

Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Bakalářská práce
Návrh 3D laserového měření
Proposal of 3D Laser Measuring

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Pavel Svoboda svo 408
doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Šumperk 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Svoboda**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh 3D laserového měření**
Proposal of 3D Laser Measuring

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika 3D měření.
3. Výběr měřidla pro vybranou sestavu.
4. Diskuze experimentálních měření.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

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

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry

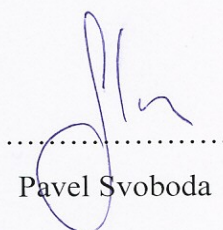


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

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

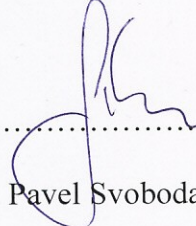
V Šumperku dne: 23. 5. 2011


.....
Pavel Svoboda

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, 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 nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci 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 odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Šumperku dne: 23. 5. 2011



Pavel Svoboda

Pavel Svoboda

Adresa trvalého pobytu autora práce:
Javoříčko 1509/3
78701 Šumperk

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Svoboda, P. Návrh 3D laserového měření: bakalářská práce. Šumperk: VŠB

- Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 39s.

Vedoucí práce Vrba, V.

Tato práce je zaměřena na 3D laserové měření aplikované na železniční kolejové vozidlo ŽKV. Data získané měřením jsou nezbytné pro komparaci s výkresovou dokumentací, resp. pro vyhodnocení odchylek a finální kontrolu statického obrysu polohy skříně a podvozku ŽKV. Hlavní část práce je věnována postupu pro 3D laserové měření. V praxi se přínos této práce projeví především časovou úsporou vlivem navržené metody měření a přesností naměřených hodnot.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

Svoboda, P. Design of 3D laser measurement: a bachelor thesis. Šumperk: VSB

- Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of machining and assembly, 2011, 39s. Supervisor Vrba, V.

This work is focused on 3D laser measurement applied to railway rolling vehicle (hereinafter referred as ŽKV). Data obtained by measurements are needed for comparison with the drawing documentation respectively for evaluation of variations and final verification of static outline position of gear box and chassis of ŽKV. The main part of the thesis is devoted to the procedure of 3D laser measurement. In practice, the contribution of this work is particularly shown in time saving due to the proposed methods of measurement and accuracy of measurements.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
0. Úvod	9
1. Železniční doprava	10
1.1. Požadavky na opravu ŽKV	10
1.2. Podmínky bezpečnosti a provozuschopnosti ŽKV	10
1.3. Požadavky na rozměrovou kontrolu skříně ŽKV	11
2. Dosavadní způsob měření	12
2.1. Použité přípravky, měřidla a měřící pomůcky	12
2.2. Stávající postup měření spodku lokomotivy ř. 242	14
2.2.1 Stanovení osy vozu	14
2.2.2 Měření funkčních ploch	14
3. Chyby při měření	16
3.1. Hlavní příčiny vzniku chyb při měření	17
3.2. Rozdělení chyb	17
4. Popis 3D laserového zařízení	19
4.1. Laserový tracker Leica	20
4.2. Kabely	21
4.3. AT Controller	21
4.4. Absolute Interferometr	22
4.5. Leica T-Cam	23
4.6. Meteo stanice	24
4.7. Reflektor	24
4.8. T-Probe	25
4.9. Software	25
4.9.1. Připojení a správa měřícího zařízení	26
4.9.2. Ikony panelu nástrojů	27
4.9.3. Základní metody vytvoření prvku	27
4.9.4. Tvorba prvků	28
4.9.6. Vlastnosti prvku	31
5. Navrhovaný postup měření lokomotiv ř. 230, 240, 242	32
5.1. Příprava měřícího zařízení	32
5.2. Příprava kontrolované součásti	32
5.3. Navrhovaný postup měření	33
6. Závěr	37

7. Seznam příloh	37
8. Použitá literatura	38

Seznam použitých symbolů a zkratek

ADM	absolutní dálkoměr	[m]
AIFM	absolutní interferometr	[-]
AT Controller	řídící jednotka	[-]
BUI	základní uživatelské rozhraní softwaru	[-]
CAD	počítačem podporované konstruování	[-]
CMM	souřadnicový měřicí stroj	[-]
CMOS	typ snímače	[-]
ČD V20/20	předpis českých drah	[-]
ČSN	česká státní norma	[-]
GD&T	geometrické kótování a tolerování	[-]
IFM	interferometr	[-]
IGES a STEP	formát datových souborů	[-]
NURBS	křivky a plochy modelů	[-]
PSD	dvouosý foto senzor	[-]
SPC	statistická kontrola procesu	[-]
SW PW	Software Poly Works	[-]
T-Cam	digitální kamerový systém	[-]
X/Y/Z	souřadný systém kartézské soustavy	[-]
YAG	ytrium aluminiový granát	[-]
3D	trojrozměrný prostor	[m]
6DOF	šest stupňů volnosti	[-]
μ	střední hodnota normálního rozdělení	[-]
σ	normálního rozdělení	[-]
$\delta(x)$	relativní chyba měření	[%]
$\Delta(x)$	absolutní chyba měření	[%]
xm	naměřená hodnota	[-]
xs	skutečná hodnota	[-]

0. Úvod

Nároky kladené na přesnost veškerých strojních součástí se každým rokem zvyšují. Ne jinak je tomu i při rekonstrukci a modernizaci kolejových vozidel. V této oblasti průmyslu hraje přesnost klíčovou roli v boji s konkurencí. Z tohoto důvodu je v této práci řešena problematika měření při vstupní a výstupní kontrole kolejových vozidel.

Práce se tedy blíže zabývá principem 3D laserového měření s důrazem na aplikaci pro kolejové vozidlo ŽKV.

V počátečních kapitolách je popsán stávající způsob měření, přehled jeho nedostatků a chyb. Po rozboru současných metod je v práci uveden zevrubný postup vhodného využití 3D laseru, a to včetně potřebného hardwarového a softwarového vybavení. Jsou zde řešeny jednotlivé díly 3D laseru a především programové rozhraní s jeho jednoduchým návodem na použití.

Upřesňuje podmínky rozměrové kontroly a požadavky na měření stanovené předpisy českých drah. Při měření pomocí 3D laseru jsou naměřené data využity pro komparaci s výkresovou dokumentací a slouží pro finální kontrolu statického obrysu ŽKV. Z odchylek jednoduše posoudíme, zda stav uložení polohy skříně vůči podvozku vozidla je v souladu s danými normami.

V závěru je vypracováno zhodnocení navrhované metody a postupu měření.

1. Železniční doprava

Železniční doprava zastává přední místa v odvětví osobní i nákladní dopravy. Budování vysokorychlostních tratí a koridorů ukazuje na stále se rozvíjející oblíbenost železniční dopravy v ČR.

S nárůstem a rozšířením tratí přibývá i nutnost modernizovat a udržovat vozový park drážních vozidel. Z tohoto důvodu je potřebné provádět kontroly a údržby vozidel ve stanovených časových intervalech.

1.1. Požadavky na opravu ŽKV

Železniční kolejová vozidla podléhají pravidelným periodickým opravám, které jsou stanoveny předpisy ČD. V provozu se ale vyskytují vozidla, na kterých se závada objeví dříve, než byla naplánována oprava, tuto pak nazýváme jako opravu neplánovanou.

Periodické opravy jsou rozděleny do skupin podle rozsahu opravy:

Mezidobé opravy Mo – tyto opravy jsou převážně prováděny v opravných vozových dep. Základní charakteristikou je prohlídka popř. oprava pojezdu, skříně, el. výzbroje a části brzdového mechanismu.

Revizní opravy Or – jsou prováděny v opravných ŽKV. Na rozdíl od MO je provedeno i vyvázání podvozku, dvojkolí, oprava trakční části, spodku vozu a rámu podvozků.

Střední oprava Os – je provedena v rozsahu Or a navíc je provedena výměna podlahové krytiny, oprava laku a ovládacích mechanismů.

Generální oprava Og – je nejvyšší stupeň opravy, při které se rozeberou všechny odnímatelné části, provede se jejich kontrola, oprava popř. výměna.

Vyvazovací oprava VY – provede se vyvázání podvozků včetně opravy dvojkolí, rámu podvozků, trakce a spodku vozidla.

1.2. Podmínky bezpečnosti a provozuschopnosti ŽKV

Pro splnění požadavku dle normy ČSN 280312 (obrysy pro kolejová vozidla s rozchodem 1435 a 1520mm) je nutné zajistit správnou polohu skříně ŽKV vůči podvozku. Smyslem kontroly obrysu ŽKV je seřídít vozidlo tak, aby při provozu nezasahovalo žádnou svojí částí mimo povolený prostor vztažený k ose koleje a nenastal tak případ kolize s jinými objekty vyskytujícími se v blízkosti koleje. Pro tyto účely slouží zařízení zvané obrysnice. Obrysnice je svařená ocelová konstrukce, která

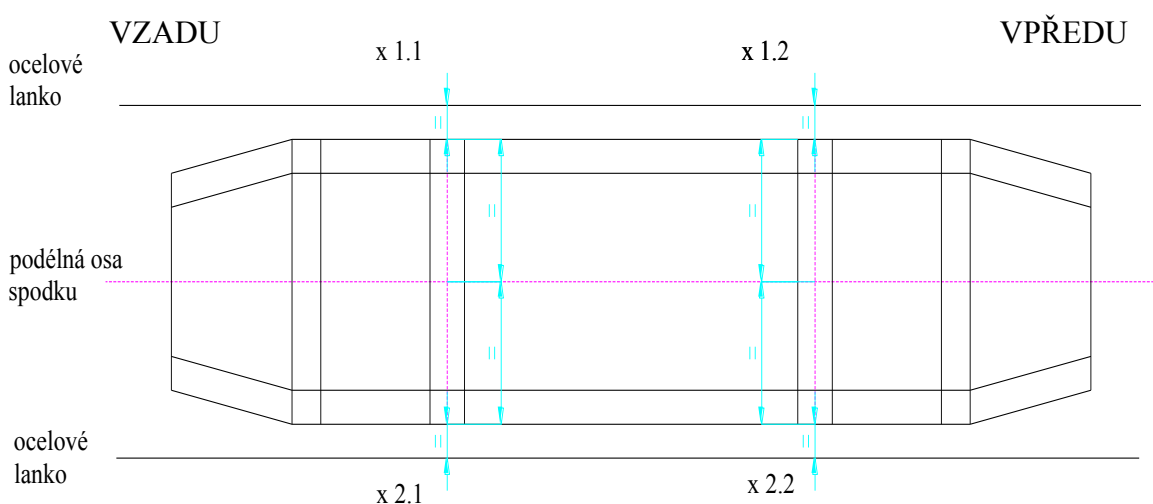
je umístěná na přímé a vodorovné koleji. Tvar konstrukce odpovídá obrysu ŽKV. Vozidlo musí projet obrysnicí bez dotyku jakékoliv svojí částí. V příčném i podélném směru jsou stanoveny hodnoty, které musí být dodrženy. Tyto rozměry se v závislosti na výšce od temene kolejnice a poloze vůči podvozku v podélném směru liší. Omezení závisí i na typu vozidla (osobní vozy, nákladní vozy, hnací vozy), uspořádání podvozků, typu vypružení atd.

