADY 3D SKENOVÁNÍ..... | 20 |
| 3.4. POMŮCKY PRO SPOJOVÁNÍ SKENŮ..... | 20 |
| 3.5. PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED SKENOVÁNÍM..... | 21 |
| 3.6. ÚPRAVA MRAČNA BODŮ..... | 22 |
| 3.7. SKLÁDÁNÍ OBRAZŮ.. | 22 |
| 3.8. CHYBY MĚŘENÍ A NEJISTOTY..... | 23 |
| 4. MĚŘENÍ ROZMĚRŮ VOZIDLA..... | 24 |
| 4.1. MĚŘENÉ VOZIDLO..... | 24 |
| 4.2. VOZIDLO PŘED NEHODOU..... | 24 |
| 4.3. VOZIDLO PO NEHODĚ..... | 30 |
| 5. DEFINICE, POUŽITÉ ZKRATKY..... | 35 |
| 6. ZÁVĚR..... | 37 |
| 7. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE..... | 38 |

ÚVOD

Vypracovat práci na toto téma mne napadlo ve chvíli, kdy jsem zjistil při zkoumání norem týkajících se motorových vozidel platných v naší republice, že norma ČSN 300521 Stanovení kontrolních rozměrů vozidel nebyla od okamžiku vydání 31. 12. 1955 aktualizována. Postupy popsané v této normě odpovídají době vzniku, např. jako pomůcky při měření jsou uvedeny rovná dřevěná lať a tiskařská barva, nejistota měření není vyžadována a zjištěné hodnoty se zaokrouhlují na nejbližší násobek 5 mm. Dnešní postupy měření, ať už používané např. v opravárenství, autoservisech nebo ve stavebnictví umožňují přesnější postupy a hlavně vhodnější archivaci výsledků s ohledem na možné pozdější porovnání hodnot. V práci se pokusím porovnat klasickou metodu měření dle normy a moderní měření laserovým skenerem.

1. MĚŘENÍ ROZMĚRŮ VOZIDLA (NORMA ČSN 30 0521)

1.1 CHARAKTERISTIKA NORMY

Norma určená k měření rozměru silničních vozidel obecně se nazývá Statická kontrola silničních vozidel, část Kontrola základních rozměrů. Platí pro dvoustopá nejméně čtyřkolová silniční motorová vozidla, určuje podmínky pro měření a popisuje postup měření, potřebná měřidla a pomůcky.

1.2 MĚŘIDLA A POMŮCKY PRO MĚŘENÍ

Norma označuje předměty používané při měření jako pomůcky a vyjmenovává je. Z hlediska novější Vyhlášky č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, se jedná o měřidla a pomůcky. Rozdíl spočívá v tom, že měřidla musí být ověřena pověřeným kalibračním ústavem, kdežto pomůcky nikoliv.

- Měřidla:
- a) Metr
 - b) Kovová pásmová míra
 - c) Sklonoměr (vodováha)
- Pomůcky:
- d) Dřevěné pravítko (rovná lať), dostatečné pevné ve směru měření
 - e) Olovnice
 - f) Křída nebo barva
 - g) Razítková barva

Měřidla použitá při měření rozměrů vozidla:

- a) Ocelové pravítko 2 m vyztužené hliníkovým profilem
Kalibrace platná, rozšířená nejistota měření $U = \pm 0,062 \text{ mm}$
- b) Ocelová pásmová míra 30 m
Kalibrace platná, rozšířená nejistota měření $U = \pm 1.1 \text{ mm}$
- c) Elektronický digitální sklonoměr délky 1,6 m
Kalibrace platná, rozšířená nejistota měření $U = \pm 5'$



Obr. 1.1 – Některá měřidla a pomůcky [foto autor]

Pomůcky použité při měření rozměrů vozidla:

- c) 2 ks olovnice 150g
S ostrým koncem k vyznačení svislice do papírové pásky.
- d) Papírová lepicí páska
Místo křídly k vyznačení olovnicí spuštěných kolmic a gelová tužka s hrotem 0,3 mm. Toto řešení je přesnější než vyznačení bodu křídou, umožňuje přímo označit bod vytlačáním hrotu olovnice do papírové pásky.
- e) Razítková barva
Razítková barva k měření rozchodu kol náprav vozidla se po zkouškách přestala používat. Bylo zjištěno, že množství barvy nanášené na stykovou plochu pneumatiky se velmi špatně odhaduje a následně se prostor měření rychle ušpiní a není vhodný pro další měření. Pro měření rozchodu stačí stykovou plochu lehce navlhčit a směs prachových částic přítomná na pneumatice zanechá na papírové pásce naprosto zřetelný obraz dezénu pneumatiky.
- f) Rovná podlaha
Nutná pro měření výšky, jejíž plocha je větší minimálně o 10 % než půdorys vozidla, nejméně však 2 m na délku i šířku, do výšky pak musí zbývat nejméně 1 m volného prostoru. Rovinné parametry nejsou v normě nijak specifikovány. Při konkrétním měření byla použita cementová podlaha se speciální nivelační stěrkou, která při kontrolním kombinovaném měření 1,6 m sklonoměrem s klínky vykazovala na délce sklonoměru úchylku do 1 mm.

- g) V normě je dále odkaz na různé normované hmotnosti vozidel, konkrétně pohotovostní hmotnost a přípustnou celkovou hmotnost, které jsou definovány v novější normě ČSN ISO 1176 (ČSN 30 0030). Celková výška vozidla, hodnoty výšky ložné plochy se měří při pohotovostní hmotnosti, hodnota světlé výšky při naložení na přípustnou celkovou hmotnost. Kontrolu těchto hmotností však norma vůbec neřeší, pro konkrétní měření se vycházelo z údajů Osvědčení o technickém průkazu, případně z technického průkazu vozidla. Náklad vozidla do přípustné celkové hmotnosti byl vyřešen naložením osob se známou osobní hmotností do limitu celkové hmotnosti.

1.3 POSTUPY MĚŘENÍ

Přistavené vozidlo se zabrzdí nebo zaklínuje. Na podlahu se vyznačí podélná rovina vozidla, podle normy není třeba body roviny přímo měřit, stačí vyjít z osy souměrnosti vozidla a použít např. osu závěsného zařízení. Vozidlo musí mít neopotřebované pneumatiky nahuštěné podle předpisu výrobce, pro měření je výhodou rozvod tlakového vzduchu nebo kompresor, protože pro nenaložené vozidlo (pohotovostní hmotnost) je vždy předepsána jiná hodnota huštění než pro naložené vozidlo (přípustná celková hmotnost).

1.3.1 Měření délky vozidla

Pomocí olovnice se vyznačí nejvzdálenější body karoserie vozidla. Podle normy se bere v úvahu veškeré příslušenství nebo doplňky, např. tažné zařízení. Pokud naměřené body neleží v ose souměrnosti vozidla, změří se jejich vzdálenost od osy a potřebná hodnota se vypočítá pomocí rozdílu vzdálenosti a Pythagorovy věty. Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší násobek 5 mm.

