

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie –
technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využitelnost laserového délkoměru Leica ve společnosti
ŠKODA POWER s.r.o.

Autor: **Michal HORŇÁK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. František ZVONEČEK, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal HORŇÁK**
Osobní číslo: **S10N0052P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu: **Využitelnost laserového délkoměru Leica ve společnosti ŠKODA POWER s.r.o.**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod, o společnosti, požadavky na měření, cíle práce
2. Teoretická část - měření délek, tvaru a polohy, princip měření
3. Omezující faktory
4. Porovnání technické dokumentace s praktickými možnostmi zařízení
5. Zhodnocení
6. Závěr



[Faint signature and stamp]

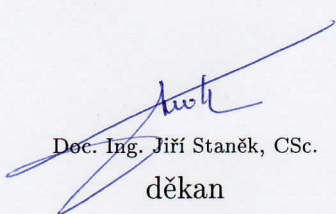
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:


**Systemy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí
vybavení ISO 10012:2003**
Podklady společnosti
Pracovní postupy
HOFMANN, Dietrich: Priemyselna meracia technika. Alfa Bratislava, 1988.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. František Zvoneček, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jaroslav Milsimer**
ŠKODA POWER s.r.o.
Ostatní konzultanti: **Doc. Ing. František Zvoneček, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **20. září 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2012**




Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan


Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 12. prosince 2011

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

AUTORSKÁ PRÁVA

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce by byla jen těžko realizovatelná bez odborného vedení. Za poskytnuté materiály, rady, podporu a v neposlední řadě trpělivost bych chtěl poděkovat především mému vedoucímu práce Doc. Ing. Františku Zvonečkovi, Ph.D. Dále bych chtěl taktéž poděkovat panu Ing. Jaroslavu Milsimerovi, panu Ing. Vladislavu Fryčkovi, panu Radku Černému a panu Miroslavu Matisovi, DiS. ze společnosti ŠKODA POWER s.r.o.

Michal Horňák

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Horňák	Jméno Michal		
STUDIJNÍ OBOR	2303T004			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zvoneček, Ph.D.	Jméno František		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Využitelnost laserového délkoměru Leica ve společnosti ŠKODA POWER s.r.o.			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	119	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	64
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na využitelnost a funkčnost laserového délkoměru Leica. V práci se řeší způsobilost měřidla metodou MSA, porovnává se měření lopatek s 3D měřicím zařízením Zeiss a orýsování velkých těles s pracovníky rýsovací desky a s tím spojená časová a finanční hlediska. Cílem je zjistit, zda laserový délkoměr Leica vyhovuje požadavkům společnosti.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Laser Tracker, T-Scan, ovlivňující faktory, metody MSA, experiment křídou, přesnost měření, měření lopatek, měření velkých těles, technická data, praktické možnosti zařízení</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Horňák	Name Michal	
FIELD OF STUDY	2303T004		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zvoneček, Ph.D.	Name František	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The usability of the laser range finder Leica in the company ŠKODA POWER s.r.o. (Ltd)		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	119	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	64
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Dissertation is focused on applicability and functionality of laser range finder Leica. In praxis it's solved eligibility of measuring instrument with a method MSA, compared gauging of vanes with 3D measuring instrument Zeiss and scribing of big solids with workers of place scribing. Overview their time and financial points of view. Aim is to find out, if laser range finder Leica is convenient for society requirements.
KEY WORDS	Laser Tracker, T-Scan, affecting factors, methods MSA, experiment with chalk, accuracy of gauging, gauging of vanes, gauging of big solids, technical dates, practical possibilities of apparatuses

Obsah

Použité zkratky	3
1 ÚVOD.....	4
1.1 Společnost ŠKODA POWER s.r.o.	4
1.1.1 Historie společnosti	4
1.1.2 Perspektiva oboru	5
1.1.3 Reference.....	5
1.1.4 Certifikáty.....	6
1.1.5 Víze společnosti	7
1.2 Požadavky na měření.....	8
1.3 Cíle práce	8
2 TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1 Měření délek, tvaru a polohy – metody bezkontaktní digitalizace.....	9
2.1.1 Aktivní triangulace	9
2.2.2 Pasivní triangulace	9
2.2.3 Optická interferometrie.....	9
2.2 Vlastnosti měření „Leica“	10
2.3 Popis systému	10
2.3.1 Laserový Tracker	11
2.3.2 ATController.....	11
2.3.3 T-Cam	11
2.3.4 T-Probe	13
2.3.5 T-Scan.....	14
2.3.6 Reflektor	15
2.4 Princip činnosti částí Leicy	16
2.4.1 Laserový Tracker	16
2.4.2 T-Scan.....	17
2.5 Softwarové vybavení	22
2.6 Bezpečnostní předpisy.....	23
3 OMEZUJÍCÍ FAKTORY	24
3.1 Teplota.....	24
3.2 Vibrace.....	24
3.3 Prašnost	24
3.4 Vlhkost.....	25
3.5 Tlak	25
3.6 Odrazivost.....	25
4 SÉRIE MĚŘENÍ PODLE MSA (analýza systému měření, způsobilost měřidla).....	26
4.1 Metoda R&R (metoda průměrů a rozpětí)	26
4.1.1 Charakteristika metody R&R.....	26
4.1.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody R&R	26
4.1.3 Měření Johansonových koncových měrek.....	26
4.1.4 Výsledek metody R&R.....	35
4.2 Metoda SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost	35
4.2.1 Charakteristika metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	35
4.2.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost	36
4.2.3 Měření Johansonovy koncové měrky – opakovatelnost a reprodukovatelnost současně (měření provádí několik pracovníků)	36
4.2.4 Výsledek metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	39

4.3 Metoda SPC-BOSCH – opakovatelnost	39
4.3.1 Charakteristika metody SPC-BOSCH – opakovatelnost.....	39
4.3.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody SPC-BOSCH – opakovatelnost	40
4.3.3 Měření Johansonovy koncové měřky – opakovatelnost.....	40
4.3.4 Výsledek metody SPC-BOSCH – opakovatelnost	41
5 POROVNÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE S PRAKTICKÝMI MOŽNOSTMI ZAŘÍZENÍ	42
5.1 Splnění/nesplnění předpokládaných přínosů společnosti.....	42
5.2 Úspora času a financí díky skenování těles.....	44
5.2.1 Časová náročnost.....	44
5.2.2 Finanční náročnost.....	44
5.3 Porovnání rýsovací desky a laserového délkoměru Leica při měření velkých těles	44
5.3.1 Rýsovací deska	44
5.3.2 Laserový délkoměr Leica.....	44
5.3.3 Výhody a nevýhody laserového délkoměru Leica vůči rýsovací desce	45
5.3.3.1 Výhody laserového délkoměru Leica	45
5.3.3.2 Nevýhody laserového délkoměru Leica	45
5.3.4 Časová náročnost.....	46
5.3.4.1 Rýsovací deska vs. laserový délkoměr Leica	46
5.3.4.2 Skenování laserovým délkoměrem Leica	46
5.3.5 Finanční náročnost rýsovači vs. Leica	46
5.4 Porovnání 3D měřicího zařízení Zeiss a laserového délkoměru Leica při měření lopatek.....	47
5.4.1 3D měřicí zařízení Zeiss.....	47
5.4.2 Laserový délkoměr Leica.....	47
5.4.3 Výhody a nevýhody laserového délkoměru Leica vůči 3D měřicímu zařízení Zeiss.....	47
5.4.3.1 Výhody laserového délkoměru Leica	47
5.4.3.2 Nevýhody laserového délkoměru Leica	47
5.4.4 Časová náročnost Zeiss vs. Leica.....	47
5.4.5 Finanční náročnost Zeiss vs. Leica.....	47
5.4.6 Měření lopatek měřicím přístrojem Leica.....	48
6 ZHODNOCENÍ.....	52
7 ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
PŘÍLOHA č. 1 - Kalibrační listy laserového délkoměru Leica	
PŘÍLOHA č. 2 - Výkresy velkých těles - spodku a svršku	