Jedním z parametrů, které mohou negativně ovlivnit správné ustavení skříně vozidla vůči podvozku jsou rozměrové a geometrické odchylky funkčních ploch skříně a spodku vozidla.

1.3. Požadavky na rozměrovou kontrolu skříně ŽKV

Měření spodku ŽKV podléhá stanoveným požadavkům předpisu českých drah pro vyměřování rámu vozů a podvozků ČD V 20/20 a výkresovým tolerancím. Je nutné provádět měření před opravou hrubé stavby skříně pro zachycení nevyhovujících hodnot a po opravě z důvodu kontroly opravených rozměrů. Předpis ČD V20/20 stanovuje základní polohu spodku vozu uloženého do zvedacího zařízení tak, aby kluzné desky příčníku byly ve vodorovné rovině.

Ustavení konzol do roviny je prováděno nivelačním přístrojem. Zařízení musí být před užíváním nivelováno. Podélná osa spodku se měří, jako spojnice bodů půlicích příčný rozměr skříně měřený přes krajní podélníky v ose hlavních příčníků viz obrázek č. 1.



Obr. č. 1. stanovení podélné osy vozu dle předpisu ČD V 20/20 [13]

Díly, které jsou ve styku s požadovanými měřicími plochami je nutné z vozidla demontovat (nárazníky, pryžové dorazy). Povrch měřených ploch musí být zbaven hrubých nečistot (mazivo, nánosy špíny) tlakovou vodou a nesmí jevit známky hloubkové koroze. Koroze musí být odstraněna ocelovým abrazivem v tryskacím zařízení. Lokomotiva musí být ustavena do zvedacího zařízení tak, aby obsluha, která provádí měření spodku vozidla, mohla bez omezení vykonávat svoji činnost.

2. Dosavadní způsob měření

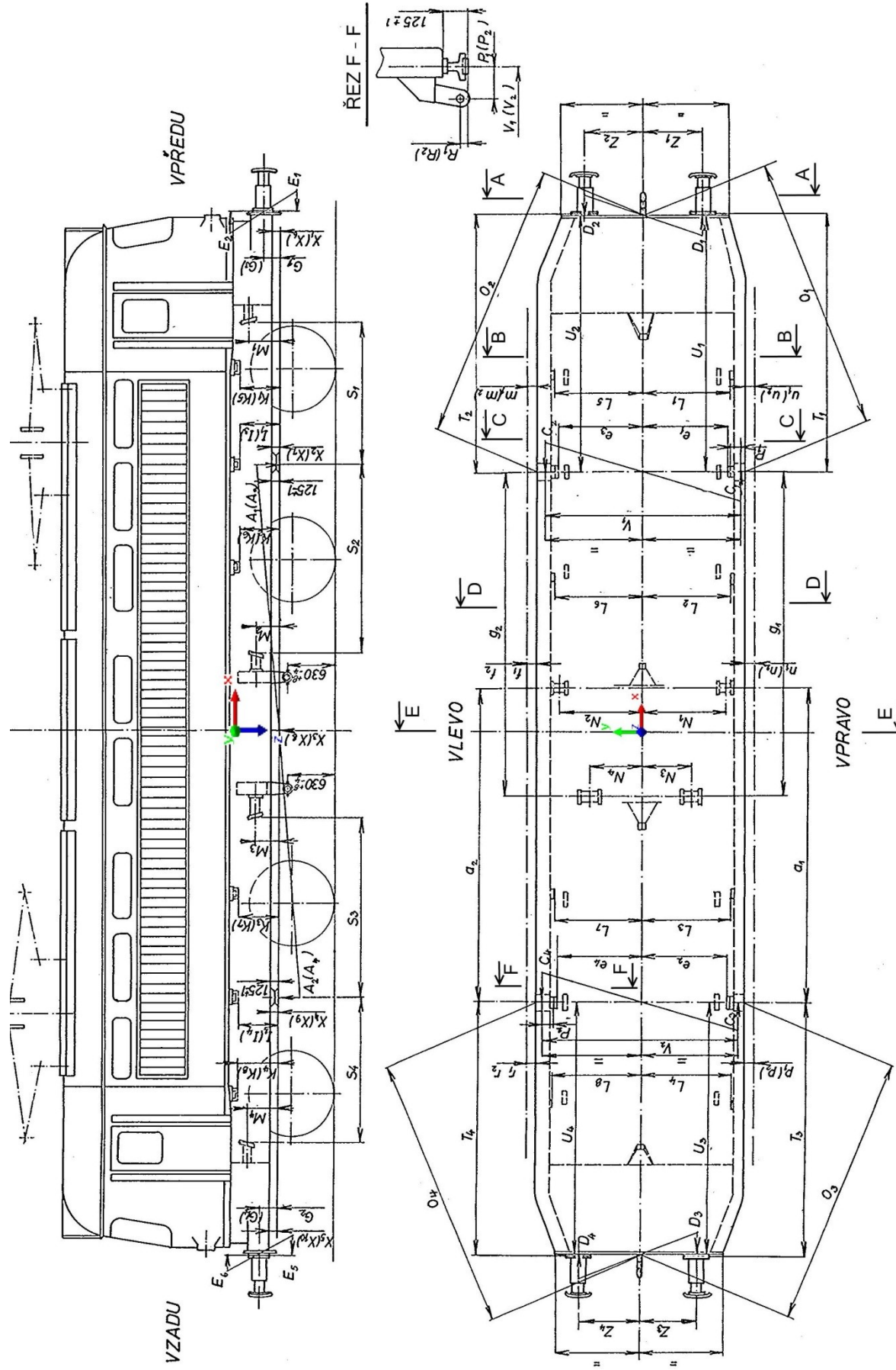
2.1. Použité přípravky, měřidla a měřicí pomůcky

Pro stanovení odchylek funkčních ploch spodků vozidel je nutné vhodně zvolit metodu měření, postup a s ním spojené měřidla, měřicí přípravky a pomůcky. V tabulce č. 1 jsou uvedena měřidla, pomůcky a zařízení užívaná stávající metodou měření.

Tabulka č. 1 měřidla, přípravky a zařízení užívaná stávající metodou měření.

Zvedací zařízení nosnost 4x10 t	Ocelové pravítko 1000mm – 1ks
Stojany pro ustavení měřicí struny - 4ks	Struna s olovnicí a nádobkou na olej – 1ks
Měřicí struny 18m - 2ks	Měřicí protokol spodku lokomotivy ř. 242
Svinovací metr 5m – 1ks	Digitální Teodolit Astor EDT-2 - 1ks
Měřicí pásmo ocelové 30m - 1ks	Hliníková lať 3m - 2ks
Digitální vodováha Stabila 1000mm	Válcový přípravek pro konzolu pravou, levou - 1ks

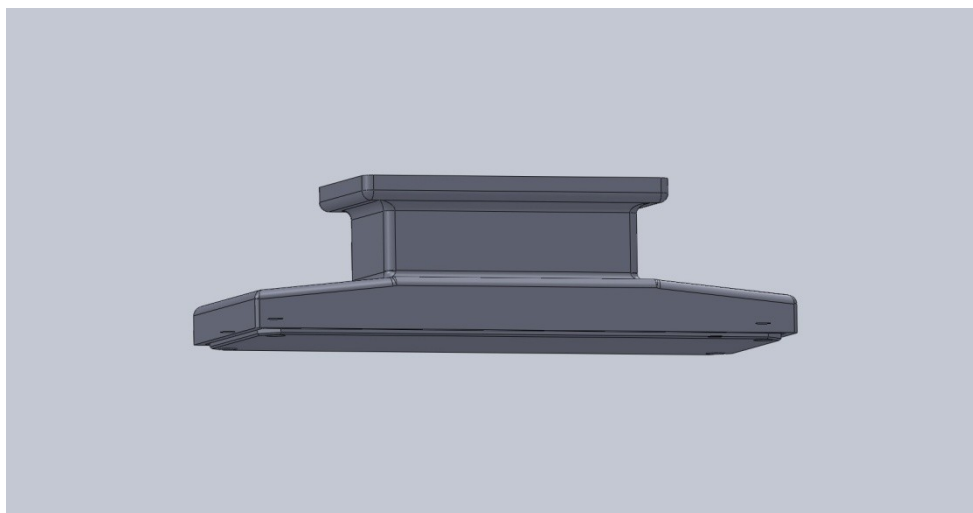
Měřicí list spodku lokomotivy řady 242



Obr. č. 2 měřicí list spodku lokomotivy ř. 242 [12]

2.2. Stávající postup měření spodku lokomotivy ř. 242

Pro účely měření hlavního rámu skříně vozidla v Pars nova a.s. je vypracován protokol č. 230-02-10 s předepsanými nominálními hodnotami a povolenými odchylkami. Skříň lokomotivy je nutné před zahájením měření ustavit do soupravy patkového zvedacího zařízení 4x10t a provést nivelizaci 4ks konzol horní opěry, které jsou navařeny na spodní straně podélníků (příloha č. 2. řez C-C, detail F). K vyrovnání skříně je použit digitální teodolit Astor EDT – 2 a svinovací metr.



Obr. č. 3. konzola Horní opěra

2.2.1 Stanovení osy vozu

Ke správnému způsobu měření rozměrů je nutné vytýčit podélnou osu vozu. Osa je sestrojena pomocí přípravků a měřících pomůcek. Po obou stranách skříně vozu (vlevo i vpravo) se rozmístí stojany s měřicími lanky ve vzdálenosti 160 ± 1 mm od podélníku viz obr. č. 1. Rozdíl vzdáleností mezi lanky (měřeno vpředu a v zadu) nesmí být větší než 1 mm. Pod podélníky se ustaví podpěrné stojany s upnutou hliníkovou latí. Na lat' přeneseme vzdálenost z pomocných měřících lanek a sestrojíme středovou rysku. Tato ryska slouží jako středová osa vozu.