1.3.2 Měření šířky vozidla

Postupuje se stejně, jako při měření délky vozidla, pokud není na první pohled zřejmá největší hodnota šířky, měří se na více místech za využití charakteristických bodů karoserie a bere se nejvyšší hodnota. Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší násobek 5 mm.

1.3.3 Měření výšky vozidla

Pokud není zřejmý nejvyšší (nejnižší pro světlou výšku) bod karoserie, měří se na více místech za využití sklonoměru a ocelového pravítka, bere se nejvyšší (nejnižší) hodnota. Spadá sem podle normy měření světlé výšky, výšky umístění závěsu nebo tažného oka vozidla, výšky ložné plochy a celková výška vozidla. Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší násobek 5 mm.

1.3.4 Měření rozvoru vozidla

Vozidlo se ustaví s rejdovými koly v přímém směru. Pomocí olovnice se promítnou středy os kol pro každou nápravu zvlášť na měřicí rovinu. Pro kontrolu se měří obě strany vozidla a uvede se aritmetický průměr. Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší násobek 5 mm. Norma tedy vůbec nepředpokládá možnost jiných hodnot rozchodu vlevo a vpravo, jako např. u vozidla

Renault 4 nebo Renault 14, kde tento rozdíl nastal díky zadní klikové nápravě s odpružením torzními tyčemi umístěnými napříč karoserie za sebou.

1.3.5 Měření rozchodu vozidla

Vozidlo s takovou konstrukcí zavěšení kol, kdy se při změně hmotnosti mění hodnota rozchodu nutno měřit při zatížení na celkovou přípustnou hmotnost. Vozidlem se několikrát popojede vpřed a vzad před ustavením v měřicí poloze. Rejdová kola se přitom uvedou do přímého směru. Před kola se na kontrolní rovinu nalepí papírová páska a povrch pneumatiky se navlhčí. Při použití dvoumontáže kol na vozidle se měří vnitřní a vnější rozchod kol. Podle normy se rozchod odečítá na středu otisku vzorku, orientací je středová drážka. Tuto podmínku některé současné pneumatiky nespĺňují, u asymetrických desénů a desénů s proměnnou délkou segmentů desénů je třeba měřicí body vybírat pečlivě.

1.4 OBECNÉ CHYBY MĚŘENÍ A NEJISTOTY

Akreditované zkušební laboratoře používají stanovená měřidla, která mají nejistotu měření vyjádřenou opakovaným srovnáním s etalonem kalibračního ústavu, musí však být schopny vyhodnotit všechny nejistoty v procesu měření. Při tom vychází z pokynů Českého institutu pro akreditaci, o.p.s., uvedených na internetových stránkách akreditačního orgánu, a to konkrétně Směrnice EA-04/16 G:2003 o vyjadřování nejistoty v kvantitativním zkoušení (EA Guidelines on the Expression of Uncertainty in Quantitative testing) a Směrnice EA-04/02 M:2013 o vyjádření nejistoty měření při kalibraci (Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration).

Nejistota tvoří parametr připojený k výsledku měření, který charakterizuje rozmezí hodnot, ve kterém leží skutečný výsledek, s pravděpodobností uvedenou tamtéž.

Souhrn nejistot je tvořen nejistotou přístroje, nejistotou metody, možnosti odečítání výsledků měření a všemi dalšími nestabilními ději v procesu měření.

1.4.1 Nejistota typu A

Nejistotu typu A získáme statistickou analýzou série naměřených hodnot z opakovaných měření stejné veličiny. Je ovlivněna náhodnými vlivy.

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}}$$

Počet opakovaných měření by měl být větší než deset, protože jinak není možné učinit kvalifikovaný odhad. Pokud není k dispozici potřebný počet měření, použijeme korigovanou nejistotu u_{Ak} ,

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y})$$

kde k je koeficient závislý na počtu opakovaných měření. Hodnoty koeficientu k pro různé počty opakovaných měření jsou v následující tabulce:

| | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| n | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| k | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 7,0 |

1.4.2 Nejistota typu B

Standartní nejistota typu B se odhaduje expertním odhadem na základě dostupných informací a zkušenosti. Nejčastěji použijeme:

- údaje výrobce měřicí techniky (technické parametry použitého zařízení)
- zkušenosti z předchozích měření
- zkušenosti s vlastnostmi chování materiálů a techniky poznatky o nich
- údaje získané při kalibraci a z certifikátů
- nejistoty referenčních údajů v příručkách

1.4.3 Nejistota typu C

Kombinovaná standartní nejistota typu C se získá sloučením standartní nejistoty typu A (u_A) s výslednou standartní nejistotou typu B (u_B):

$$u_C(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$$

1.4.4 Rozšířená nejistota

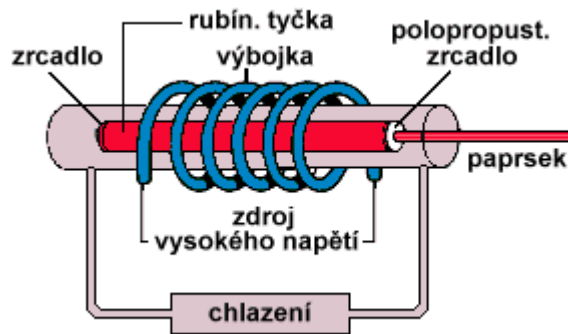
Rozšířená nejistota je součinem standartní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnostnímu pokrytí cca 95% (zaručuje interval spolehlivosti přibližně 95%).

$$U = k * u$$

2. LASER

2.1 HISTORIE A PRINCIP

Laser – z anglické zkratky light amplification by stimulated emission of radiation (světlo zesílené vynucenou emisí záření), přístroj, který vyzařuje úzký svazek koherentních a monochromatických paprsků. Funguje tak, že elektrony jsou vloženy energií na vyšší energetickou hladinu. Při návratu zpět vyzaří přebytek energie ve formě fotonů.



Obr. 2.1 – Princip pevnolátkového laseru [9]

Teoreticky laser ve svých pracech předpověděl Albert Einstein počátkem minulého století, v roce 1951 Charles H. Townes vynalezl jeho mikrovlnnou obdobu maser, v roce 1954 Charles H. Townes, James P. Gordon a Herbert J. Zeiger maser sestrojili.

16.května 1960 postavili Theodore Maiman, C.K. Asawa, a I.J. D'Haenens první funkční laser (pevnolátkový s využitím rubínu) v Hughesových výzkumných laboratořích v Leidenu v Kalifornii. Hned v témže roce se podařilo vyvinout několik dalších konstrukcí, např. laser v IBM, helium-neonový laser v Bellových laboratořích jako první plynový.

V roce 1961 byl poprvé použit laser v lékařství, Charles Campbell a Charles Koester pomocí rubínového laseru odstranili zánět sítnice oka.