Použité zkratky

3DOF	tři stupně volnosti
6DOF	šest stupňů volnosti
ADM	absolutní vzdálenost
AIFM	absolutní laserový interferometr
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CMOS	doplňující se kov-oxid-polovodič
HSMS	health and safety management system – management bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
IFM	laserový interferometr
IR	infračervený
PSD	dvouosý fotosenzor
stl	soubor s touto koncovkou je model naskenovaného tělesa

1 ÚVOD

1.1 Společnost ŠKODA POWER s.r.o.

1.1.1 Historie společnosti

- 1859 – hrabě Valdštejn založil původní strojírenské závody
- 1869 – závody zakoupil Emil Škoda
- 1904 – vyrobena první parní turbína podle licence francouzského fyzika Rateau o výkonu 420 kW
- 1911 – turbíny systému Rateau byly nahrazeny turbínami vlastního designu ŠKODA
- 1932 – dvě 23MW parní turbíny s přehříváním páry
- 1959 – turboagregát 110 MW
- 1966 – turboagregát 200 MW
- 1976 – turboagregát 220 MW pro jadernou elektrárnu
- 1978 – turboagregát 500 MW
- 1992 – turboagregát 1 000 MW pro jadernou elektrárnu
- 1993 – privatizace, vytvoření dceřiných společností v rámci ŠKODA, a.s.
- 1994 – smlouva o vytvoření společného podniku v Kantonu, ŠKODA JINMA Turbines, Ltd. v Číně
- 1998 – vytvoření společnosti ŠKODA ENERGO jako nástupnické společnosti sloučených společností ŠKODA CONTROLS, s.r.o., ŠKODA ELEKTRICKÉ STROJE, s.r.o., ŠKODA ETD, s.r.o., ŠKODA TURBÍNY, s.r.o.
- 2004 – změna právní formy ŠKODA ENERGO s.r.o., na ŠKODA POWER s.r.o., se uskutečnila v prosinci 2004
- 2005 – ŠKODA POWER založila v Indii dceřinou společnost ŠKODA POWER India Pvt. Ltd.
- 2006 – v lednu 2006 došlo ke změně právní formy a místo ŠKODA POWER s.r.o. vznikla ŠKODA POWER, veřejná akciová společnost
- 2007 – USC jednotka 660 MW pro elektrárnu Ledvice
- 2009 – Firma Doosan Heavy Industries & Construction dokončila akvizici ŠKODA POWER a.s. a založila ŠKODA POWER a.s., a Doosan company [2]

1.1.2 Perspektiva oboru

Současný energetický trh nabízí pro dodavatele energetických zařízení dobré perspektivy. Do roku 2030 se odhadují investice do výstavby nových kapacit – nevyjímaje Evropu (výroba, přenos a rozvod, dodávky elektrické energie) cca 4,2 trilionů USD. [2]

Vzrůstající trend zaznamenávají paroplynové elektrárny (preferovány v zemích s nízkou pořizovací cenou plynu, tzn. země, které mají nebo budou mít dobrou hospodářsko-politickou vazbu na země se zdroji plynu) a především technologie využívající obnovitelné zdroje (vítr, biomasa, fotovoltaické články). Jako aktuální se jeví technologie DHC (District Heating and Cooling), která je perspektivní v zemích s vysokými teplotami, kde je neekonomická pouhá výroba elektrické energie využívaná hlavně pro klimatizace. Dochází také k renesanci jaderné energetiky jako jedné z cest k čistému získávání energie. [2]

1.1.3 Reference

Česká republika a Slovensko

Škoda Power má v oblasti energetiky na českém trhu pozici č. 1 a je schopna úspěšně konkurovat ostatním zahraničním firmám, které na českém trhu působí. Mezi významné zakázky patří turbíny o výkonu 2x1000 MW pro JE Temelín, které byly uvedeny do provozu v letech 2002 a 2003. V současné době se realizuje např. projekt obnovy bloků 4x200 MW v elektrárně Tušimice, obnova elektrárny Prunéřov 3x250 MW a výstavba nového bloku s nadkritickými parametry páry 660 MW v elektrárně Ledvice 660.

Čína

V letech 2004-2005 byly realizovány dodávky komponent pro projekty Tangshan I, Tangshan II a Weifang. Ve spolupráci se Skoda Jinma byla dodána turbína 25 MW pro elektrárnu Ningbo.

Indický subkontinent

Servis a modernizace např. projektu rekonstrukce bloků 110 MW v elektrárně Ennore, ale i nové projekty – např. Hazira 40MW, Eid Parry 32 MW, Deoband 25 MW a další. V roce 2005 založila v Indii dceřinou společnost Škoda Power India.

Latinská Amerika

Je tradičním trhem španělských firem. Škoda Power aktivně spolupracuje s firmou Abengoa / Abener, se kterou již realizovala projekty na území Španělska. V roce 2003 byl uveden do provozu paroplynový cyklus v elektrárně El Sauz v Mexiku s parní turbínou Škoda 145 MW, následně pak projekt Hermosillo 370 MW s turbínou Škoda 94 MW.

Španělsko

Dodávky turbín pro spalovny komunálního odpadu, např. pro spalovnu Cerceda 50 MW nebo Ocaña a La Puebla.

Itálie

Dodávka turbíny 120 MW pro spalovnu komunálního odpadu Accera. V roce 2004 podepsala Škoda Power strategickou smlouvu o společném výzkumu s italskou firmou Ansaldo Energia.

Polsko

Tento trh je díky tradičním kontaktům a své rozsáhlosti pro Škoda Power velmi perspektivní. Realizace dvou projektů kogeneračních jednotek (Katowice 125 MW a Tychy 40 MW).