2.2.2. Měření funkčních ploch

Rozměry e1-e4, L1-L8 na vnitřní straně podélníku měříme tak, že na měřenou plochu přiložíme lanko s olovnicí a provedeme kontrolní měření pomocí svinovacího metru od středové osy obr. č. 4. Vždy po změření jednoho páru dorazů v řezu (L1, L5; e1, e3;...) je nutné přemístit podpěrný stojan s latí pod další požadovaná místa.

Rozměry N1-N4 jsou měřeny pomocí trubkového přípravku se středovým bodem. Přípravek je uchycen do konzoly levé nebo pravé. Rozměr je vyhodnocen k podélné ose vozu. Hodnoty V1, V2 jsou rozteče mezi podélníky a pro jejich měření se využívá svinovací metr. Rozměry U1-U4 jsou vzdálenosti konzoly Horní opěry vztažené k čelní desce. Měření se provádí za pomoci dvou hliníkových latí ustavených ve stojanech a rozteč se měří ocelovým pásmem.

Stejná metoda měření je zvolená u označených rozměrů a1-a2, g1-g2 a T1-T4. Daná metoda je z hlediska času měření velice náročná. Dalším jejím negativním vlivem je soubor chyb zapříčiněných přemístěním a četným ustavováním stojanů s latí na měřicí lanka.

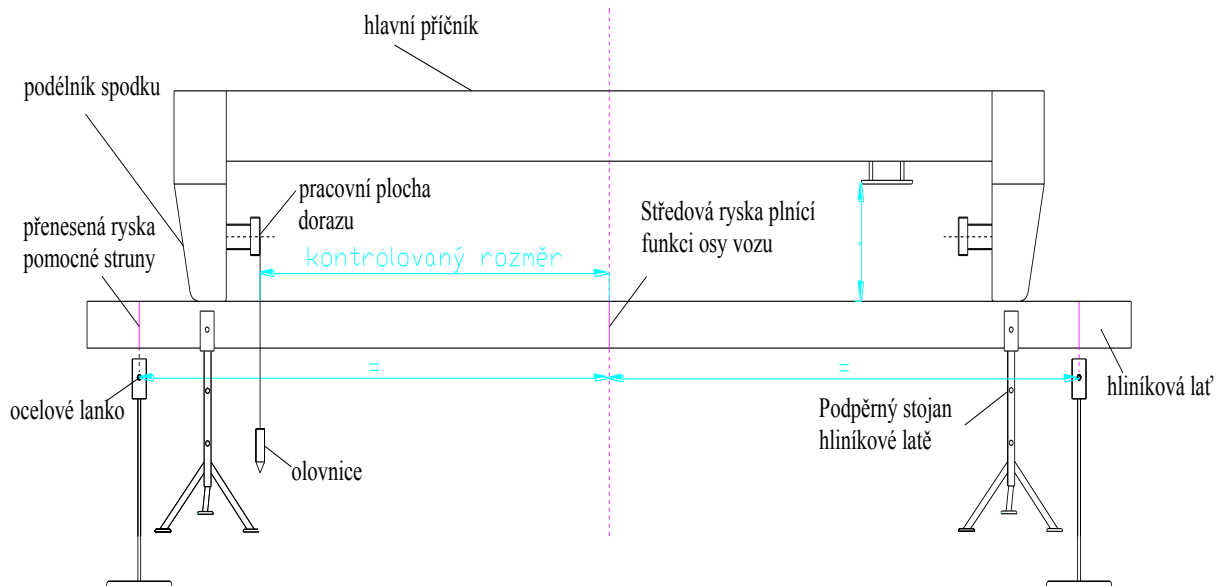
Pro měření výškově přesazených pozic pod vozidlem se přistupuje k měření pomocí digitálního teodolitu. Jde o funkční plochy označené v protokolu jako hodnoty I1-I4, K1-K8 a M1-M4. Jako základní rovinu použijeme horní opěry obr. č. 3, které jsou ustaveny ve zvedacím zařízení do vodorovné roviny. Na spodní hranu horní opěry se svěsí svinovací metr a nivelačním přístrojem přečteme hodnotu na měřidle. Přemístíme svinovací metr na horizontální doraz pod vozidlem a v nivelačním zařízení opět přečteme hodnotu na měřicím zařízení. Rozdíl těchto naměřených hodnot je požadovaný rozměr. Tímto způsobem se provádí měření všech horizontálně umístěných dorazů a rozměrů X1-X10 (průhyb podélníků).

Rozměr G1-G4 je vzdálenost středu nárazníku k rovině horní opěry. Středový bod nárazníků sestrojíme rozdělením vzdáleností mezi čtyřmi závrtnými šrouby, které slouží k jeho uchycení. Vyhodnocení této vzdálenosti opět provedeme k základní rovině.

Pro hodnoty Z1-Z4 použijeme středové body nárazníků a vyhodnotíme vzdálenost k ose vozu.

Měření kolmostí čelních desek, které jsou označené jako hodnoty E3, E4, E7 a E8 se provádí za pomoci metrové digitální vodováhy.

Pro spojení skříně s podvozkem je nejdůležitější rozměr P1(P2) a R1(R2). Rozměry jsou měřeny pomocí svinovacího metru, olovnice, přesného čepu se středovým důlčíkem, který je uložen v pouzdrech konzoly. Tato konzola vymezuje příčné vychýlení skříně vůči podvozku dvěma kusy ojnic, které jsou v počátku upevněny pomocí zajišťovacího čepu k podvozku vozu a opačné konce ojnic jsou uloženy na konzole skříně.



Obr. č. 4 Princip měření dorazů na vnitřní straně podélníků

3. Chyby při měření

Všechna prováděná měření jsou ovlivněna chybou. I za předpokladu, že provádíme opakovaná měření za stejných podmínek, dojdeme k závěru, že výsledky měření se od sebe více či méně liší. Nejrozsáhlejší negativní vlivy, které se při procesu měření vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Cílem měření je stanovit skutečné hodnoty. Tyto hodnoty lze správně stanovit za předpokladu, že určíme chyby měření. Chyby vyjadřujeme v absolutních nebo relativních hodnotách. Absolutní chyba měření $\Delta(x)$, je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou.

Udává se v jednotkách měřené veličiny:

$$\Delta(x) = x_m - x_s,$$

kde x_m - naměřená hodnota

x_s - skutečná hodnota.

Podělíme-li absolutní chybu skutečnou hodnotou, dostaneme poměrné vyjádření chyby relativní $\delta(x)$:

$$\delta(x) = \frac{\Delta x}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s}, \text{ nebo } \delta(x) = \frac{x_m - x_s}{x_s} * 100[\%] \quad [5]$$

3.1. Hlavní příčiny vzniku chyb při měření

Proces měření se setkává s celou řadou nedokonalostí a problémů, které jsou vnášeny do finálních výsledků měření. Na základě stanovení příčin těchto chyb je lze rozdělit do následujících skupin:

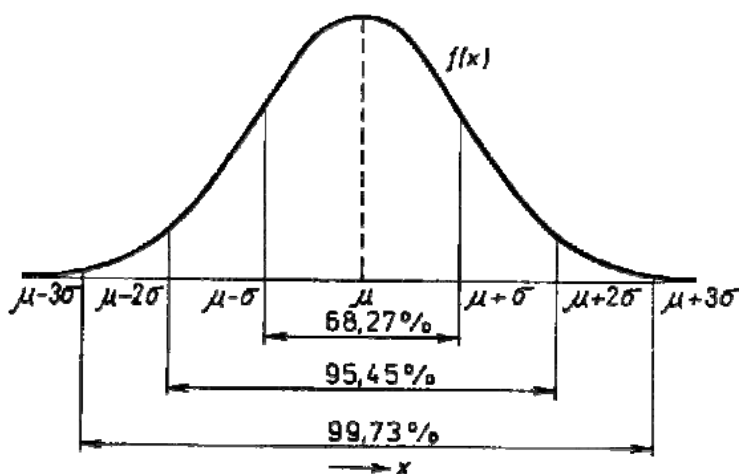
- chyby měřicí metody – jsou chyby, které nastávají při nesprávném použití měřících metod, ze stanovení přibližných hodnot fyzikálních konstant,
- chyby měřicího stroje, systému a měřidla – chyby, které vykazuje použitý měřicí přístroj. Tyto chyby mohou vzniknout již při samotné výrobě zařízení, při montáži popř. vlastním provozním opotřebením. Hodnoty chyb udávají výrobci formou korekcí, ostatní chyby jsou definovány jako maximální dovolené chyby přístroje (se znaménkem \pm),
- chyby instalace – vznikají z důvodu nesprávného sestavení, uložení, nastavení a zapojení měřidel a měřících zařízení
- chyby vlivu prostředí – jsou takové chyby, které do měření vnáší nestálost parametrů prostředí, jejich kolísání a negativní vliv na měřené součásti,
- chyby pozorováním – jsou chyby způsobené vyhodnocujícími smysly pozorovatele, nebo nesoustředěním a nedílnou částí závisí na charakteru osoby pozorovatele. Mezi vlastnosti ovlivňující výsledky řadíme zručnost, kvalifikaci pozorovatele, zkušenosti, psychický stav, a rozlišovací schopnost,
- chyby vyhodnocení – jsou chyby, které vznikají zpracováním naměřených hodnot (zaokrouhlováním, nedostatečným vyčíslením konstant, použitím přibližných vztahů, chyby interpolace, apod.). [4]

3.2. Rozdělení chyb

Dle závažnosti a výskytu dělíme chyby na:

- hrubé chyby - jsou způsobeny chybným provedením měření, vadným měřidlem, nesprávným odečtením hodnot, zpracováním dat a nesprávnou manipulací s měřícím zařízením. Výsledek měření s tímto typem chyby je považován za nepoužitelný, zkrsluje celý experiment, a takto naměřené hodnoty se výrazně liší od ostatních měření. Hrubé chyby se musí vyloučit z dalšího zpracování, aby nedošlo ke zkreslení výsledků měření.