V roce 1962 byly nezávisle čtyřmi týmy sestaveny první polovodičové lasery, kde základ přístroje tvoří dioda a které mohou pracovat za běžné teploty.

V roce 1963 byl C. K. N. Patelem vynalezen laser na principu oxidu uhličitého.

2.2 DRUHY LASERŮ

2.2.1 Dělení podle způsobu měření vzdálenosti bodu

- Systém založený na pulzním dálkoměru

Laserový puls je vyslán směrem na měřený objekt a vzdálenost mezi vysílačem a povrchem objektu je spočítána z času, který uběhne mezi vysláním a přijetím signálu.

$$D = n * \lambda + \varphi \frac{\lambda}{2\pi}$$

kde: D je vzdálenost od skeneru k objektu,

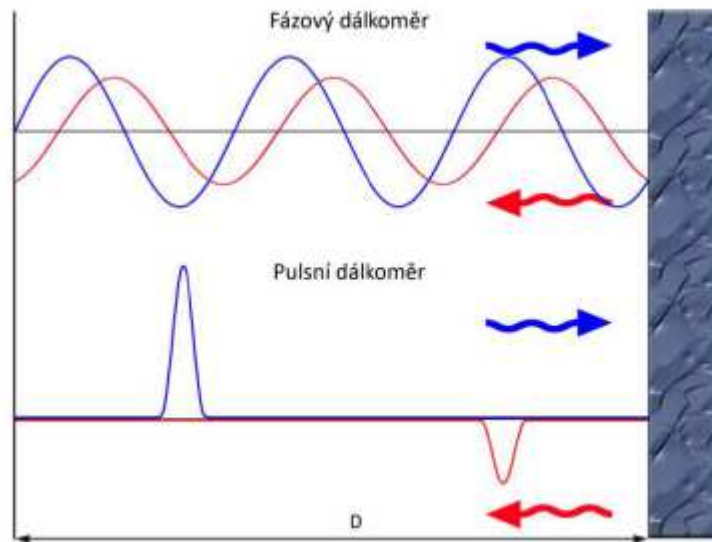
n je počet opakování celého rozsahu 2π vlnové délky λ ,

φ je fáze přijatého signálu.

- Systém založený na fázovém dálkoměru
Tato metoda je také dobře známá z elektronických dálkoměrů. V tomto případě je vysílaný signál modulován harmonickým vlněním a vzdálenost se spočítá z fázového rozdílu vyslaného a přijatého signálu. Tento laser musí mít omezený dosah měření, aby se fáze neopakovala a nedocházelo tím ke zkreslení měřené vzdálenosti.

$$D = n * \lambda + \varphi \frac{\lambda}{2\pi}$$

kde: D je vzdálenost od skeneru k objektu,
 n je počet opakování celého rozsahu 2π vlnové délky λ ,
 φ je fáze přijatého signálu.



Obr. 2.2 – Schéma obou systémů vyhodnocení vzdálenosti bodů [3]

2.2.2 Dělení podle druhu aktivního prostředí

- Pevnolátkové lasery
Aktivním prostředím jsou krystalické nebo amorfni izolanty s příměsí vhodných iontů, excitace je obvykle optická. Tyto lasery mohou pracovat v různých režimech a za různých provozních podmínek, jsou stabilní a mají malé nároky na údržbu. Jejich záření má vlnové délky v oboru infračerveného a viditelného světla. Nejznámějším představitelem je laser rubínový, jehož aktivním prostředím je krystal syntetického rubínu. Nejrozšířenější je dnes laser neodymový. Vyzařuje infračervené záření nebo zelené světlo a má uplatnění v nejrůznějších oborech, zejména v medicíně.
- Plynové lasery
Aktivní plynné prostředí může být tvořeno atomy, ionty nebo molekulami. Plynové lasery pracují ve velmi širokém rozsahu vlnových délek v kontinuálním nebo pulzním režimu. Jejich excitace je většinou pomocí elektrického výboje ve zředěném plynu, optická excitace se používá jen zřídka. Plynové lasery mají homogenní aktivní prostředí, které zajišťuje jejich výborné parametry. Nevýhodou je poměrně malý výkon.

K nejrozšířenějším typům patří červeně zářící helium - neonový laser, v průmyslu a medicíně se nejvíce používá infračervený laser CO₂. Světelné efekty poskytuje např. modře a zeleně zářící laser argonový. Zvláštním typem plynových laserů jsou lasery excimerové, které jsou výkonným zdrojem ultrafialového záření. Aktivním prostředím jsou molekuly, vzniklé spojením dvou atomů různých vzácných plynů (argon - krypton, krypton - fluor apod.) působením svazku elektronů.

- Polovodičové lasery
Tato skupina laserů dnes patří mezi nejrozšířenější, zdrojem záření je tzv. laserová dioda. Diody mají velmi malé rozměry, což je na jedné straně jejich výhodou, na druhé straně je jejich paprsek rozbíhavější než u jiných typů laserů. Účinnost diod je vysoká (až 50 %), jejich výkon se dá snadno měnit (modulovat) změnou elektrického proudu. Proto našly laserové diody velké uplatnění zejména v telekomunikacích, ve výpočetní technice i spotřební elektronice.

2.2.3 Dělení podle excitace aktivního prostředí

- Optické buzení
Energie, potřebná ke vzniku laserového záření, se dodává ve formě světelného záblesku. Například v rubínovém laseru je rubínová tyčinka vložena do spirálové výbojky. Jejím zábleskem dojde k přechodu atomů na vyšší hladinu, při jejich návratu do základního stavu se část této energie vyzáří ve formě laserového záblesku. Používá se u pevnolátkových a kapalinových laserů.
- Buzení elektrickým polem
Základem je elektrický výboj, ke kterému dochází v plynové náplni laseru. Lasery pracují v kontinuálním provozu a jejich výkon se dá měnit změnou objemu plynu nebo jeho plynulou cirkulací.
- Chemická excitace
K čerpání energie do aktivního prostředí se využívá energie exotermických chemických reakcí. První chemický laser byl zkonstruován roku 1965 a využíval reakce vodíku s chlorem. Později se začala používat reakce vodíku s fluorem. U jiného typu se získává energie disociací (štěpením) molekul jódu ultrafialovým zářením.

2.3 PŘÍKLADY POUŽITÍ LASERU

2.3.1 Využití v průmyslu

- Snímkování terénu, budov a předmětů
Moderní 3D laserové skenery s podporou programů na zpracování mračen bodů umožňují přesně a rychle naskenovat terén z letadel, průjezdný profil železniční cesty včetně nejbližšího okolí, jámu povrchového dolu a současně vyhodnotit množství vytěženého uhlí, nasnímat systém potrubí v chemickém provozu a převést do digitální mapy včetně zobrazení propojení jednotlivých uzlů. Umožňují také nasnímat předměty jinak nedosažitelné, například sochy ve štítu historických domů. S vývojem techniky, kdy přesnost ve zlomcích milimetru doplnila rychlost skenování v řádu stotisíců bodů za vteřinu se rychle rozšiřuje možnost použití 3D laserového skeneru.