Balkán

Projekt rekonstrukce elektrárny Kakanj v Bosně, turbína 40 MW pro teplárnu Zagreb a rovněž teplárenská turbína 60 MW pro Bukurešť.

Severské země

Instalace parních turbín, např. ve Finsku – Vaasa, Hanasaari, Seinajoki, v Dánsku – Amager, Oersted. Ve všech těchto elektrárnách trvale zajišťuje servis. Společnost zde získala v poslední době finské projekty Kuopio a Torno, dále po dvou projektech ve Švédsku a Dánsku.

Německo

Dodávka turbíny o výkonu 23 MW pro spalovnu Emlichheim a turbínu o výkonu 60 MW pro spalovnu Europark. Ve spalovně Hoechst je v současnosti uváděna do provozu další turbína Škoda 86 MW. [2]

1.1.4 Certifikáty

Společnost je držitelem certifikátů:

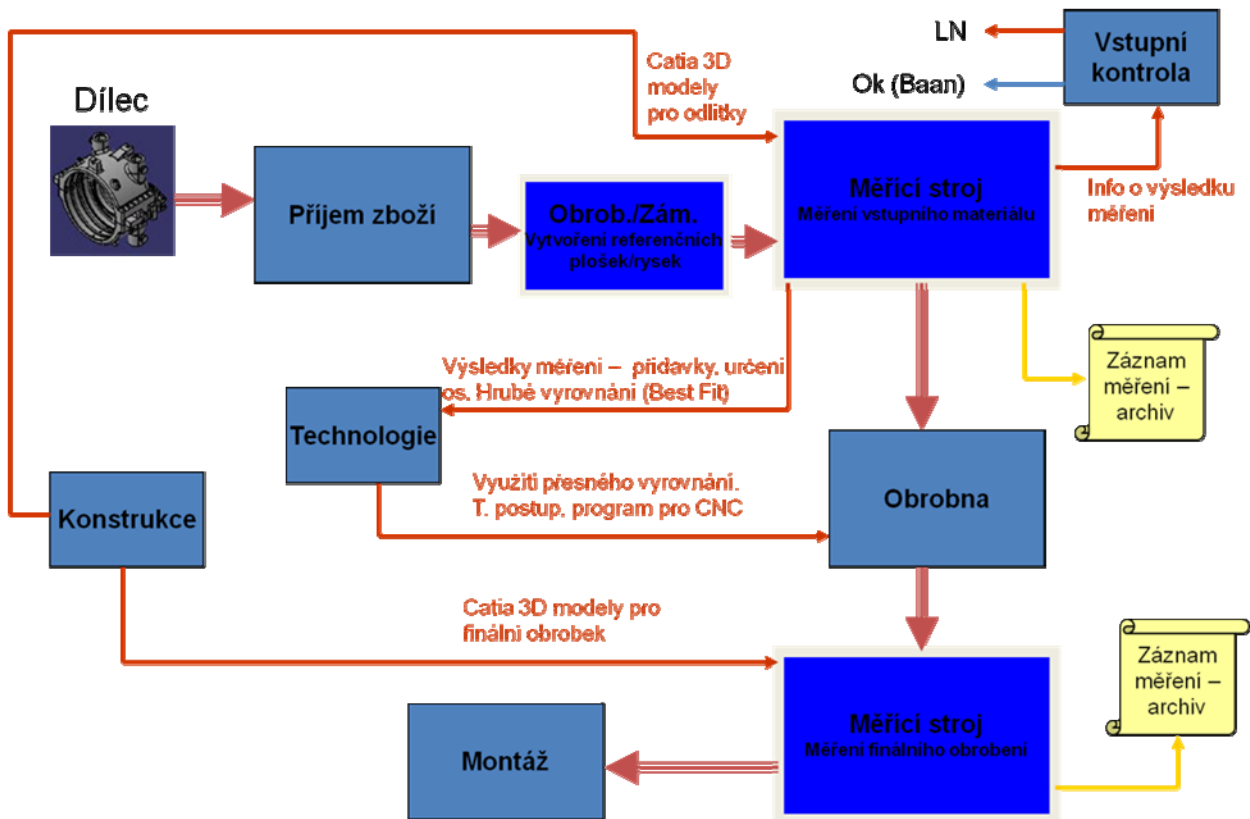
- EN ISO 9001:2008 – systém managementu kvality
- EN ISO 14001:2004 – systém environmentálního managementu
- BS OHSAS 18001:2007 – systém managementu BOZP
- AD 2000-Merkblatt AD0 – pro výrobu tlakových zařízení
- ASME Code Int., Div. I, Div. II – pro výrobu tlakových nádob dle amerického předpisu [2]

1.1.5 Vize společnosti (obr. 1.1)



Obr. 1.1

1.2 Požadavky na měření



Obr. 1.2

Na obr. 1.2 je zobrazena cesta dílce společností. Důležitými hledisky jsou měření dílce jak při vstupu materiálu tak po finálním obrobení a dané postupy pro situace po změření.

1.3 Cíle práce

- použití metody MSA pro zjištění způsobilosti měřidla pro měření série kusů
- porovnání funkčních schopností laserového délkoměru Leica s požadavky firmy a deklarovanými vlastnostmi výrobce
- porovnání laserového délkoměru Leica s pracovníky rýsovací desky
- porovnání laserového délkoměru Leica s 3D měřícím systémem Zeiss
- časová a finanční hlediska laserového délkoměru Leica

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Měření délek, tvaru a polohy – metody bezkontaktní digitalizace

Povrchy reálných předmětů se mohou bezkontaktně snímat třemi metodami, které jsou na bázi optického měření:

- aktivní triangulace
- pasivní triangulace
- optická interferometrie
- měření doby letu světla

2.1.1 Aktivní triangulace

Princip této metody závisí současně na nasvícení povrchu snímaného tělesa aktivním světelným zdrojem (laserem nebo LED diodou) a na snímání povrchu tělesa snímačem. Výsledkem je rastrový obraz tělesa. Světelný zdroj, snímač a osvětlovaný bod vytváří triangulační trojúhelník. Spojnicí zdroje světla a snímače je triangulační báze. Úhel zdroje světla je konstantní. Úhel snímače je závislý na pozici osvětlovaného bodu na snímači. Pomocí úhlu snímače a triangulační báze lze zjistit vzdálenost měřeného bodu na povrchu tělesa. [6]

2.2.2 Pasivní triangulace

Princip této metody závisí na dvojici snímačů, u nichž musí být známa jejich vzájemná vzdálenost středů. Díky těmto snímačům se vytvoří dva stereoskopické snímky. Vzdálenost povrchu od středu pohledu obou snímačů lze určit z úhlu sdružených paprsků. [6]

2.2.3 Optická interferometrie

Princip této metody je založen na principu měření doby letu koherentního záření. Snímač zachycuje vlnění (měřené a referenční), které spolu interferuje a vzniká požadovaný rozměr. [6]