- chyby systematické - jsou takové chyby, jejichž hodnoty se co do velikosti za stálých podmínek měření nemění. Pokud se mění podmínky měření, mění se i určité vazby, které ovlivňují výsledky měření. Chyby mají opakující se charakter a jejich vznik lze jen obtížně stanovit.
- chyby náhodné – jsou náhodného charakteru a lze jim jen obtížně předcházet nelze je vyloučit. Tyto chyby se vyskytují při každém měření stanovené veličiny a významně ovlivňují naměřené hodnoty Pro stanovení velikosti chyb, se provádí opakovatelnost měření a vyhodnocují se pomocí statistických metod. Nejznámější metoda je tzv. Gaussovo (normální) obr. č. 5. Normální rozdělení má dva parametry, a to μ střední hodnotu a σ směrodatnou odchylku. [4]



Obr. č. 5 Parametry Gaussova (normálního) rozdělení [4]

interval $\langle \mu - \sigma , \mu + \sigma \rangle$ obsahuje 68,27% náhodné veličiny

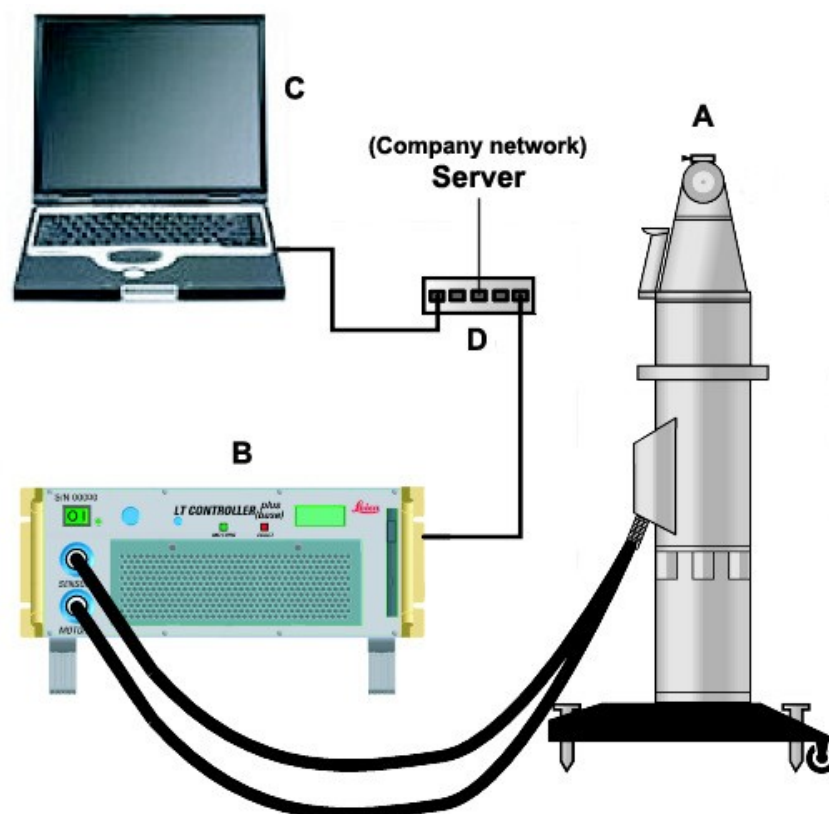
interval $\langle \mu - 2\sigma , \mu + 2\sigma \rangle$ obsahuje 95,45% náhodné veličiny,

interval $\langle \mu - 3\sigma , \mu + 3\sigma \rangle$ obsahuje 99,73% náhodné veličiny. [4]

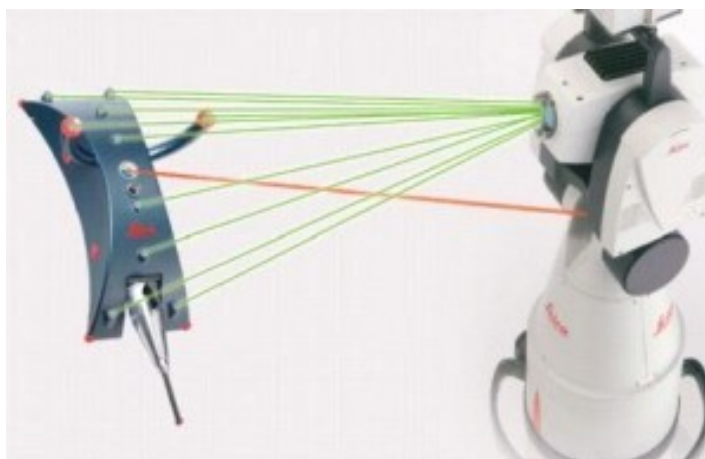
4. Popis 3D laserového zařízení

Pro danou problematiku měření bylo vybráno měřící zařízení švýcarské firmy Leica s názvem Leica Laser Tracker. Jedná se mobilní optický třísořadnicový stroj CMM, který je schopen vypočítat prostorovou polohu zařízení (T-Probe, reflektor) z vertikálního a horizontálního úhlu a zároveň je schopen měřit vzdálenosti. Měření vzdálenosti jsou prováděny laserovým interferometrem, nebo nejpřesnějším měřidlem absolutní vzdálenosti (absolute distance meter - ADM). Zařízení dokáže vyhodnocovat 3D souřadnice pomocí tří přídavných zařízení, kterými jsou:

- a) Odrazný reflektor ve tvaru koule s vestavěnými zrcadly
- b) Leica T-Probe ruční bezdrátový kontaktní snímač,
- c) Leica T-Scan bezkontaktní vysokorychlostní skener.



Obr. č. 6 Sestava Leica Absolute Tracker [11]



Obr. č. 7 Shromáždění souřadnic pomocí T-Probe [11]

4.1. Laserový tracker Leica

V sensorové jednotce, která měří počáteční úhly a vzdálenosti, je vsazen laserový interferometr (IFM) a absolutní délkoměr (ADM), které jsou sloučeny do jednoho modulu pod názvem absolutní interferometr (AIFM). Při měření se laserový paprsek dělí pomocí polopropustné destičky na dvě části. Jedna část, je vyslána do reflektoru (objektový svazek paprsků) obr. č. 8 (T-Probe) kde se díky optické konstrukci odrazí zpět přesně v opačném směru a směřuje do trackeru následně do foto senzoru PSD. Druhá část svazku (referenční svazek) míří přímo do foto senzoru kde se oba paprsky sčítají interferují a vyhodnocují se data pomocí em Scomu obrázek č.8. Rozdíly PSD hodnot umožňují sledovací schopnost laserového Trackeru Leica. Laserový tracker Leica využívá pevno látkový YAG Neodymový laser.

Zajímavostí Laser Trackeru je systém Power Lock obr. č. 10. Při přerušení optického kontaktu mezi trackerem a sondou začne systém pulzně vysílat pronikavé modré světlo do poslední známé pozice sondy. Tento paprsek má tvar kužele a ve vzdálenosti 3m od trackeru je velikost kužele v průměru 30cm. Pokud se nachází v tomto rozhraní sonda, systém zaznamená na zrcadlech odraz modrého světla a podle polohy tohoto odrazu dokáže určit polohu sondy a automaticky nasměruje laserový paprsek.



Obr. č. 8 Princip laserového měření [9]



Obr. č. 9 Systém Power Lock [10]

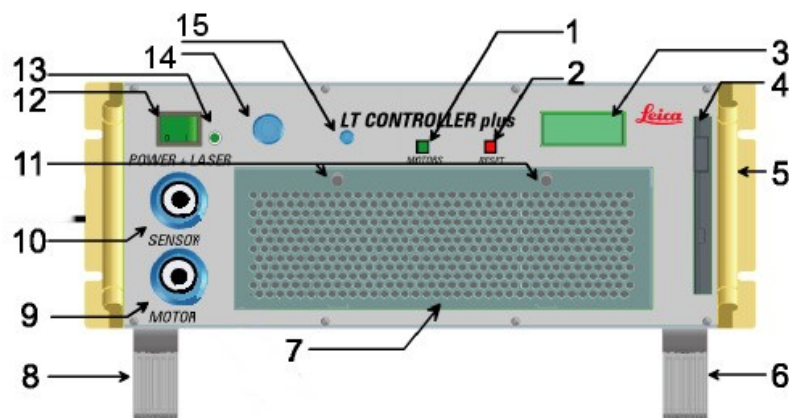
Tělo Laser Trackeru je pomocí rychloupínacího mechanismu spojen s robustním tripoidem, který zabezpečuje stabilitu i v nejnáročnějších podmínkách se splněním požadavku na vysokou přesnost.

4.2. Kabely

Systém Leica Tracker je vybaven dvěma datovými kabely pro propojení AT Controlleru k laserovému Trackeru – motorový kabel a senzorový kabel. Kabely se vyrábějí v 5 m a 10 m vyhotoveních.

4.3. AT Controller

ATController je řídicí jednotka Laserového Trackeru. Obsahuje systémy pro ovládání trackeru stejně jako potřebnou elektroniku k dekódování signálu z trackeru a jejich číselnou interpretací. Obsahuje vlastní operační systém a firmware, který tvoří rozhraní mezi trackerem a měřícím softwarem. Operační systém, který je nainstalován v ATControlleru, se nazývá emScon a pomocí vhodného rozhraní dokáže ovládat všechny základní funkce trackeru.



Obr. č. 10 AT Controller [11]

- 1) Deaktivační přepínač motoru. Osvětlený, když jsou motory aktivovány.
- 2) Tlačítko pro resetování trackerového procesoru/serveru.
- 3) Stav displeje: LAN adresa, název, uživatelská verze a aktuální činnost
- 4) CD-ROM mechanika
- 6) Sklopná noha
- 7) Větrací rošt s prachovým filtrem
- 8) Sklopná noha
- 9) Zásuvka motorového kabelu
- 10) Zásuvka sensorového kabelu
- 11) Křídlové šrouby větracího roštu
- 12) Hlavní vypínač napájecího zdroje pro AT Controlleru a sensorovou jednotku (tracker)
- 13) LED pro vypínač napájecího zdroje
- 15) T-Probe zásuvka

4.4. Absolute Interferometr

Laserový interferometr dokáže stanovit relativní vzdálenost od bodu k bodu v řádech nanometrů s okamžitou aktualizací. Ta je omezena pouze rychlostí, kterou je pohybováno reflektorem. Interferometr je zařízení, které je schopno měřit pouze relativní vzdálenosti za vysoké přesnosti. Zařízení nedokáže určit polohu v trojrozměrném prostoru, aniž by znalo počáteční bod. Absolutní vzdálenosti od trackeru ke známému bodu v trojrozměrném prostoru je schopen vyhodnotit systém ADM s vysokou přesností, která je konstantní v celém měřicím rozsahu.