- Obrábění materiálů (řezání a vrtání)
Laserové obrábění se dnes používá prakticky ve všech výrobních odvětvích. Zvláště výhodné je použití laseru při přesném vyřezávání složitých tvarů. V místě dopadu laserového paprsku se materiál taví a je z řezu „odfukován“ proudem inertního plynu. Přitom nevzniká téměř žádný odpad a materiál při řezání ani není třeba upínat. Proto se tímto způsobem dají s vysokou přesností řezat i křehké nebo snadno deformovatelné materiály, například textil. Snadné vyřezávání šablon nebo fólií podle počítačové předlohy zvyšuje produktivitu práce také práci v reklamním průmyslu.

- Svařování kovů
Svařování laserem je v mnoha případech výhodnější než použití klasických technologií. Tepelné působení paprsku je jenom lokální, takže nedochází k tepelnému poškození okolí svařovaného místa. Paprsek, soustředěný do průměru menšího než 0,5 mm, dovoluje vytvářet i velmi jemné a kvalitní sváry, celý proces je možno řídit počítačem. Svařovat se dá nejen většina materiálů svařovatelných běžným způsobem. Díky soustředění energie na nepatrnou plošku lze svářet i materiály s vysokou teplotou tání. Laser je zvláště vhodný pro svařování nerezavějící oceli, titanových, zirkonových nebo chromniklových slitin.

- Značení a gravírování
Laserový paprsek vytváří na povrchu materiálu mechanicky odolný, velmi přesný a kontrastní popis. Jeho trvanlivost je zaručena bez použití chemických přísad, barev nebo mechanických zásahů do struktury materiálu. Označovat se dá prakticky jakýkoli kovový i nekovový materiál, povrch výrobku může mít libovolný tvar a povrchovou úpravu. Změnou parametrů laseru je možno plynule měnit hloubku popisu od několika tisícín milimetru až po gravírování do větší hloubky. V technických aplikacích je důležitá hlavně trvanlivost popisu, reklamní použití klade důraz především na grafickou kvalitu popisu. Nejčastěji se používá neodymový nebo CO₂ laser.

- Zaměřování a měření vzdáleností
Laserový paprsek se šíří přímočaře a má - na rozdíl od světla z běžných zdrojů - minimální rozbíhavost. Je proto ideálním pomocníkem při zaměřování a vytyčování objektů na stavbách nebo v geodézii. S rozvojem polovodičových laserových diod dnes najdeme zaměřovače v profesionálních i spotřebitelských zařízeních. Patří k nim třeba laserová vodováha nebo přímočará pilka se zaměřovacím paprskem pro přesné řezání. Laserovým paprskem se měří pozemské vzdálenosti v geodézii, ale i vzdálenosti družic nebo Měsíce od Země. Princip je podobný jako u radaru - měří se doba mezi vysláním a přijetím světelného impulzu.

2.3.2 Využití v lékařství

- Oční operace
Laserového světla se užívá v očním lékařství při velmi složitých a citlivých operacích. Zářením se může „přivařit“ odchlípená oční sítnice, odstraňuje se zelený zákal, léčí se postižení sítnice při cukrovce. Zřejmě nejpopulárnějšími aplikacemi laseru v očním lékařství jsou operace očních vad (krátkozrakost, dalekozrakost) excimerovým laserem, označované zkratkou LASIK. Podstatou uvedených očních vad bývá obvykle nepřiměřené zakřivení rohovky vzhledem k délce oka. Laserovým paprskem se v takovém případě tvar rohovky upraví a vada se zcela nebo částečně odstraní.
- Další příklady využití
Velmi rozšířené je použití laserů v dermatologii i v kosmetických salonech. Paprsek výkonného erbiového laseru, řízeného počítačem, přesně odstraní tkáň, která je v daném místě nežádoucí. K jejímu „odpařování“ dochází ve velmi tenkých vrstvičkách, silných jen tisícin milimetru. K ošetření ani není třeba používat místní znecitlivění. Odstraňují se tak bradavičky, barevné skvrny nebo mateřská znaménka, vyhlazují se jizvy.

2.3.3 Další využití

- Astronomie, geodézie, geofyzika
Pulzními lasery (délka impulzů řádově až 10^{-15} s), se měří vzdálenosti různých objektů na základě odrazu záření od nich. Doba, která uplyne mezi vysláním impulzu a přijetím odraženého impulzu, je úměrná vzdálenosti překážky. Při měření se používají tzv. koutové odražeče, umístěné na objektech. Od koutového odražeče se světlo odráží vždy zpět, nezávisle na úhlu dopadu. Astronomové měří tímto způsobem vzdálenosti družic nebo Měsíce s přesností několika centimetrů. Koutový odražeč byl jeden z prvních přístrojů, které umístili američtí astronauti na povrchu Měsíce. Laserová měření slouží mj. k určování drah družic, při studiu zemětřesení nebo měření vzájemného pohybu zemských kontinentů.

- Laserová tiskárna a kopírka

Laserová tiskárna používá laserový paprsek k vytvoření elektrostatického „obrazu“ na světlocitlivém válci. Obraz je pak z rotujícího válce přenesen ve viditelné formě na papír. Informace o znacích vytvořených počítačovým programem jsou přiváděny do modulátoru, kterým je laserový paprsek přerušován. Na světlocitlivý válec se pak elektrostaticky nanáší tzv. toner a z válce je přenášen na papír. Vyhřívacími válci se toner roztaví a trvanlivě pronikne do struktury papíru. Laserová tiskárna poskytuje velmi kvalitní výsledky při velké rychlosti tisku. Podobnou konstrukci má také laserová kopírka, elektrostatický „obraz“ na světlocitlivém válci vznikne odrazem laserového paprsku od kopírované předlohy.

3. MĚŘENÍ S LASEREM FARO FOCUS 3D

3.1. POPIS PŘÍSTROJE

Laser Faro Focus 3D je jeden z nejmenších fázových skenerů určených ke skenování v interiéru a za vhodných povětrnostních podmínek (teplota od + 5° do + 40°C, nekondenzující vlhkost) i v terénu.

Rozměry 240 x 200 x 100 mm, hmotnost pod 5 kg, provoz i na baterie s výdrží více než 4 hodiny. Dosah za vhodné okolní světelnosti a odrazivosti předmětů přes 100 m. Rychlost snímání až 976 000 bodů za sekundu, trasovací chyba do 2 mm na vzdálenost 25 m. Výkon laseru 20 mW, rozsah zobrazení 360 x 305°. Přístroj není třeba před měřením uvádět do přesně vodorovné polohy, neboť obsahuje dvouosý automatický kompenzátor. Záznam dat se provádí na 32GB paměťovou kartu. Přístroj má vlastní wi-fi a umožňuje vzdálený přístup pro snadné ovládání pomocí tabletu nebo mobilního telefonu. Pro skenování jsou k dispozici tři masivní stativy s volitelnou výškou od 50 cm do 320 cm.