2.2 Vlastnosti měření „Leica“

Koncové zařízení je detekováno laserovým paprskem z Trackeru. Na každém koncovém zařízení je detekční zrcátko, mezi nímž a Trackerem musí být přímá viditelnost. U reflektoru je proto největší přesnost, protože se čte přímo detekční zrcátko, nezanášá se tedy chyba koncového zařízení. V každém okamžiku je odečítáno velké množství měření, po zprůměrování dojde k SW korekci vnějších vlivů. Teplotní vlivy jsou navíc korigovány připojenou meteostanicí. [3]

Laser Tracker:

- možnost měření velkých komponent (až 25m)
- malý vliv vibrací, teplotních změn
- flexibilita – přenosné zařízení
- nejsou nutné stavební úpravy
- menší přesnost měření (60/60/30 μ m) – přesnost na 4m délky
- pro vyšší přesnost nutná práce 2 pracovníků
- nutná přímá viditelnost, velké kusy nelze měřit z jedné pozice (nutné otočení)
- nutno ručně odměřit (pohybování měřicí hlavou)

2.3 Popis systému

Leica Absolute Tracker je mobilní optický CMM („přenosný CMM“), který vypočítává 3D-polohu reflektoru z horizontálního úhlu, vertikálního úhlu a provádí měření vzdálenosti. Úhlová snímání se dělají s použitím kódovacích zařízení s vysokým rozlišením, zatímco vzdálenosti jsou určovány s použitím buď laserového interferometru nebo měřidla absolutní vzdálenosti (absolute distance meter – ADM). Absolute Tracker od Leica Geosystems využívá laserový paprsek k tomu, aby přesně měřil a prováděl inspekci ve sférickém rozsahu do 50 m (160 m). Absolute Tracker dokáže shromažďovat 3D souřadnice třemi způsoby: sledováním malé zrcadlové koule (reflektorem), sledováním Leica T-Probe (ručního přenosného bezdrátového kontaktního snímače) nebo sledováním Leica T-Scan (bezkontaktního vysokorychlostního skeneru). Která měřicí metoda bude použita, závisí na měřené aplikaci. [3]

2.3.1 Laserový Tracker

Senzorová jednotka čte prvotní úhly a vzdálenosti. Obsahuje laserový interferometr (IFM) a absolutní délkoměr (ADM), které jsou integrovány do společného modulu s názvem absolutní interferometr (AIFM). Laserový svazek paprsků je odchýlený sklopným zrcadlem do cíle reflektoru. Odražený svazek je snímán přijímačem a dvouosým fotosenzorem (PSD). Rozdíly PSD hodnot umožňují sledovací schopnost laserového trackeru (obr. 2.1). [3]



Obr. 2.1

Absolute Tracker umožňuje snadnou obsluhu jednou osobou, váží 22 kg a na výšku měří 62 cm. Rychlý uvolňovací mechanismus bezpečně připojuje snímač na robustní tripod. Tím je dosaženo spolehlivé stability, což je základ pro přesná měření. Zároveň není přepravitelnost systému složitá, Absolute Tracker se vejde do vozíku střední velikosti. [3]

2.3.2 ATController

ATController je řídicí jednotka Laserového Trackeru. Obsahuje systémy pro ovládání trackeru stejně jako potřebnou elektroniku k dekódování signálu z trackeru a jejich číselnou interpretaci. Obsahuje vlastní operační systém a firmware, který tvoří rozhraní mezi trackerem a měřicím softwarem. Systém, který běží v ATControlleru, se nazývá emScon a pomocí vhodného rozhraní dokáže ovládat všechny základní funkce trackeru. [3]

2.3.3 T-Cam

Leica T-Cam (obr. 2.2) je CMOS digitální kamerový systém pracující s viditelným světlem a blízko infračervené (IR) radiace, s optickým vario zoomem a motorem pro vertikální, úhlový pohyb. Nasazený na Leica Absolute Tracker, Leica T-Cam průběžně

sleduje cílové zařízení a zachycuje obrazy IR LED diod umístěných na nich. T-Cam přírůstkové úhlové kódovací zařízení se používá k zabezpečení vertikálního, úhlového pohybu T-Cam podle naváděcích úhlů trackeru. [3]

Reflektor integrovaný v cílovém zařízení, spolu se souborem desíti IR LED diod vsazených na povrchu cílového zařízení, reprezentují měřicí cíle systému. Šest měřících parametrů kompletně popisuje cílové zařízení ve spojení s laserovým sledovacím systémem. Jsou to 3 parametry polohy (x, y, z) a 3 parametry orientace (délka, šířka, výška). Spolu tvoří princip šesti stupňů volnosti (Six Degrees of Freedom – 6DOF). Tyto parametry jsou určovány Leica Absolute Trackerem (poloha) a Leica T-Camem (orientace). [3]



Obr. 2.2

Vario zoom v Leica T-Cam udržuje velikost cílového zařízení jako viditelnou konstantu CMOS snímače, řešící takto největší problém, kterému předtím čelily fotogrammetrické systémy, které nebyly schopné sledovat cíle kvůli měnící se velikosti sledovaného objektu vnímané kamerou (např. čím vzdálenější je cílové zařízení, tím menší se jeví na snímači kamery). [3]

Cílová zařízení vysílají pulzující infračervené světlo známé vlnové délky a CMOS kamera využívá clonu, která zajišťuje stejnou frekvenci, ve které pulzuje cílové zařízení. Tímto způsobem může efektivně „ignorovat“ všechny další zdroje světla kromě samotného cílového zařízení. [3]

2.3.4 T-Probe

Bezdrátový dotykový snímač T-Probe (obr. 2.3) je efektivní a vysoce flexibilní mobilní řešení pro bodové snímání skrytých nebo těžko dostupných míst s minimálním časem na přípravu a s vysokou přesností.



Obr. 2.3

Dotykový snímač obsahuje jeden reflektor a 10 infračervených diod. Reflektor slouží na přesné odměření polohy snímače v prostoru. Na rozdíl od kulového reflektoru jsou však v tomto případě pomocí kamery snímány i infračervené diody, pomocí kterých je systém schopen určit také přesné natočení snímače v prostoru. Tento princip dává obsluze tzv. 6 stupňů volnosti (6DOF), které umožňují velmi snadné navádění snímače na potřebné místo a flexibilní a rychlé měření. [3]

2.3.5 T-Scan

T-Scan senzor (obr. 2.4) je triangulační laser s přidaným optickým skenerem, který způsobuje laterální odchylky laserového paprsku. Skener rozšiřuje jednorozměrný lineární měřicí rozsah do dvojdimenzionálního.