4.5. Leica T-Cam

Leica T-Cam je CMOS digitální kamerový systém (infrakamera) pracující s viditelným světlem blízké infračervenému záření. Zařízení je vybaveno optickým vario zoomem a motorem pro úhlový a vertikální pohyb. V sestavě s Trackerem sleduje cílové zařízení a zachycuje obraz infračerveného záření LED diod umístěných sondě T-Probe. Úhlové kódovací zařízení se používá k zabezpečení vertikálního úhlového pohybu T-Cam podle naváděcích úhlů trackeru.

Ve snímací sondě T-Probe je vsazen reflektor a spolu se souborem desíti IR LED diod tvoří měřicí cíl systému. Šest měřících parametrů kompletně popisuje cílové zařízení ve spojení s laserovým sledovacím systémem. Jsou to 3 parametry polohy v souřadném systému X, Y a Z, které udávají polohu středu měřící sondy a 3 parametry orientace natočení vektorů i , j , k ve směru osy X, Y, a Z, které umožňují vypočítat polohu sondy hrotu. Spolu tak vytváří princip šesti stupňů volnosti (6DOF). Tyto parametry jsou určovány Leica Absolute Tracker-em (poloha) a Leica T-Cam-em (orientace).

Vario zoom v Leica T-Cam udržuje velikost zařízení T-Probe jako viditelnou konstantou CMOS snímače, která odstraňuje nedostatky fotogrammetrického systému, které nebyly schopné sledovat cíl z důvodu měnící se velikosti sledovaného objektu vnímané kamerou (čím vzdálenější byly cílová zařízení, tím menší se zobrazovaly na snímací kamery).



Obr. č. 11 CMOS kamera T-Cam [11]

4.6. Meteo stanice

Teplota, tlak a vlhkost atmosféry ovlivňují index lomu vzduchu, který způsobuje změnu rychlosti a vlnové délky laserového svazku paprsku. Tyto změny ovlivňují hodnoty měření vzdálenosti. Meteo stanice poskytuje environmentální informace o teplotě, tlaku a vlhkosti vzduchu a měřeného objektu, které se používají na zjištění aktuálního indexu lomu atmosféry.

Meteo stanice má zabudované čidlo pro měření teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu a dva konektory pro připojení externích čidel parametru vzduchu nebo měřeného objektu. Bezchybnou činnost stanice indikuje světelná dioda.



Obr. č. 12 Meteo stanice [11]

4.7. Reflektor

Reflektor je zařízení zpravidla kulovitěho tvaru přesných rozměru, které v sobě obsahuje systém zrcadel nebo jiných odrazových ploch k odrazení přijatého laserového paprsku zpět do trackeru. Existuje několik druhů reflektoru, které se liší velikostí (1,5“; 0,5“), použitým materiálem, odolností vůči pádu a podobně. Přesnost měření reflektoru v celém rozsahu je $\pm 15\mu\text{m} + 6\mu\text{m/m}$

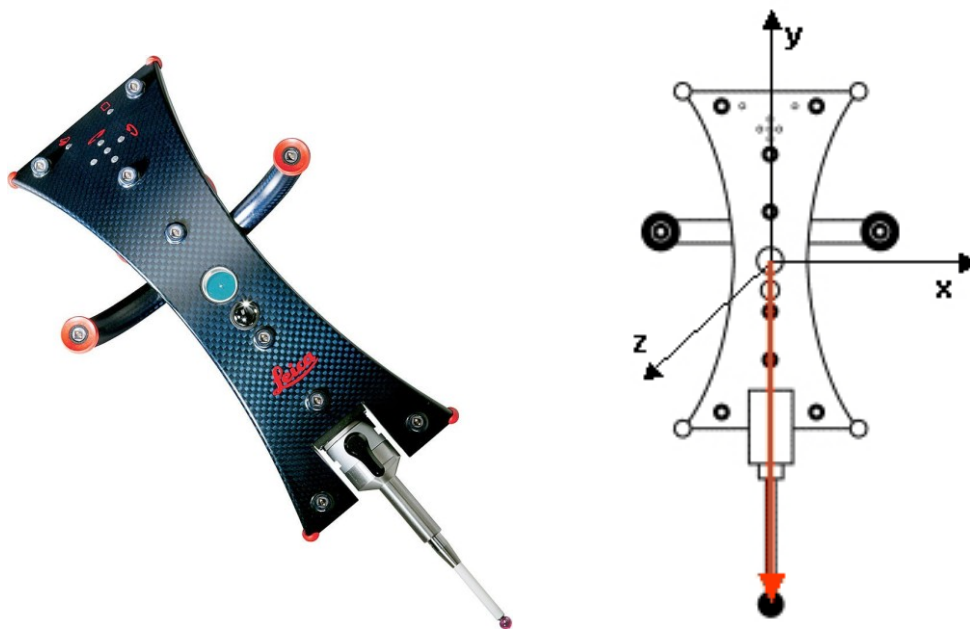


Obr. č. 13 Reflektor [11]

4.8. T-Probe

T-Probe je ruční bezdrátový kontaktní snímač s integrovaným reflektorem, s vyměnitelným snímacím dotykem a souborem desíti IR LED diod vsazených na povrchu zařízení.

T – Probe umožňuje měřit do vzdálenosti 9 m od trackeru s přesností 60 μ m.



Obr. č. 14 Snímací sonda T-Probe [11]

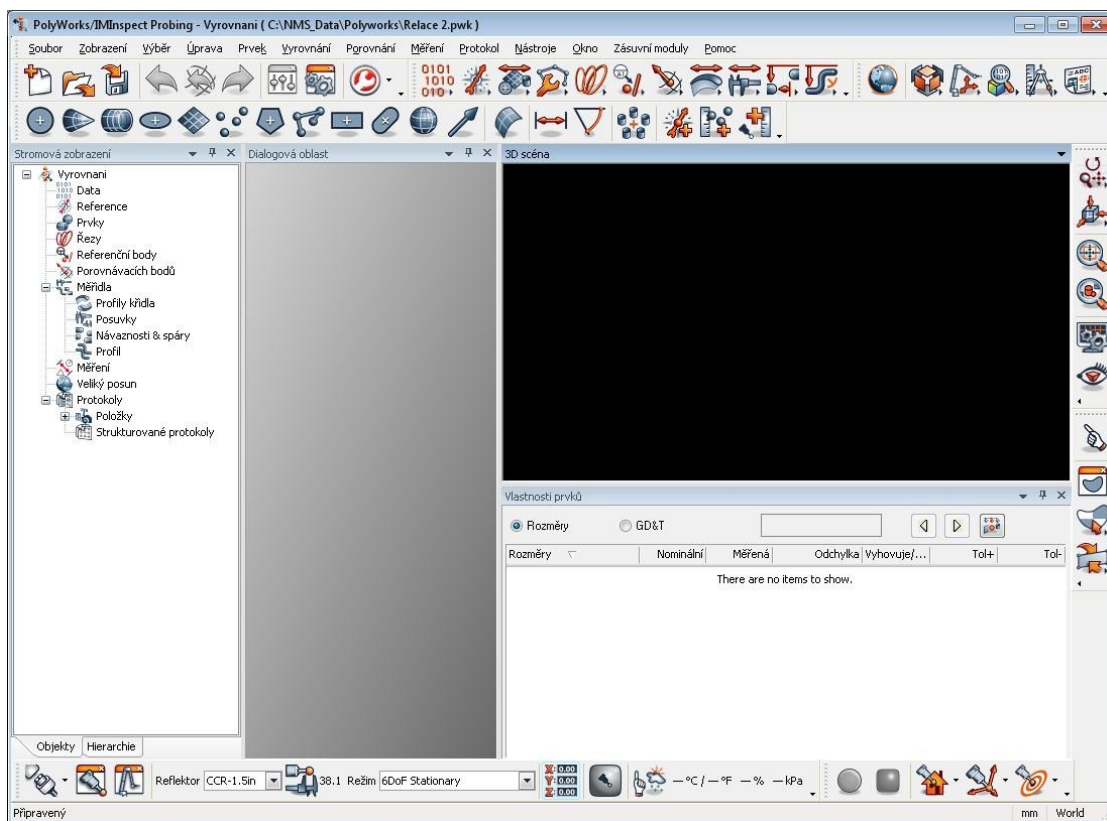
4.9. Software

Software Poly Works (SW PW) je světový lídr v oblasti zpracování mračka bodu na inspekční účely a pro potřeby reverzního inženýrství. Software je certifikovaný společností PTB. Po spuštění softwaru Poly Works se otevře správce pracovních relací. Pracovní relace v sobě může nést několik projektu z různých modulu Poly Works charakterizující například jeden výrobek v různých stádiích výroby, obrábění nebo měření. Název pracovní relace pak může nést označení (identifikaci) daného výrobku a jednotlivé projekty popisují různé stádia analýzy. Software umožňuje kompletní kontrolu rozměrů a možnosti nejrůznějších analýz modulu Poly Works / Inspector v speciálním balíčku určeném pro uživatele interaktivních snímacích metrologických aplikací.

Licence Poly Works /Inspector Probing nabízí:

- Komplexní možnosti zpracování dat pro snímací aplikace (vícenásobní souřadnicové systémy, historie vyrovnání, správa různých zařízení a jejich pozic, statistická kontrola procesu SPC, GD&T, ...).

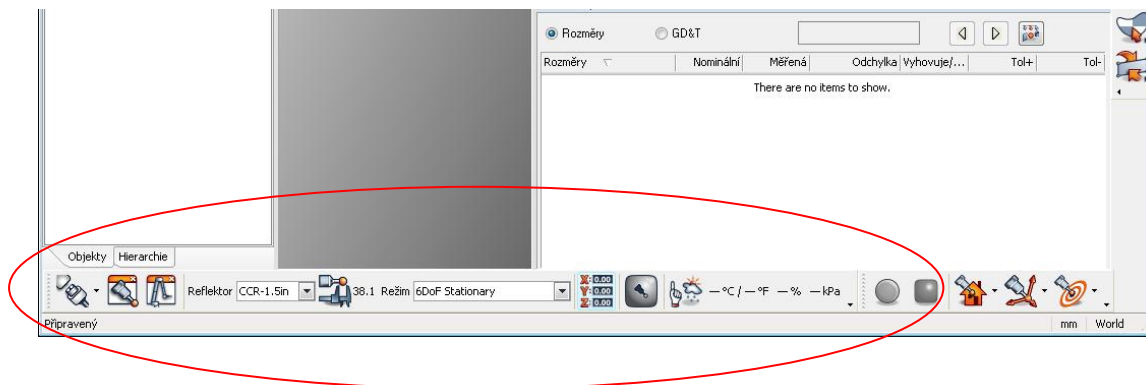
- Standardní nástroje pro snímání (vyrovnání na CAD, snímání prvku a řezu, porovnání vůči CAD).
- Plnou podporu laserových trackerů.
- Volné IGES a STEP překladače.