Obr. 3.1,2 – Skener v transportním kufríku včetně doplňků a celkový pohled na přístroj
[foto autor]

3.2. MOŽNOSTI NASTAVENÍ

Na dotykovém displeji je několik záložek k nastavení parametrů.

- označení a řazení jednotlivých skenů do složek
- rozlišení v milionech bodů
- úroveň kvality, což znamená, z kolika „dotazů“ budou zprůměrovány souřadnice jednotlivého bodu
- horizontální a vertikální rozsah skenování ve stupních
- možnost přiřadit souřadnicím barvu
- nejvhodnější profil skenování podle požadované vzdálenosti a odrazivosti povrchu
- výsledné rozlišení skenu
- kvalita skenování, kdy se uživatel rozhodne mezi mírou potlačení šumu a délkou skenování

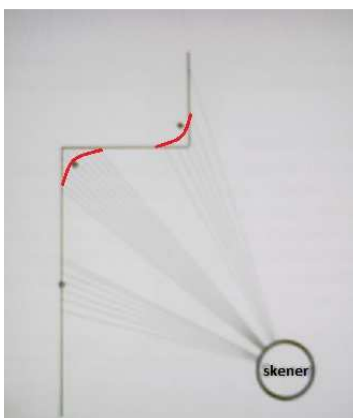
Po nastavení se zobrazí předpokládaný čas trvání skenování a také bezpečná vzdálenost s ohledem na nebezpečí poškození zraku.

3.3. ZÁSADY 3D SKENOVÁNÍ

Připomínám, že skener je schopen zachytit pouze přímo viditelné body. Před zahájením skenování zvláště v terénu je vhodné pomocí např. jednoduchého plánu určit optimální stanoviště, případně několik, aby obraz požadovaného předmětu byl kompletní a nevykazoval hluchá místa.

Je třeba brát ohled na atmosférické podmínky. Měření se nemusí podařit uskutečnit za velmi jasného počasí v místě s výraznými lomy světla. Nedoporučuje se skenovat v případě vysoké vlhkosti vzduchu, nelze skenovat za mlhy nebo deště.

Vzhledem k tomu, že skener souřadnice bodů průměruje z několika paprsků, může dojít ke zkreslení souřadnic rohových bodů, hrany na vyobrazení se potom zdají být zaoblené.



Obr. 3.3 – Zkreslení bodů na skenu vnitřní a vnější hrany [4]

Skener si neporadí se zobrazením při postavení kolmo na hranu, kdy stěna souběžná s paprsky neumožní správně vyhodnotit souřadnice.

Lze skenovat například místo dopravní nehody i bez přerušení provozu, pokud ovšem auta úplně nezastavují. Projíždějící vozidla se na skenu zobrazí jen jako stíny stíny. Ty lze potom eliminovat při skládání skenů – registraci.

3.4. POMŮCKY PRO SPOJOVÁNÍ SKENŮ

Při přípravě skenování je třeba také pečlivě promyslet umístění tzv. vlíčovacích pomůcek pro pozdější spojení obrazů v programu pro zpracování dat. Nejčastěji se používají vlíčovací koule bílé barvy s přesným průměrem. Ty v počtu minimálně 3 ks je třeba rozmístit tak, aby byly viditelné ze všech uvažovaných stanovišť, program pro zpracování dat je na obrázku umí vyhledat a jednotlivé skeny pak příslušným způsobem spojit.



Obr. 3.4,5,6 – Balení vřícovacích koulí, porovnání s měřítkem, možnost uchycení koule magnetem nebo na stojánek [foto autor]

3.5. PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED SKENOVÁNÍM

Před začátkem skenování je třeba zvážit, zda to povrch předmětu vůbec umožňuje. Bez přípravy nelze skenovat skleněný povrch, tmavé barvy dávají též slabé výsledky. Z toho důvodu, pokud to např. z hygienických důvodů lze, opatříme povrch nástřikem bílého jemného křídového pigmentu. Poté lze očekávat příznivé výsledky.



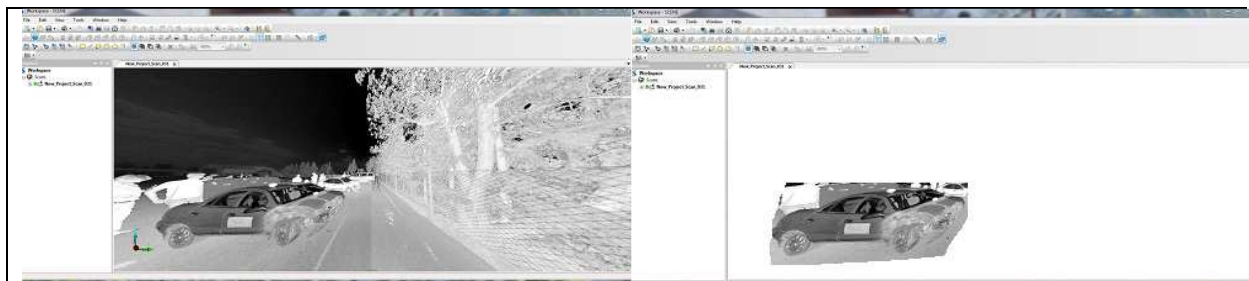
Obr. 3.7 – Přední část vozidla nastříkaná křídou před skenováním. Zde bohužel neznalí účastníci testu zkoušeli trvanlivost povlaku. [foto J. Andres]



Obr. 3.8 – Skenování konkrétního vozidla [foto J. Andres]

3.6. ÚPRAVA MRAČNA BODŮ

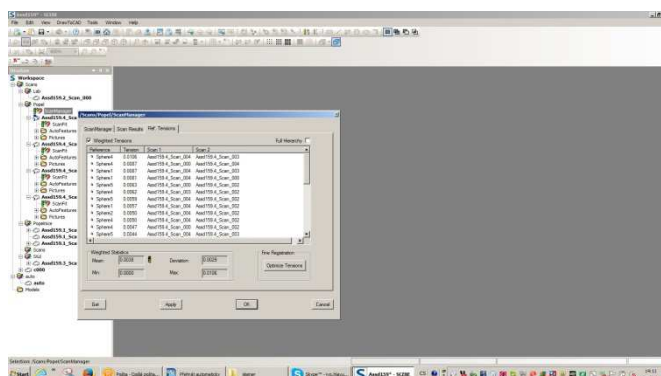
Po načtení skenů z paměťové karty do PC lze začít s úpravou obrazů v programu. V první řadě je nutno ořezat zobrazení požadovaného předmětu co nejvíce, už kvůli potřebné volné paměti PC. Menší velikosti souboru lze dosáhnout také naředěním bodů, pokud to jde (na velkých rovných plochách).