Obr. 2.4

T-Scan senzor má měřicí rozsah (měřicí hloubku) přibližně ± 39 mm. Střední vzdálenosti (střed měřicí hloubky – „StandOff“) je 80 mm od krytu skeneru. Použitelná šířka laserové čáry je přibližně 90 mm ± 25 mm (obr. 2.5). [3]

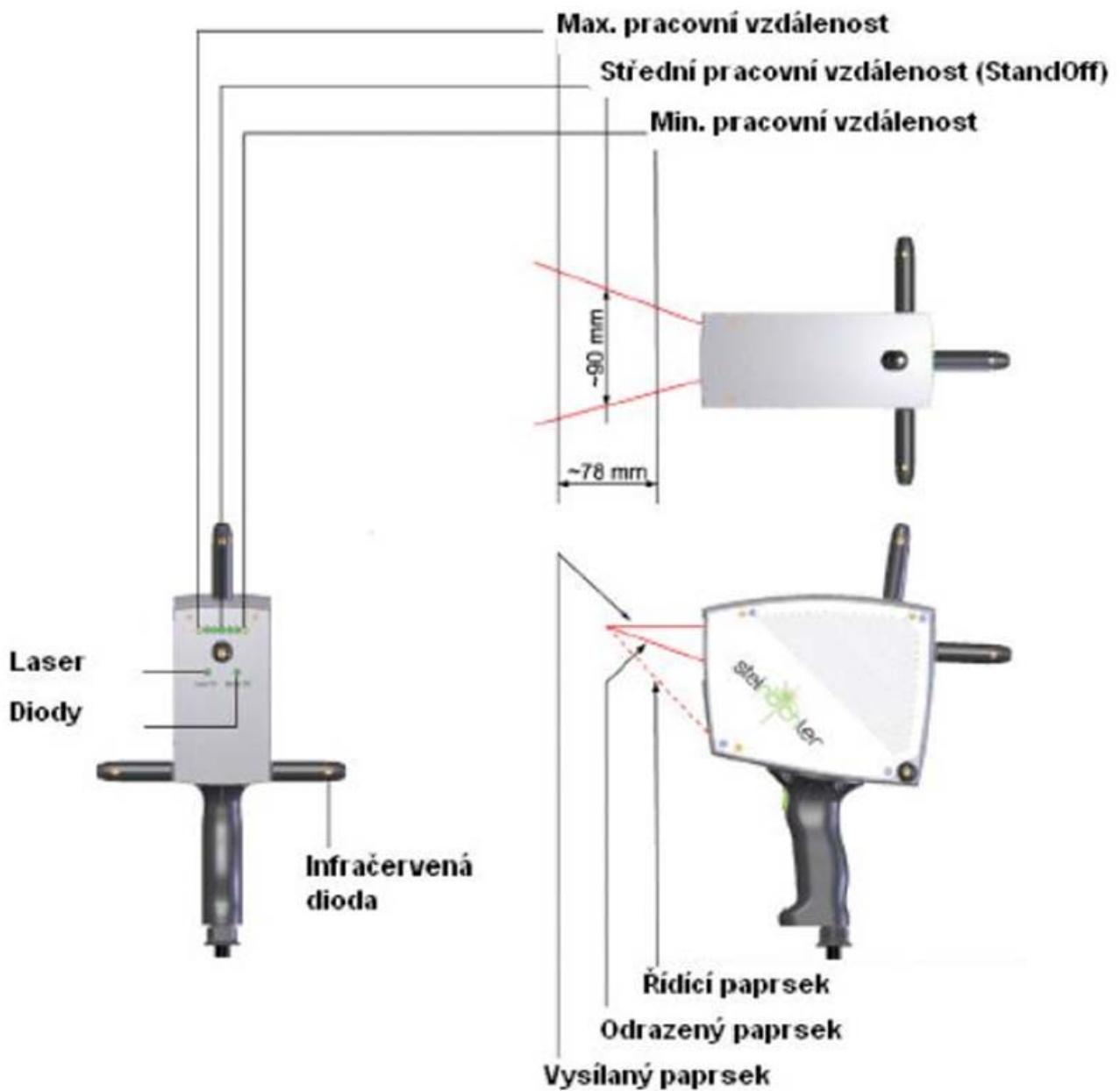
Sběr dat se začíná pomocí spouště na rukojeti senzoru.

Senzor má tzv. řídicí laserový paprsek jako pomoc při polohování skeneru. Řídicí paprsek protíná laserovou čáru ve střední pracovní vzdálenosti. Pokud je řídicí paprsek pod čarou, měřicí vzdálenost je moc malá, pokud je paprsek nad čarou, vzdálenost je moc velká. [3]

Navíc je senzor opatřen LED diodami, které indikují vzdálenost senzoru od měřeného objektu a také stav laseru a infračervených diod.

K zjištění polohy senzoru v prostoru je senzor vybaven sadou infračervených diod, které jsou sledovány pomocí kamer v optotracku. [3]

T-Scan senzor je schopen měřit 2D data (vzdálenost a polohu) s rychle se pohybujícím rozmítaným bodem, který pro lidské oko utváří laserovou čáru. V kombinaci s 6D daty ze sledovacího systému optotracku (6 stupňů volnosti – 3 souřadnice polohy a 4 úhly natočení v prostoru), poskytuje 3D informaci o skenovaném objektu v prostoru. [3]



Obr. 2.5

2.3.6 Reflektor

Reflektor (obr. 2.6) je zařízení zpravidla kulovitého tvaru přesných rozměrů, které v sobě obsahuje systém zrcadel nebo jiných odrazových ploch k odražení přijatého laserového paprsku zpět do trackeru, je tedy nutná viditelnost s paprskem Trackeru. Reflektor je přesnější

metodou měření Laser Trackerem. Při tomto měření je odečten vždy jeden bod. Existuje několik druhů reflektorů, které se liší velikostí (1,5“; 0,5“), použitým materiálem (CCR, TBR), odolností vůči pádu a podobně. [3]



Obr. 2.6

2.4 Princip činnosti částí Leicy

2.4.1 Laserový Tracker

V ideálním prostředí by laserový tracker spojil schopnost okamžitě obnovit přerušeny laserový paprsek a hned začít sledovat cíl. Zároveň by měřil absolutní vzdálenosti s nejvyšší přesností a byl by libovolně rychlý. Udržování integrační doby (čas potřebný k provedení matematických operací k určení polohy cíle) na minimum je základem při sledování pohyblivých cílů. [3]

Většina laserových trackerů k provedení úkolu historicky používala buď měřidla absolutní vzdálenosti (ADM) anebo interferometry (IFM). Každý systém má své silné stránky.