Obr. č. 15 Okno modulu Inspector /Probing- základní rozhraní SW PW

4.9.1. Připojení a správa měřícího zařízení

Pro připojení a komunikaci s měřícím zařízením je určen panel nástrojů Snímací zařízení (Probing Device).



Obr. č. 16 Panel nástrojů Snímací zařízení SW PW

4.9.2. Ikony panelu nástrojů



Pomocí šipky na ikoně **Připojit k zařízení** je nutné zvolit požadované měřicí zařízení Leica Laser Tracker a poté označit připojení.



Nastavení snímání umožňuje uživateli konfigurovat různé parametry měření, jako například parametry prostředí, vzhled okna číselného výstupu, výchozí tolerance prvků atd.



Ikona **Vlastnosti zařízení** zpravuje možnosti připojeného zařízení Leica Laser Tracker.



Ikona umožňuje nastavit typ připojené sondy (reflektor T-Probe), zobrazuje průměr této sondy.



Tato ikona zobrazuje/skrývá **Okno číselného výstupu**.



Ikona informuje o parametrech prostředí jako jsou teplota, vlhkost a tlak.



Ikony Spustit/Zastavit měření a Ukončit snímání slouží k manuálnímu ovládání, které je potřeba při měření pomocí reflektoru, nebo při špatné dostupnosti tlačítek T-Probe.

4.9.3. Základní metody vytvoření prvku

Prvky v rozhraní softwaru Poly Works je možné vytvořit několika způsoby:

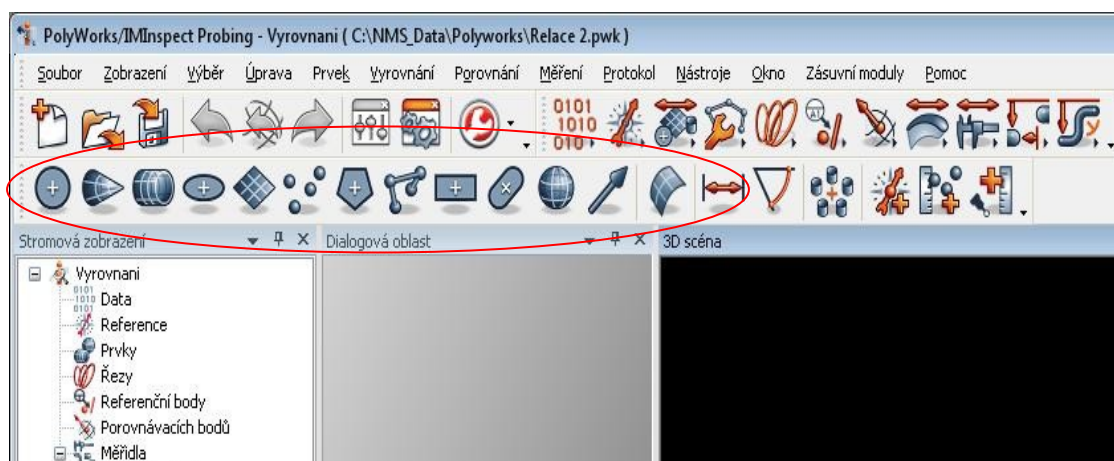
- vybrat na NURBS – pomocí myši vytváří prvky na CAD modelu
- pomocí myši – pomocí myši vytváří prvek na libovolném objektu 3D scény
- numericky – vytváří prvek podle zadaných číselných parametrů
- napasovat – vytváří prvek z označených datových (snímaných) bodů
- snímání – poskytne rozhraní pro snímání prvků pomocí připojeného měřicího zařízení
- z objektů – vytváří prvek z jiného/jiných objektů
- z průsečíku - vytváří prvek z průsečíku jiných objektů

4.9.4. Tvorba prvků

Při zvolené metodě vytváření prvků **Snímání** obr. č. 17 je možné získávat geometrické elementy pomocí připojeného měřicího zařízení (například Leica T-Probe). Pro vytváření všech geometrických elementů platí následovná pravidla, podle čeho se dialogové okno pro různé prvky nepatrně liší.

1D a 2D prvky (kružnice, elipsa, bod, mnohoúhelník, pravoúhelník, drážka, vektor) musí mít definovanou omezující rovinu. Tato rovina může být pomocí příslušného pole vybrána z již existujících prvků, nebo může být také snímána pomocí příkazu **Snímat nové**. V takovém případě je nutné bez ohledu na požadovaný prvek nejprve sejmout jeho omezující rovinu.

Pro vytvoření prvků formou snímání je nutné pomocí sondy sejmout minimální počet bodů tak, aby bylo možné prvek vytvořit. Čím více je těchto bodů nasnímáno, tím je výsledné měření přesnější. Při vytváření jakéhokoliv prvku metodou snímání je nutné dbát na to, aby sonda směřovala vždy kolmo ke snímanému objektu ze kterého bude prvek sestrojen.



Obr. č. 17 Panel nástrojů volby geometrických prvků SW PW

Základní prvky geometrických tvarů pro snímání s nejmenším možným počtem bodů k sestrojení prvků SW PW:



Prvek rovina – k sestrojení prvku je min. počet 3body



Prvek vektor – k sestrojení prvku je min. počet 2 body



Prvek bod – k sestrojení prvku je min. počet 1 bod



Prvek kruh – k sestrojení prvku je min. počet 4 body



Prvek válec – k sestrojení prvku je min. počet 6 bodů



Prvek čtyřúhelník - k sestrojení prvku je min. počet 8 bodů



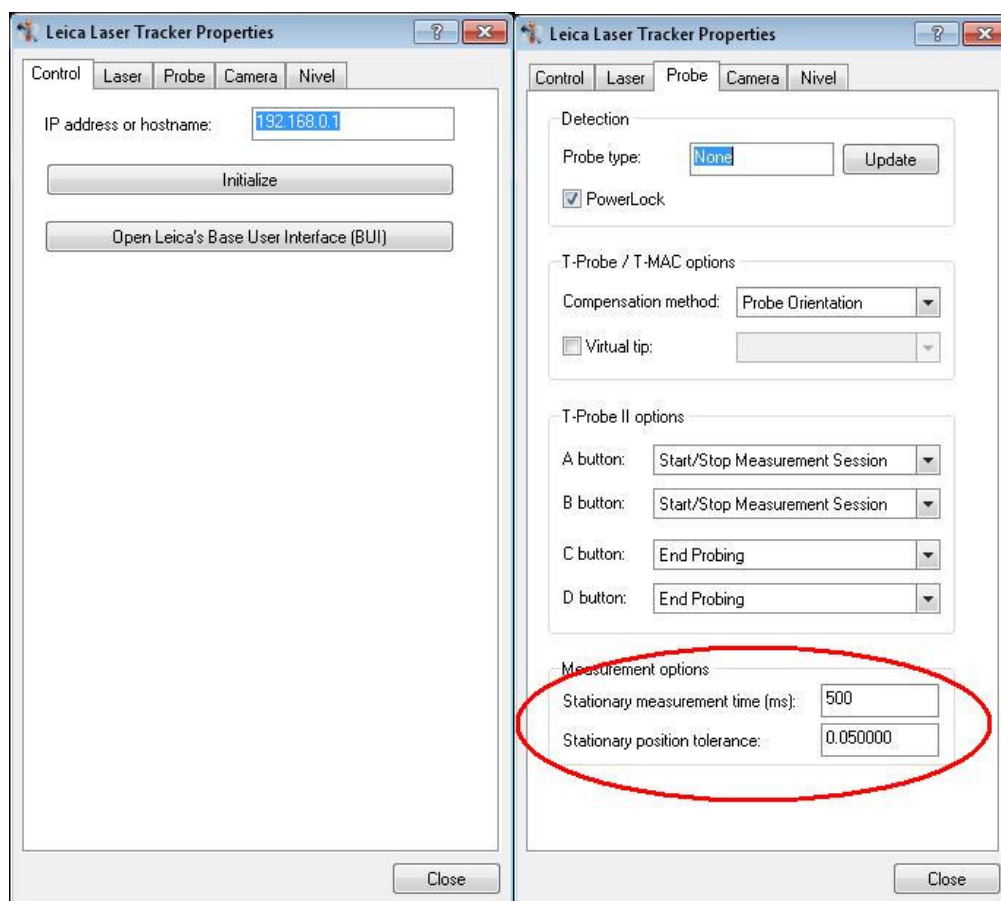
Prvek mnohoúhelník - k sestrojení prvku je min. počet bodů 10

Obr. č. 18 Příkazová tabulka parametrů pro sestrojení prvku kružnice SW PW

Omezující rovinu je možné nastavit i při některých 3D prvcích (kužel, válec), co má za následek ideální kolmost vytvořeného prvku vůči této rovině. Každému prvku lze nastavit fixní, nebo neomezený počet bodů. V případě neomezeného počtu bodů je nutné po ukončení snímání prvku potvrdit ukončení příslušným tlačítkem. V případě nastavení fixního počtu bodů je snímání ukončeno automaticky. Tlačítko **Jak** zobrazí nápovědu k způsobu snímání bodů každého prvku. Tlačítko **Snímání** zahajuje proces snímání prvků pomocí sondy popř. reflektoru.

Vytvořené prvky se ukládají v sekci **Prvky** v stromovém zobrazení, kde je možné je později modifikovat, mazat, vytvářet různá měření atd. (viz. **Práce s prvky**).

Pomocí okna **Vlastnosti Leica Laser Trackeru** je možné přistupovat k nejdůležitějším funkcím emSconu, jako například inicializace trackeru, správa a nastavení laseru, konfigurace vlastností sondy T-Probe a přístup do základního uživatelského rozhraní emSconu (Base User Interface - BUI).



Obr. č. 19 Tabulka vlastnosti Leica Laser Tracker SW PW

4.9.5. Práce s prvky

Geometrické elementy – Prvky vytvořené různými metodami se ukládají v sekci Prvky v stromovém zobrazení, kde je možné s nimi dále pracovat. Každý prvek programu Inspect/Probing může obsahovat dvě části – nominální a měřenou. Typ vytvářené části prvku je možné definovat při vytváření prvků pro každou metodu, obecně však program automaticky nastavuje nominální typ pro metody Vybrat na NURBS, Numericky a měřenou pro metodu Snímání. Části prvků se zobrazí po

kliknutí na malé znaménko + vedle každého prvku. Pokud prvek již existuje s jednou jeho částí a je potřebné vytvořit druhou, je možné použít rolovací menu na tento prvek a zvolit jednu z možností Definovat nominální, Definovat měřené a Snímat měřené.