Obr. 3.9,10 – Neupravený a oříznutý sken v programu Scene

3.7. SKLÁDÁNÍ OBRAZŮ

V dalším kroku lze provést kontrolu vlíčování a spojit skeny do jednoho obrazu. V tomto konkrétním případě měly čtyři skeny původní velikost 1.54 GB, kterou se podařilo bez zkreslení nebo jiného omezení zmenšit na cca 10%.



Obr. 3.11 – Kontrola načtení vlíčovacích koulí a slíčování obrazů v programu Scene

Pro potřeby měření délky je nejrychlejším a nejjednodušším postupem označit si body měření a program Scene zobrazí jejich souřadnice. Ty přenést do tabulky programu Excel a vypočítat jejich vzdálenosti podle následujícího vztahu:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$



Obr. 3.12 – Ukázka zobrazení souřadnic a barvy požadovaného bodu v programu Scene

Program Scene také umožňuje převést seznam souřadnic bodů do souboru ve formátu .txt, a dále s nimi pracovat v programech AutoCAD nebo Geomagic. Program Geomagic navíc dokáže zpracovat i syrová data přímo ze skeneru, proložit skeny libovolnými rovinami a velice pohotově měřit vzdálenosti nebo objemy.

3.8. CHYBY MĚŘENÍ

Výrobce skeneru společnost Faro je držitelem certifikátu ISO/IEC 17025:2005 pro zkušební laboratoř. K výrobku Faro Focus 120 dodala prohlášení o kalibraci, kterému chybí vyjádření nejistoty konkrétního výrobku a nelze korektně stanovit rozšířenou nejistotu měření. Situace se momentálně řeší.

4. MĚŘENÍ ROZMĚRŮ VOZIDLA

4.1 MĚŘENÉ VOZIDLO

Měření dne 28. 4. 2014

Měřené vozidlo: Mitsubishi Carisma sedan

Výrobce: Mitsubishi Motors, Japan, výrobní továrna Nizozemí

Technické parametry: neznámé, vozidlo určené pro crashtest bylo pořízeno darem sponzora, určeno k sešrotování, bez dokladů. Jedná se o model vyráběný v letech 1996 až 2004, zde konkrétně verze před faceliftem v roce 1998.



Obr. 4.1 – Vozidlo Mitsubishi, šipkami vyznačena místa měření rozměrů
[foto J. Andres]

4.2 MĚŘENÍ PŘED NEHODOU

4.2.1 MĚŘENÍ VOZIDLA MECHANICKÝMI MĚŘIDLY

4.2.1.1 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ I

Měřeno v podélné ose vozidla, postupně naměřeny hodnoty 4485, 4482, 4483, 4483 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y_i | ΔY_i | ΔY_i^2 |
|----------|-------|--------------|----------------|
| 1 | 4485 | 1,75 | 3,0625 |
| 2 | 4482 | -1,25 | 1,5625 |
| 3 | 4483 | -0,25 | 0,0625 |
| 4 | 4483 | -0,25 | 0,0625 |

| | |
|--------------|---------|
| Stř. hodnota | 4483,25 |
|--------------|---------|

| |
|------|
| 4,75 |
|------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{4,75}{12}} = 0,63 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny pouze čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven $k = 1,7$.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 0,63 = 1,07 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

| Zdroj | Velikost | Rozdělení | Přepočet | Přírůstek |
|---------------|----------|------------|------------|-----------|
| Chyba měřidla | 1,3 mm | rovnoměrné | $\sqrt{3}$ | 0,75 mm |
| Chyba odečtu | 0,5 mm | rovnoměrné | $\sqrt{3}$ | 0,29 mm |

Ocelové měřicí pásmo spadá do II. třídy přesnosti: dle EG (EG = směrnice Rady 78/629/EHS, převzato do vyhlášky MPO č. 339/2000 Sb.)

Vztah pro mezní chyby:

$$\text{II. tř. př.} = \pm (0,3 + 0,2L) \text{ mm,}$$

kde L je sledovaná délka zaokrouhlená na nejbližší vyšší celý počet metrů

$$\delta_{dov} = (0,3 + 0,2 * 5) = 1,3 \text{ mm}$$

$$u_{B1}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{1,3}{\sqrt{3}} = 0,75 \text{ mm}$$

U chyby δ_{dov} , resp. intervalu, který se rozprostře kolem odhadu hodnoty měřené veličiny, se předpokládá rovnoměrné pravoúhlé rozdělení.

$$u_{B2}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ mm}$$

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,75 + 0,29 = 1,04 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{1,07^2 + 1,04^2} = 1,5 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_c(l) = 2 * 1,5 \cong 3,0 \text{ mm}$$

Výsledek opakovaného měření délky automobilu v jeho podélné ose je tedy **4483,2 ± 3,0 mm**.

4.2.1.2 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ II

Měřeno rovnoběžně s podélnou osou vozidla, ve vzdálenosti 500mm od podélné osy vpravo ve směru jízdy, postupně naměřeny hodnoty 4432, 4434, 4433, 4432 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y _i | ΔY _i | ΔY _i ² |
|----------|----------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 4432 | -0,75 | 0,5625 |
| 2 | 4434 | 1,25 | 1,5625 |
| 3 | 4433 | 0,25 | 0,0625 |
| 4 | 4432 | -0,75 | 0,5625 |

| | |
|--------------|---------|
| Stř. hodnota | 4432,75 |
|--------------|---------|

| |
|------|
| 2,75 |
|------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{2,75}{12}} = 0,48 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven $k = 1,7$.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 0,48 = 0,82 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

Tento typ nejistoty závisí na měřidle, metodě a na měřené veličině po zaokrouhlení:

$$\delta_{dov} = (0,3 + 0,2 * 5) = 1,3 \text{ mm}$$

$$u_{B1}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{1,3}{\sqrt{3}} = 0,75 \text{ mm}$$

U chyby δ_{dov} , resp. intervalu, který se rozprostře kolem odhadu hodnoty měřené veličiny, se předpokládá rovnoměrné pravouhlé rozdělení.

$$u_{B2}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ mm}$$

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,75 + 0,29 = 1,04 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{0,82^2 + 1,04^2} = 1,3 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_C(l) = 2 * 1,3 \cong 2,6 \text{ mm}$$

Výsledek opakovaného měření délky automobilu v místě II je tedy **4432,7 ± 2,6 mm**.