IFM dokáže určit relativní vzdálenosti (např. změnu ve vzdálenosti od bodu k bodu) s přesností na úrovni nanometru, s okamžitou aktualizací, která je limitována pouze rychlostí, kterou je pohybováno reflektorem. Je průmyslovým standardem více než 30 let a zůstává nejpresnějším systémem k dispozici pro měření velkých vzdáleností. Avšak IFM dokáže měřit

pouze relativní vzdálenosti, a není schopen určit absolutní polohu ve 3D prostoru bez toho, aby měl známý počáteční bod. [3]

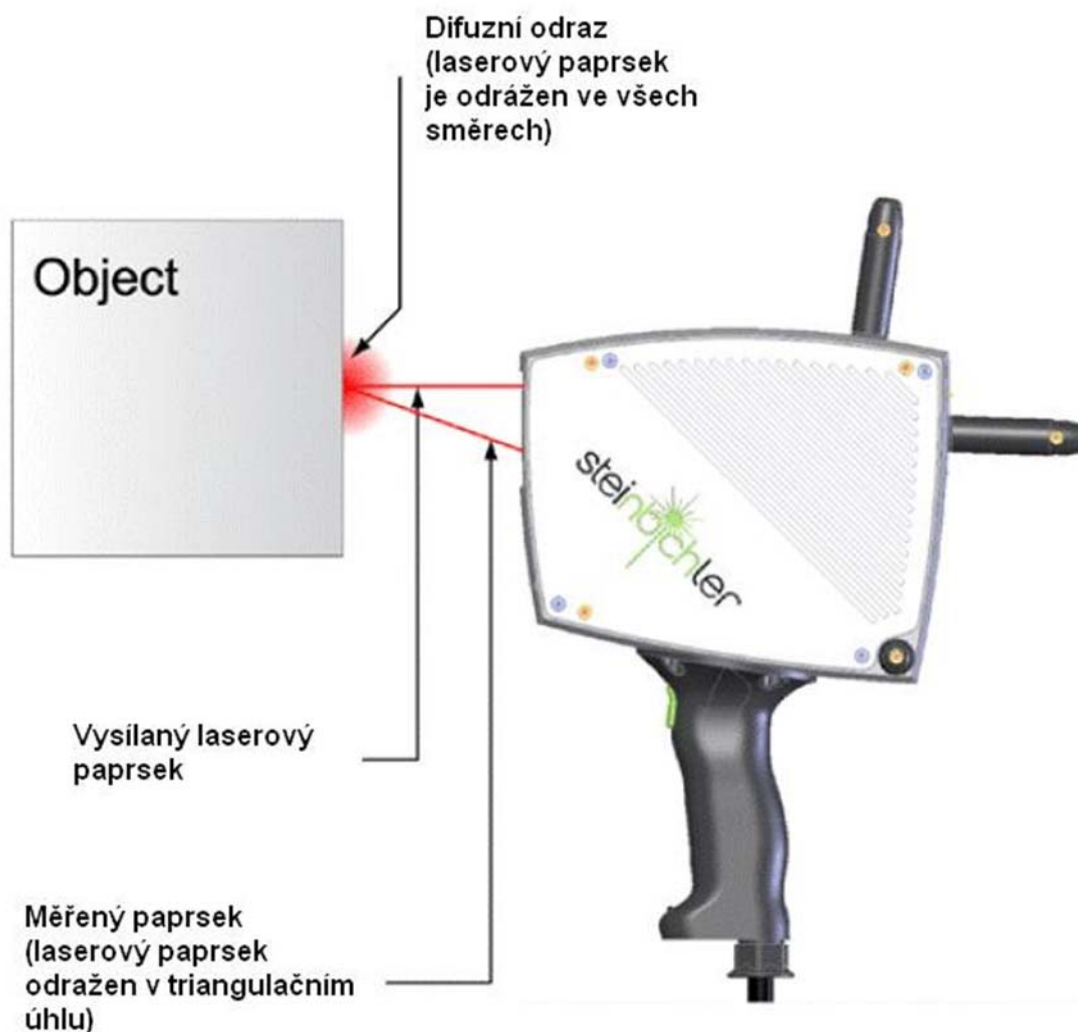
ADM měří absolutní vzdálenosti (např. vzdálenosti k známému bodu ve 3D souřadnicovém systému) s mimořádnou přesností, ale dokonce ani nejrychlejší nemohlo nikdy dosáhnout přesnosti nebo rychlosti IFM pro dynamická měření. Avšak přesnost ADM má konstantní hodnotu v celém měřicím rozsahu, dokonce i u vnější hranice měřicího rozsahu. [3]

Reflektor integrovaný v cílovém zařízení, spolu se souborem desíti IR LED diod vsazených na povrchu cílového zařízení, reprezentují měřicí cíle systému. Šest měřicích parametrů kompletně popisuje cílové zařízení ve spojení s laserovým sledovacím systémem. Jsou to 3 parametry polohy (x , y , z) a 3 parametry orientace (délka, šířka, výška). Spolu tvoří princip šesti stupňů volnosti (Six Degrees of Freedom – 6DOF). Tyto parametry jsou určovány Leica Absolute Trackerem (poloha) a Leica T-Camem (orientace). [3]

PowerLock vizuální technologie dokonale mění způsob, jakým byly doposud laserové trackery používány. Operátor se už nemusí zabývat laserovým paprskem, může jednoduše měřit a nechat tracker, aby si reflektor vyhledal a uzamkl sám. [3]