4.9.6. Vlastnosti prvku

Každý vytvořený prvek má svoje vlastnosti (název, souřadnice, atd.), které je možné zobrazit pomocí rolovacího menu. V okně Vlastnosti je možné změnit název prvku, jeho „Datum označení“ pro případnou GD&T analýzu, parametry pro snímání tohoto prvku, atd. Všechny změny je nutné potvrdit tlačítkem Použít.

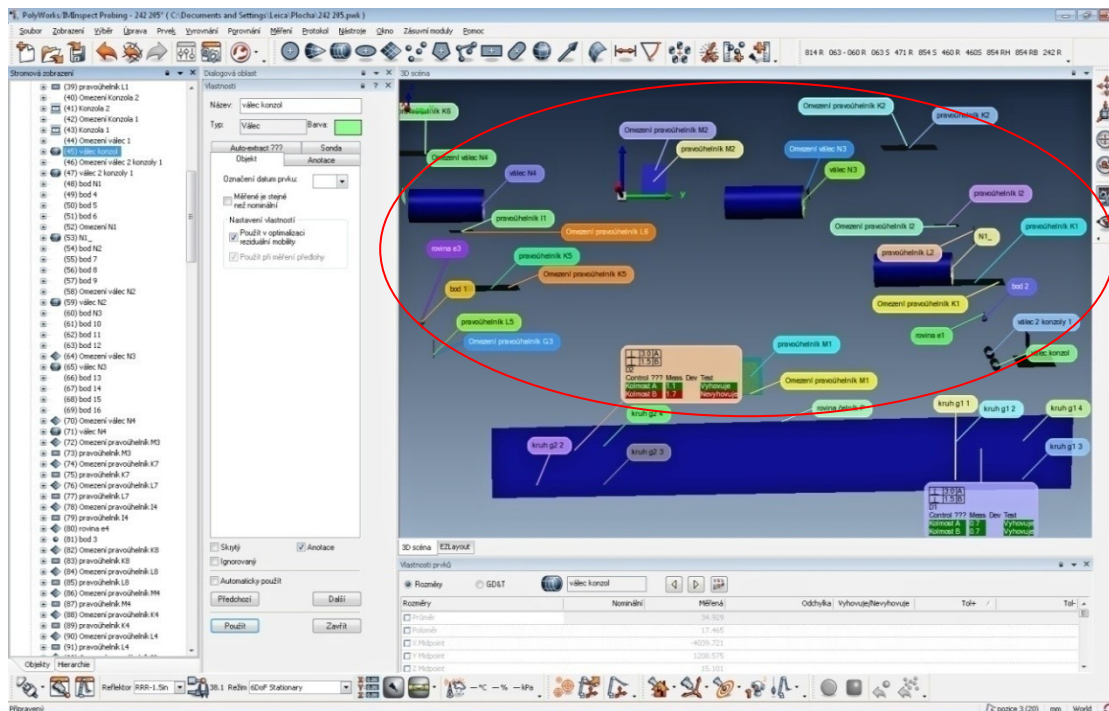
Pro zobrazení geometrických vlastností prvků slouží okno **Vlastnosti prvků obr.č20.**, které je možné nalézt v menu **Okno**. Po vyznačení jednoho nebo více prvků (při označování více prvků musí být tyto stejného typu) s v okně **Vlastnosti prvků** zobrazí všechny dostupné vlastnosti daného prvku nebo prvků. Zobrazení požadované vlastnosti aktivováno, nebo deaktivováno zaškrtnutím příslušného políčka nalevo od názvu vlastnosti. Vybraná vlastnost se zobrazí v anotaci prvku na 3D scéně.

Rozměry	Nominální	Měřená	Odchylka	Vyhovuje/Nevyhovuje	Tol+	Tol-
<input checked="" type="checkbox"/> Průměr	25.400	25.404	0.004	Vyhovuje	0.050	-0.050
<input checked="" type="checkbox"/> X	10.000	10.200	0.200	Nevyhovuje	0.050	-0.050
<input checked="" type="checkbox"/> Y	5.000	5.120	0.120	Nevyhovuje	0.050	-0.050
<input checked="" type="checkbox"/> Z	0.000	0.123	0.123	Vyhovuje	1.000	-0.500
<input type="checkbox"/> Poloměr		12.702				
<input type="checkbox"/> X/Y Angle		N/A				
<input type="checkbox"/> Y/Z Angle		90.000				

Obr. č. 20 Okno Vlastnosti prvků SW PW

Pokud vybraný prvek nebo prvky obsahují nominální i měřenou složku, měření je automaticky vyhodnoceno. Pokud nominální složka prvku chybí (měření bez CAD modelu), je možné nominální složku dané vlastnosti zadat manuálně. V okně **Vlastnosti prvků** je také možné upravit tolerance pro každou vlastnost daného prvku nebo prvků.

Pro snadnější práci s rozhráním softwaru je v poli 3D scéna vyobrazeno grafické znázornění vytvořených prvků, které jsou prostorově znázorněny ve vztahu k souřadnému systému X/Y/Z.



Obr. č. 21 Dialogové okno 3D scény SW PW

5. Navrhovaný postup měření lokomotiv ř. 230, 240, 242

5.1. Příprava měřicího zařízení

Zařízení je nutné před vlastním měřením sestavit, zapojit a zapnout. Po ustálení teploty laserové trubice, je možné provést kalibraci hrotu T-Probe. Délku a průměr měřicí sondy volíme s ohledem na měřenou součást tak, aby bylo možné provést měření všech prvků. Při stisknutí jakéhokoliv tlačítka na T-Probe uvedeme zařízení do provozního stavu. Pomocí softwaru nasměrujeme laserový paprsek tak, aby došlo ke spojení vsazeného reflektoru v sondě T-Probe a laserového Trackeru. Pokud se signalizační dioda na trackeru rozsvítí (zelená indikace), T-Probe signalizuje správné připojení a může dojít k samotné kalibraci. Po kalibraci sondy jsou údaje uchovány v emScon serveru až do příští kalibrace a jsou načítány vždy, když uživatel připojí k T-Probe sondě definovaný hrot.

5.2. Příprava kontrolované součásti

Díly, které jsou ve styku s požadovanými měřicími plochami, je nutné demontovat (narázníky a pryžové dorazy). Povrch měřených ploch musí být zbaven hrubých nečistot (mazivo a nánosy špíny) tlakovou vodou a při výskytu koroze je nutné díl tryskat ocelovým abrazivem v tryskacím zařízení.

Lokomotiva musí být ustavena do zvedacího zařízení tak, aby se obsluha zařízení mohla pod vozidlem volně pohybovat. Skříň není nutné ustavovat do vodorovné polohy. Nivelitu nahrazuje tzv. vyrovnání snímaných prvků do souřadnic X/Y/Z.

5.3. Navrhovaný postup měření

Předpoklad pro vyrovnání dílu v souřadném systému X/Y/Z se stanoveným počátkem je existence roviny, vektoru a bodu, pomocí kterých bude realizováno. Zařízení je nutné ustavit tak, aby bylo možné sledovat pozici sondy T-Probe při snímání jednotlivých prvků a nebyl tak přerušen laserový svazek. Pokud díl (vozidlo) nebyl dosud měřen, musí se pomocí prvků v panelu nástrojů softwaru definovat každý měřený prvek (rovina, válec, bod...). Při opakované kontrole lze z vytvořených prvků sestavit program, který slouží jako návod pro obsluhu v jakém pořadí a kolika body prvky snímat.

Základní pracovní rovinu sestrojíme snímáním bodů na dosedacích plochách konzol horní opěry, které mají obdélníkový tvar a sestávají se ze čtyř konzol uložených v podélném směru vozu. Na každé této konzolu provedeme snímání „prvku čtyřúhelník“ a vytvoříme v ní středový bod. V příčném směru vozu vytvoříme ze středových bodů ležících v jednom příčném řezu pomyslné úsečky. Podélná osa X je tedy sestrojena proložením obou středů pomyslných úseček. Kolmý vektor na osu X označuje příčnou osu Y. K vektoru provádíme vyhodnocení vzdálenosti všech prvků spodku vozu vztahující se k podélné ose. Pro vyhodnocení rozměrů S1-S4, T1-T4, U1-U4, a1-a2 a g1-g2 sestrojíme pomocí softwaru ze středových bodů konzol vedení vektory v příčném směru (osa Y).

Pomocí měřicího zařízení T-Probe provedeme měření rozměrů definovaných protokolem.

Rozměr G1-G4 nominální hodnota $265\text{mm} \pm 3\text{mm}$ je vzdálenost mezi kluznou plochou konzol a středovým bodem nárazníků.

Nárazník je uchycen k čelní dosedací ploše čtyřmi závrtnými šrouby, které jsou zajištěny korunovou maticí. Čelník je v místě dosedací plochy s nárazníky zesílen ocelovou deskou mat. ČSN 11375 tloušťky 8mm. Snímáním pomocí sondy vytvoříme prvek „rovina“ na dosedací ploše nárazníků, kterou použijeme jako omezující rovinu pro konstrukci kruhů. Válcové plochy závrtných šroubů použijeme k sestrojení prvku kruh a pomocí softwaru vytvoříme středový bod nárazníku. Vzdálenost vyhodnocujeme právě mezi středovými body nárazníků a základní rovinou v ose Z.

Rozměr I1-I4 nominální hodnota $566\text{mm} \pm \frac{3}{2}\text{mm}$ je

vzdálenost mezi dorazem obdélníkového tvaru a základní pracovní rovinou. Provedeme snímání omezující roviny horního dorazu a měření geometrie pomocí prvku „obdélník“. Stejně jako u rozměru G1-G4 vyhodnocujeme vzdálenost k základní rovině v ose Z.

Rozměr K1-K8 nominální hodnota $576\text{mm} \pm \frac{3}{2}\text{mm}$ je

Vzdálenost mezi dorazem obdélníkového tvaru a základní pracovní rovinou. Provedeme snímání omezující roviny horního dorazu a měření geometrie pomocí prvku „obdélník“. Stejně jako u rozměru I1-I4 vyhodnocujeme vzdálenost k základní rovině v ose Z.

Rozměr L1-L8 nominální hodnota $1242\text{mm} \pm \frac{5}{2}\text{mm}$ je vzdálenost mezi bočním dorazem kruhového tvaru a podélnou osou vozu. Doraz slouží k vymezení vůle mezi rámem podvozku a skříní vozidla. Vzdálenost vyhodnocujeme k podélné ose vozu v ose Y.