4.2.1.3 ŠÍŘKA VOZIDLA

Měřeno v přední části vozu v místě označeném šipkou na obr. č. 5.2.1, postupně naměřeny hodnoty 1706, 1708, 1706, 1706 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y _i | ΔY _i | ΔY _i ² |
|----------|----------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 1706 | -0,5 | 0,25 |
| 2 | 1708 | 1,5 | 2,25 |
| 3 | 1706 | -0,5 | 0,25 |
| 4 | 1706 | -0,5 | 0,25 |

| | |
|--------------|--------|
| Stř. hodnota | 1706,5 |
|--------------|--------|

| |
|------|
| 3,00 |
|------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{3,00}{12}} = 0,50 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven k = 1,7.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 0,50 = 0,85 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

Tento typ nejistoty závisí na měřidle, metodě a na měřené veličině po jejím zaokrouhlení:

$$\delta_{dov} = (0,3 + 0,2 * 2) = 0,7 \text{ mm}$$

$$u_{B1}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,7}{\sqrt{3}} = 0,40 \text{ mm}$$

$$u_{B2}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ mm}$$

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,40 + 0,29 = 0,69 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{0,85^2 + 0,69^2} = 1,2 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_C(l) = 2 * 1,2 \cong 2,4 \text{ mm}$$

Výsledek opakovaného měření šířky automobilu je tedy **1706,5 ± 2,4 mm**.

4.2.2 MĚŘENÍ LASEREM

4.2.2.1 MĚŘENÍ DÉLKY V OSE VOZIDLA

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -1,652 | -6,120 | 2,541 | 2,157 | 287,100 | 287,150 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 4484,7 |
|--------|--------|

Výsledek měření délky automobilu laserem je tedy **4484,7 mm**.

4.2.2.2 MĚŘENÍ DÉLKY V MÍSTĚ II (VPRAVO OD PODÉLNÉ OSY)

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -1,703 | -6,066 | 1,842 | 1,907 | 287,950 | 287,146 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 4436,9 |
|--------|--------|

Výsledek měření délky automobilu laserem v místě 500 mm vpravo od podélné osy je tedy **4436,9 mm**.

4.2.2.3 MĚŘENÍ ŠÍŘKY LASEREM

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -2,381 | -2,294 | 1,549 | 3,251 | 287,223 | 287,213 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 1704,3 |
|--------|--------|

Výsledek měření šířky automobilu laserem je **1704,3 mm**.

4.3 MĚŘENÍ PO NEHODĚ

4.3.1 MĚŘENÍ VOZIDLA MECHANICKÝMI MĚŘIDLY

4.3.1.1 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ I



Obr. 4.2 – Vozidlo Mitsubishi po nehodě [foto J. Andres]

Měřeno v podélné ose vozidla, postupně naměřeny hodnoty 4468, 4471, 4470, 4470 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y_i | ΔY_i | ΔY_i^2 |
|----------|-------|--------------|----------------|
| 1 | 4468 | -1,75 | 3,0625 |
| 2 | 4471 | 1,25 | 1,5625 |
| 3 | 4470 | 0,25 | 0,0625 |
| 4 | 4470 | 0,25 | 0,0625 |

| | |
|--------------|---------|
| Stř. hodnota | 4469,75 |
|--------------|---------|

| |
|------|
| 4,75 |
|------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{4,75}{12}} = 0,63 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven $k = 1,7$.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 0,63 = 1,07 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

Tento typ nejistoty závisí na měřidle, metodě a na měřené veličině po jejím zaokrouhlení:

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,75 + 0,29 = 1,04 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{1,07^2 + 1,04^2} = 1,5 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_C(l) = 2 * 1,5 \cong 3,0 \text{ mm}$$

Výsledek měření délky automobilu po nehodě v jeho podélné ose je tedy **4469,7 ± 3,0 mm**.

4.3.1.2 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ II

Měřeno rovnoběžně s podélnou osou vozidla, ve vzdálenosti 500mm od podélné osy vpravo ve směru jízdy, konkrétně ke konci odhaleného zdeformovaného podélného nosníku, postupně naměřeny hodnoty 3945, 3947, 3944, 3945 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y_i | ΔY_i | ΔY_i^2 |
|----------|-------|--------------|----------------|
| 1 | 3945 | -0,25 | 0,0625 |
| 2 | 3947 | 1,75 | 3,0625 |
| 3 | 3944 | -1,25 | 1,5625 |
| 4 | 3945 | -0,25 | 0,0625 |

| | |
|--------------|---------|
| Stř. hodnota | 3945,25 |
|--------------|---------|

| |
|------|
| 4,75 |
|------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{4,75}{12}} = 0,63 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven $k = 1,7$.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 0,63 = 1,07 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

Tento typ nejistoty závisí na měřidle, metodě a na měřené veličině po jejím zaokrouhlení:

$$\delta_{dov} = (0,3 + 0,2 * 4) = 1,1 \text{ mm}$$

$$u_{B1}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{1,1}{\sqrt{3}} = 0,63 \text{ mm}$$

$$u_{B2}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ mm}$$

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,63 + 0,29 = 0,92 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{1,07^2 + 0,92^2} = 1,4 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_C(l) = 2 * 1,5 \cong 2,8 \text{ mm}$$

Výsledek opakovaného měření délky automobilu v místě II je tedy $3945,2 \pm 2,8 \text{ mm}$.

4.3.1.3 ŠÍŘKA VOZIDLA

Měřeno v přední části vozu v místě označeném šipkou na obr. č. 5.2.1, po nehodě měřeno k hraně zdeformovaného blatníku, postupně naměřeny hodnoty 1504, 1497, 1502, 1503 mm.

Nejistota typu A

| Měření i | Y_i | ΔY_i | ΔY_i^2 |
|----------|-------|--------------|----------------|
| 1 | 1504 | 2,5 | 6,25 |
| 2 | 1497 | -4,5 | 20,25 |
| 3 | 1502 | 0,5 | 0,25 |
| 4 | 1503 | 1,5 | 2,25 |

| | |
|--------------|--------|
| Stř. hodnota | 1501,5 |
|--------------|--------|

| |
|-------|
| 29,00 |
|-------|

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (\Delta Y_i)^2}{4 * 3}} = \sqrt{\frac{29,0}{12}} = 1,55 \text{ mm}$$

Protože byly naměřeny čtyři hodnoty, je třeba korigovat nejistotu koeficientem z tabulky, který je v tomto případě roven $k = 1,7$.

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) = 1,7 * 1,55 = 2,63 \text{ mm}$$

Nejistota typu B

Tento typ nejistoty závisí na měřidle, metodě a na měřené veličině po jejím zaokrouhlení:

$$\delta_{dov} = (0,3 + 0,2 * 2) = 0,7 \text{ mm}$$

$$u_{B1}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,7}{\sqrt{3}} = 0,40 \text{ mm}$$

$$u_{B2}(l) = \frac{Z_{max}}{k} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ mm}$$

$$u_B(l) = u_{B1}(l) + u_{B2}(l) = 0,40 + 0,29 = 0,69 \text{ mm}$$

Nejistota typu C

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = \sqrt{2,63^2 + 0,69^2} = 2,7 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota

$$U(l) = k * u_C(l) = 2 * 2,7 \cong 5,4 \text{ mm}$$

Výsledek opakovaného měření šířky automobilu po nehodě je tedy **1501,5 ± 5,4 mm**.