2.4.2 T-Scan

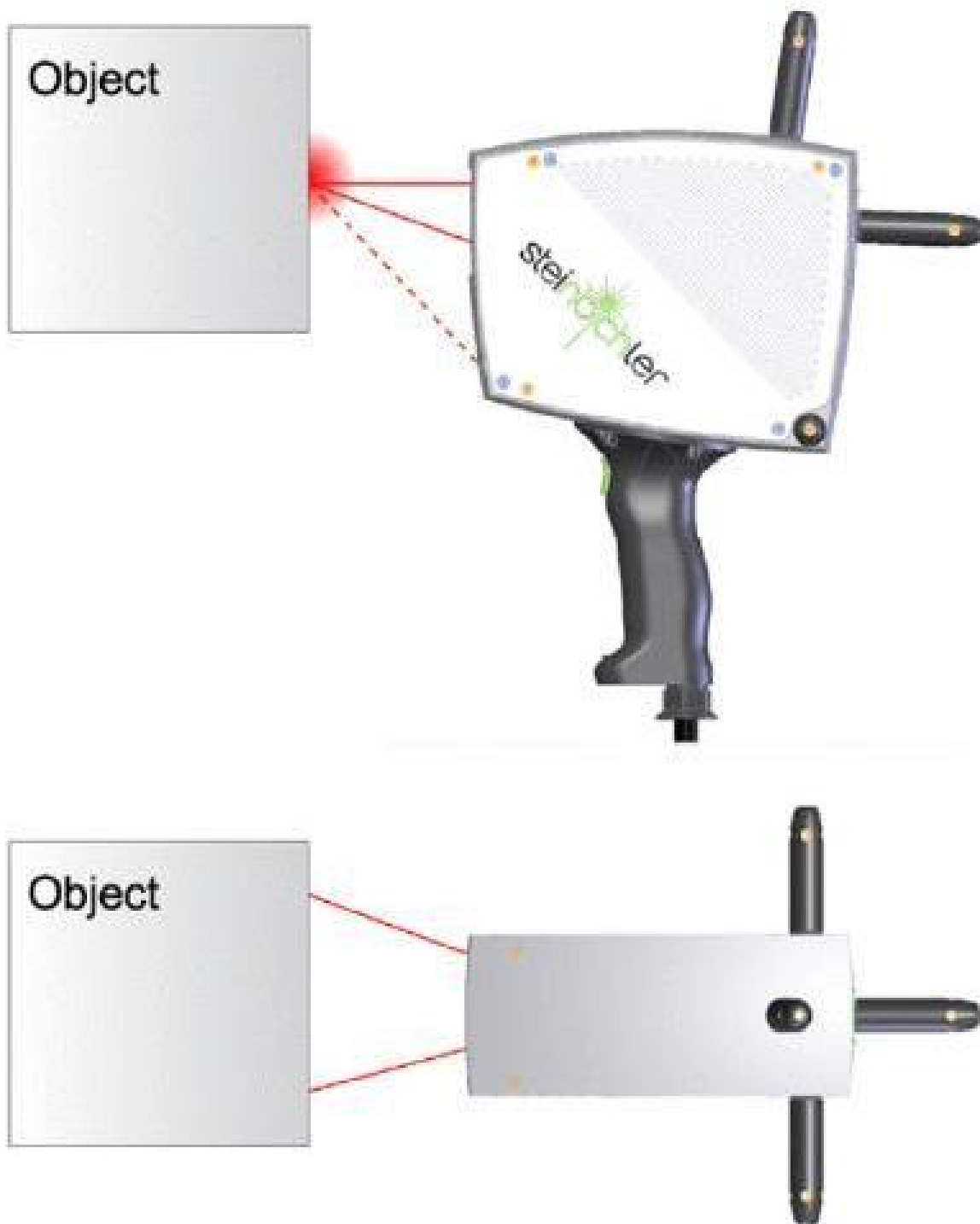
Princip T-Scan senzoru je založen na triangulaci. Skener vysílá laserový paprsek ve formě rozmítaného laserového bodu (laserové čáry), který se odráží do všech směrů od skenovaného povrchu. Odražený paprsek, který vnikne zpět do skeneru pod triangulačním úhlem, je pomocí optických čoček nasměrován do optického detektoru, pomocí kterého je stanovena vzdálenost. [3]



Obr. 2.7

Nejlepší povrch pro skenování je difúzně odrazivý povrch, kterým neprochází světlo. Méně vhodné jsou reflexní povrchy, kde laserový paprsek není odražen difúzně, nebo povrchy, kterými prochází světlo. Díky technologii rozmítaného laserového paprsku je T-Scan senzor schopný automaticky nastavit výkon laseru v každém bodě laserové čáry a zabezpečit tak co nejvhodnější odražený paprsek v optickém detektoru senzoru. Proto je T-Scan senzor schopný měřit také méně vhodné optické povrchy bez jakéhokoliv zmatňování. [3]

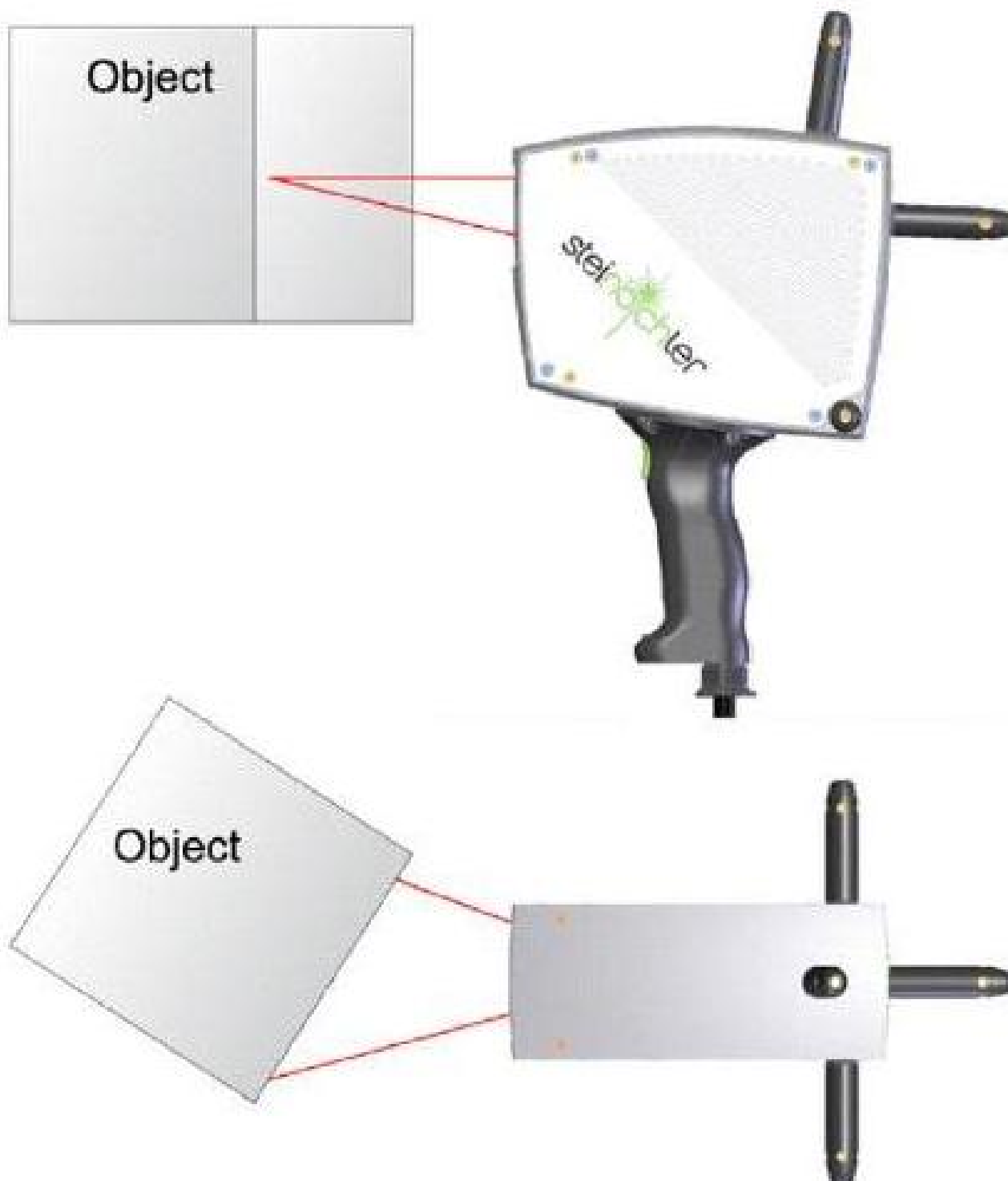
- **Orientace k povrchu**



Obr. 2.8: Optimální orientace k povrchu

Pro správné měření s T-Scan senzorem by měl být laserový paprsek namířen kolmo na měřený objekt. Při tomto nastavení je laserový paprsek optimálně odražen zpět do senzoru

a T-Scan poskytuje maximální přesnost. Je patrné na obr. 2.8, znázorňující nárys a půdorys T-Scanu v ideální pozici skenování.