Rozměr M1-M4 nominální hodnota $365\text{mm} \pm 5\text{mm}$ je vzdálenost mezi šikmými středovými dorazy a základní pracovní rovinou.

Provedeme snímání omezujících rovin šikmých dorazů a měření geometrie pomocí prvku „obdélník“. Vytvoříme jejich středové body a v ose Z provedeme vyhodnocení vzdáleností.

Rozměr N1-N4 nominální hodnota $1150 \pm 1\text{mm}$ je vzdálenost mezi konzolou a podélnou osou vozu sestrojenou vektorem v ose X. Měření provedeme vytvořením prvku válce a omezující roviny. Pomocí softwaru sestrojíme v příčném směru konzoly, středový vektor válce a vyhodnotíme jeho vzdálenost v příčném směru v ose Y.

Rozměr P1, P2 nominální hodnota $178 \pm 2\text{mm}$ je vzdálenost mezi konzolou příčného vedení podvozku a horní opěrou v ose Y. V konzole příčného vedení podvozku jsou nalisovány 4ks pouzder (řez C-C měřicího protokolu, detail F příloha B) pro spojení skříně vozidla a podvozku pomocí 2ks ojnic. Zajištění je provedeno pomocnými čepů. Měření provedeme pomocí omezujících rovin a 2 prvků „válec“, které sestrojíme snímáním vnitřních průměrů pouzder. Vyhodnocení vzdálenosti je provedeno mezi vektory válců a středovými body horní opěry v ose Y.

Rozměr R1, R2 nominální hodnota $21\text{mm} \pm 3\text{mm}$ je vzdálenost mezi konzolou příčného vedení podvozku a horní opěrou v ose Z. Snímané prvky válců při měření rozměrů P1 a P2 použijeme pro stanovení rozměrů R1 a R2 (není nutné opakovaně provádět měření) a vyhodnocení provedeme k základní pracovní rovině v ose Z.

Rozměr S1-S4 nominální hodnota $2264 \pm 2\text{mm}$ je vzdálenost mezi narážkami a vektorem, který je sestrojen v příčném směru z konzol horní opěry (osa Y). Geometrie konzoly je zajištěna snímáním prvku „obdélník“ spolu s omezující rovinou. Vyhodnocení rozměru je provedeno v ose X ze středového bodu konzoly a vektoru.

Rozměr U1-U4 nominální hodnota $3700 \pm 3\text{mm}$ je vzdálenost mezi rovinou čelníku a vektorem, který je sestrojen ze středových bodů horní opěry (osa Y). Rozměr U2 je vyhodnocen k naměřené hodnotě U1 jako rozdíl těchto dvou rozměrů a nesmí překročit max. dovolenou toleranci 6mm stejně jako rozměr U4 proti U3.

Rozměr T1-T2 a T3-T4 je vzdálenost mezi dosedací plochou pro nárazník a vektorem sestrojeným z konzol horní opěry. Rozdíl naměřených hodnot T1-T2 a T3-T4 nesmí být větší než 3mm. Vyhodnocení rozměru je provedeno mezi rovinou dosedací plochy pro nárazník a vektorem v ose Y.

Rozměr V1, V2 nominální hodnota $2770\text{ mm} \pm 4\text{mm}$ je vzdálenost mezi středovými body konzol vedení v příčném směru (osa Y). Není nutné opětovně provádět měření – použijeme výsledky z předchozích naměřených hodnot.

Rozměry X1-X10 jsou snímány pomocí prvků „bod“ s omezující rovinou a vyhodnocení je provedeno k základní pracovní rovině v ose Z dle předepsaných tolerancí tabulky měrného listu.

Rozměry Z1-Z4 nominální hodnota $875\text{mm} \pm 5\text{mm}$ je vzdálenost středů nárazníků v příčném směru vozu a podélné osy vozu, sestrojené pomocí vektoru v ose X. Konstrukce středových bodů nárazníků je již sestrojena při snímání rozměrů G1-G4. Vyhodnocení vzdálenosti je provedeno v ose Y ze středových bodů nárazníku a vektoru osy X.

Rozměry a1-a2, g1-g2 nominální hodnota $4680\text{mm} \pm 5\text{mm}$ je vzdálenost mezi konzolami přenosu tažných sil a konzolami horní opěry. Použijeme již vytvořené prvky sestrojené při kontrole rozměrů N1-N4. Vyhodnocení rozměru je provedeno v ose X z vektoru válce a vektoru konzol vedení osy Y.

Rozměr e1-e4 nominální hodnota $1175\text{mm} \pm 2\text{mm}$ je vzdálenost mezi kruhovými vnitřními dorazy a vektorem v ose X. Dorazy jsou sestrojeny snímáním prvků kruh na omezující rovině. Vyhodnocení rozměru je provedeno v ose Y mezi omezující rovinou kruhu a vektorem podélné osy X.

Rozměr D1-D4 předepsaná tolerance $\pm 3\text{mm}$ je vyhodnocení odchylky kolmosti čelní desky pod nárazníky, proti vektoru podélné osy X. Prvky potřebné k vyhodnocení jsou již vytvořeny z měření rozměrů G1-G4 (není nutné opakovaně snímat).

Rozměr E3, E4, E7 a E8 předepsaná odchylka $\pm 1,5\text{mm}$ je vyhodnocení kolmosti čelní desky pod nárazníky proti základní pracovní rovině sestrojené z konzol horní opěry.

Na vnitřní straně podélníku po jeho celé délce provedeme snímání bodů prvkem „bod“ s omezující rovinou. Vzdálenost mezi jednotlivými body nesmí být větší než 500mm. Jednotlivé body jsou vyhodnoceny k vektoru osy X. Nominální hodnota rozměru je 1295mm a jedná se o rozměr mezi podélnou osou skříně a snímanými body na podélnících. Tato hodnota výkresu č. v. Lo002004/a nemá uvedenou toleranci. Na rozměry bez uvedené tolerance se vztahuje norma „ČSN ISO 2768 – 1 Všeobecné tolerance nepředepsaných mezních úchylek délkových a úhlových rozměrů“. Jelikož se nejedná o funkční plochu, přiřadil jsem rozměru toleranci $\pm 3\text{mm}$ podle skupiny „c“ (hrubá přesnost). Pokud jsou naměřené hodnoty v souladu s uvedenou tolerancí, je předpoklad, že rám skříně není deformován následkem násilného poškození, popřípadě předchozí neodbornou opravou.

Tímto je výčet všech měřených hodnot a způsobů měření hotov. Můžeme posoudit, zda kontrolované díly vyhovují předpisům a tolerancím.

5.4. Výstupní data z měření

Nejčastějším výstupem měření dílu je protokol o měření, který se může skládat s obrázků, textů, log, tabulek a dalších objektů. Program Inspect/Probing má vlastní velmi výkonné nástroje pro vytváření tabulek exportovatelných do MS office, obrázků, které lze uložit do libovolných grafických formátů, nebo vytvoření kompletního protokolu a jeho export do nejrůznějších formátů (PDF, HTML, JPG, apod.). Protokol o měření slouží jednak jako podklad pro opravu nevyhovujících rozměrů skříně a po opravě, seřízení a zkušební jízdě jako předávací dokumentace k vozidlu podle předpisu V6.

6. Závěr

Práce popisuje stávající metodu měření, která dle mého úsudku není vhodná pro operativu ve výrobním procesu firmy Pars nova a.s. Doba potřebná pro zajištění rozměrové kontroly spodku vozu je 2,5 hod se třemi zaměstnanci pro obsluhu přípravků a měřidel a to před opravou i po opravě skříně vozu. Proto je v této práci řešena metoda kontroly, která by vyhovovala současným požadavkům. Jako nejvhodnější varianta bylo vybráno měření 3D laserem.

V práci je zpracován postup pro měření, který lze využít i jako podrobný návod pro hardwarovou i softwarovou obsluhu 3D laseru, což usnadní zaškolení nebo zařazení dalších zaměstnanců do procesu.

K měření spodku vozu pomocí 3D laseru je nutné využít práce pouze jednoho zaměstnance po dobu 3,5 hod.

Hlavním přínosem bakalářské práce je tedy zejména časová úspora 4 hodin na 1 lokomotivu a flexibilita, dále také zaručená přesnost naměřených hodnot. Navrženou metodou se také odstraní uplatnění přípravků potřebných pro stávající měření, což se pozitivně projeví snížením nákladů. Nespornou výhodou zvolené metody je také široká škála možných měřených dílů a univerzální využití 3D laseru ve firmě Pars nova a. s.

V praxi bude tato práce považována za zjednodušení kontroly a měření v oboru kolejových vozidel.

7. Seznam příloh

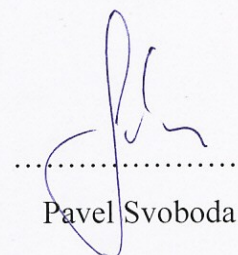
1. Příloha A - řezy lokomotivou vztažené k měřicímu listu
2. Příloha B - řezy lokomotivou vztažené k měřicímu listu
3. Příloha C - řezy lokomotivou vztažené k měřicímu listu
4. Příloha D - Měrný list spodku lokomotivy ř. 242
5. Příloha E - Protokol o měření spodku lokomotivy ř. 242

8. Použitá literatura

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; CEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov: COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, Josef; CEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETRKOVSÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007 Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.
- [6] http://www.hexagonmetrology.com.mx/eng/leica-t-probe_281.htm
- [7] http://webak.upce.cz/~lata/konference/sbornik-clanky/249_254_heptner.pdf
- [8] http://www.nms.sk/download/NMS/prospects/Leica/AT901_AIFM.pdf
- [9] http://www.nms.sk/download/NMS/prospects/Leica/AT901_AIFM.mp4
- [10] http://www.nms.sk/download/NMS/prospects/Leica/AT901_PowerLock.mov
- [11] Hexagon Metrology, *návod k obsluze Leica Geosystems Laser Trackers*
- [12] Pars nova a.s., *technická dokumentace k vozidlu - Předloha měrného listu spodku lokomotivy ř. 242*
- [13] Nakladatelství dopravy a spojů, ČSD V20/20 *Technologické předpisy pro Vyměřování rámu vozů a podvozků* Praha 1968
- [14] Pars nova a. s., *technická dokumentace k vozidlu*

Tímto děkuji doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za ochotu při konzultační činnosti při vypracování bakalářské práce.

V Šumperku dne: 23. 5. 2011



.....
Pavel Svoboda