4.3.2 MĚŘENÍ VOZIDLA LASEREM

4.3.2.1 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ I

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -3,627 | -8,094 | 3,085 | 3,137 | 287,122 | 287,146 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 4467,4 |
|--------|--------|

Výsledek měření délky havarovaného automobilu laserem je **4467,4 mm**.

4.3.2.2 DÉLKA VOZIDLA V MÍSTĚ II

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -4,103 | -8,051 | 2,391 | 2,384 | 287,354 | 287,130 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 3954,4 |
|--------|--------|

Výsledek měření délky havarovaného automobilu laserem v místě II je **3954,4 mm**.

4.3.2.3 ŠÍŘKA VOZIDLA

| x ₁ | x ₂ | y ₁ | y ₂ | z ₁ | z ₂ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -3,957 | -3,904 | 2,384 | 3,893 | 287,361 | 287,280 |

| | |
|--------|--------|
| d [mm] | 1512,1 |
|--------|--------|

Výsledek měření šířky havarovaného automobilu laserem je **1512,1 mm**.

5. DEFINICE, POUŽITÉ ZKRATKY

3D skenovací systém – zobrazuje prostorové souřadnice jednotlivých bodů v prostoru měření, hustotu bodů lze nastavit.

3D skener – zařízení schopné po nastavení parametrů přidělit souřadnice automaticky.

Dosah skeneru – hodnota udává vzdálenost, na kterou je skener nasnímat body. Zpravidla se udává v závislosti na schopnosti povrchu snímaného předmětu odrazit kolmo zpět vyslaný paprsek.

Hustota skenování – nastavuje se úhlový (relativní) rozestup pro snímané body, z praktického hlediska návod skeneru často obsahuje tabulku s přepočtem na absolutní hodnoty odlehlosti bodů v závislosti na vzdálenosti od přístroje.

Koherentní – vlnění o stejné frekvenci, fázi a směru kmitání

Laser - light amplification by stimulated emission of radiation (světlo zesílené vynucenou emisí záření).

Monochromatický – „jednobarevný“, záření o jedné frekvenci

Mračno bodů – seznam bodů jako výstup z měření zobrazuje povrch zkoumaného předmětu. Každý bod obsahuje pořadové číslo měření, souřadnice v prostoru („x“ a „y“ má nulu v přístroji, souřadnice „z“ může být současně nadmořskou výškou).

mm – milimetr

Parametry skenování – před začátkem operace lze nastavit prostor ke skenování, hustotu snímaných bodů, počet impulsů vyslaných na jeden bod, snímkování prostoru a podobně.

Program pro zpracování dat – moderní skenery naskenují celý dostupný prostor rychleji, než v nastavení přístroje obsluha vůbec stihne prostor omezit, praktičtější je oříznout snímky nebo naředit body později v programu pro zpracování dat na větší obrazovce PC a s větším rozlišením než display přístroje.

Registrace – název funkce v programu pro zpracování dat, kdy při spojování několika skenů do jednoho obrazu program přepočítá souřadnice původně z různých stanovišť do jednoho souřadného systému

Rozbíhavost paprsku – úhel charakterizující odchylku paprsku od osy zaměření laseru.

Rozlišení mračna bodů – sděluje, jaký nejmenší detail je možné zobrazit, viz také v poznámce Hustota skenování.

Rychlost skenování – udává počet zaměřených bodů za sekundu, rychlé skenery dokáží načíst až jeden milion bodů za sekundu, záleží také na určení skeneru.

Sken – jeden snímek, obvykle lze naskenovat několik až několik set snímků skenovaného předmětu, snímky pak lze podle možností programu pro zpracování dat automaticky nebo ručně spojit do jednoho 3D obrazu.

Skenovaný prostor – skener zpravidla nedokáže postihnout prostor pod přístrojem, dále lze vertikální a horizontální úhel omezit v nastavení přístroje.

Textura – funkce přiřazující bodům barvy na základě digitálního snímkování snímaného prostoru, které proběhne po dokončení skenování.

Vlčovací bod – zpravidla bílá matná koule o přesném průměru nebo přesně definovaný terčík, umožňují v programu pro zpracování dat automaticky spojit jednotlivé skeny.

6. ZÁVĚR

Měření rozměrů vozidla bylo uskutečněno ve čtyřech fázích: před nehodou klasicky a laserem, po nehodě klasicky a laserem.

Naměřená délka vozidla před nehodou 4483,2 mm odpovídá technickým parametrům vozidla přístupným na internetu.

Naměřená šířka vozidla před nehodou 1706,5 mm odpovídá technickým parametrům vozidla přístupným na internetu.

Naměřené hodnoty získané akreditovanou metodou a laserem se liší v rozmezí 1,5 až 10,6 mm, což znamená rozdíl 0,03 až 0,70 %.

V podélném směru bylo vozidlo zkráceno v místě měření nárazem o 487,5 mm, v příčném směru v místě měření o 205,0 mm.

Při srovnání obou postupů vyplývají přednosti měření laserem. Naskenování kompletního vozidla (čtyři skeny po cca 5 minutách, v případě skenování bez potřeby textury jen 3,5 minuty) zaberou méně času než základní měření dvou rozměrů klasickou metodou. Při skenování není potřebná přítomnost obsluhy, což například při snímkování následků dopravní nehody výrazně snižuje riziko úrazu. K obsluze laseru postačí jedna kvalifikovaná osoba, klasické měření vyžaduje minimálně osoby dvě, v případě měření za provozu osoby tři.

Měření laserem délkových parametrů vozidla není v současné době možné provádět jako akreditovanou zkoušku, ale do budoucna lze tato měření porovnat a aktualizovat postupy příslušné normy.

7. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] norma ČSN 30 0521
- [2] LIPL, MOTL, Vyjadřování nejistot měření, CDV, 2014
- [3] ING. JOSEF PAZDERA, ING. JOSEF STRYK, PH.D., ING. BOHUMIL KOUŘÍM, ING. RADEK MATULA, PH.D., Metody laserového skenování objektů dopravní infrastruktury a jejich blízkého okolí, Geovap, spol. s r.o., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013
- [4] ŠTRONER, POSPÍŠIL, KOSTKA, KŘEMEN, URBAN, SMITKA, TŘASÁK, 3D skenovací systémy, ČVUT, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3
- [5] <http://www.cia.cz/dokumenty.aspx> (EA-04/16 G:2003)
- [6] <http://www.cia.cz/dokumenty.aspx> (EA-04/02 M:2013)
- [7] <http://www.faro.com/products/faro-software/scene/downloads> Scene version 5.3
- [8] <http://www.faro.com/products/faro-software/scene/downloads> Scene 5.3 Manual
- [9] <http://www.cez.cz/>
- [10] <http://www.katalog-automobilu.cz/>