Obr. 2.9: Nevhodná orientace k povrchu

Orientace T-Scanu na obr. 2.9, znázorňující nárys a půdorys T-Scanu snímajícího objekt, je nevhodný pro skenování. Paprsek se hůře odráží a vzniká chyba měření.

- **Překážka odraženého paprsku**

Překážka odraženého paprsku znamená přerušení odraženého paprsku na cestě zpět do senzoru. Tento jev vzniká hlavně na hranách objektů (obr. 2.10). Zamezit přerušení paprsku je možné rotací senzoru. [3]



Obr. 2.10

- **Úplný odraz**

Za určitých podmínek může odrazivý povrch odrazit laserový paprsek úplně (obr. 2.11). Když úhel odrazu je stejný jako úhel dopadu, může tzv. úplný odraz ovlivnit výsledky měření. Optický přijímač je tehdy ozářen a nemůže přesně detekovat správnou pozici bodu. Vhodným polohováním senzoru je možné předejít úplnému odrazu. [3]



Obr. 2.11

2.5 Softwarové vybavení

Ve Škodě Power se používá software Polyworks, který načítá a vyhodnocuje hodnoty získané ze skenování Laser Trackerem. Již během samotného skenování program vyobrazuje pohyb T-Scanu a snímání sítě bodů. V druhé fázi dochází k vyhodnocení naměřených hodnot, zjištění rozměrů měřených těles, popřípadě vytvoření stl modelu.

Společnost má zakoupeny tyto součásti Polyworksu:

- IM Inspect – měření a vyhodnocování
- IM Align – skenování a práce se skeny
- IM Merge – vytváření polygonálních modelů ze scanů
- IM Compress – optimalizace polygonálních modelů
- IM Edit – úprava polygonálních modelů a vytváření CAD ploch z polygonálních modelů
- IM View – freeware aplikace pro prohlížení zpracovaných výsledků měření bez možnosti úprav [2]

2.6 Bezpečnostní předpisy

Znalost funkce T-Scan senzoru je základem pro bezpečné měření se systémem. Bezpečnostní štítek na senzoru upozorňuje operátora na zdroje nebezpečí, na které je nutné brát ohled během měření.

- Laserový paprsek – je viditelný a může způsobit poranění při přímém nebo nepřímém kontaktu s očima. Je nutné se vyhýbat očnímu kontaktu s optickým otvorem.
- Řídící paprsek – svítí po zapnutí T-Scan kontroleru. Není nutný k měření, jenom asistuje při polohování T-Scan senzoru.
- Upozornění – krytí T-Scan senzoru nesmí být otevřeno. Součásti T-Scan senzoru nemůžou být opravené ani vyměněné operátorem. [3]

Bezpečnostní třída laseru	2 IEC 825-1 / EN 60825-1
Zdroj laseru	Laserová dioda
Vlnová délka	670 nm (červená)
Maximální výkon	1,0 mW
Režim operace	pulzní

3 OMEZUJÍCÍ FAKTORY

Na výsledek měření má vliv řada omezujících faktorů, kterými jsou obecně teplota, tlak, vlhkost a další.

Pro měření laserovým dálkoměrem Leica jsou omezující faktory následující:

3.1 Teplota

Na zvyšování nebo snižování teploty závisí roztažnost daného měřeného kusu. Proto je ideální měřit v kalibrační laboratoři, kde je teplota stabilní a snižuje se odchylka měření.

Teplota ovlivňuje index lomu vzduchu, který způsobuje změnu rychlosti a vlnové délky laserového svazku paprsků. Tato změna ovlivňuje hodnoty měření vzdálenosti. Proto součástí Laser Trackeru je meteostanice, která získává data a použije je pro zjištění aktuálního indexu lomu v atmosféře. [3]

Chyba měření se může také projevit kvůli vzdálenosti Laser Trackeru, T-Scanu a měřené součásti. Součástí Laser Trackeru je meteostanice, která je umístěna u Laser Trackeru. Problém nastává ve vzdálenosti Laser Trackeru od T-Scanu, která se pohybuje od 2 m do 7,5 m. Ideální vzdálenost T-Scanu od měřené součásti je cca 4 cm až 12 cm.

3.2 Vibrace

Vibrace vznikají určitou nevyvážeností strojního zařízení nebo okolním prostředím, mechanizací, jeřáby a dalšími faktory.

K tlumení vibrací je ideální měřit na pracovišti rýsovačů, kde se předpokládá kvalitní tlumené ukotvení pracoviště, aby se zamezilo okolním vlivům a odchylka měření byla minimální.

Laser Tracker je mobilní, tedy je možno s ním měřit po celé hale a je to považováno za jeho výhodu, ale v ohledu k vibracím je dobré měřit součásti na pracovišti rýsovačů, pokud je to jen možné. Sníží se tak odchylka měření.

3.3 Prašnost

Prašností se rozumí přítomnost prachu v ovzduší a je významnou složkou čistoty vzduchu. Laser Tracker obsahuje prachový filtr, který se musí čistit, popřípadě vyměnit, aby nedocházelo k odchylce měření.

3.4 Vlhkost

Vlhkost vzduchu známe absolutní a relativní. Absolutní vlhkost vzduchu, vyjádřená stavem vodní páry nezávisle na vzduchu, se v metrologii nepoužívá. Relativní vlhkost, vyjádřená hmotností vodní páry připadající na 1 kg suchého vzduchu, je pro metrologii důležitá a v metrologické laboratoři by se relativní vlhkost vzduchu měla pohybovat mezi 35% až 65%. [8]

Vlhkost vzduchu ovlivňuje index lomu vzduchu, který způsobuje změnu rychlosti a vlnové délky laserového svazku paprsků, protože paprsek kvůli tomuto faktoru ztrácí na koherenci a rozptyluje se. Tato změna ovlivňuje hodnoty měření vzdálenosti. Proto součástí Laser Trackeru je meteostanice, která získává data a použije je pro zjištění aktuálního indexu lomu v atmosféře. [3]

3.5 Tlak

Tlak ovlivňuje index lomu vzduchu, který způsobuje změnu rychlosti a vlnové délky laserového svazku paprsků. Tato změna ovlivňuje hodnoty měření vzdálenosti. Proto součástí Laser Trackeru je meteostanice, která získává data a použije je pro zjištění aktuálního indexu lomu v atmosféře. [3]

3.6 Odrazivost

Tento faktor je velmi důležitý pro T-Scan. Ideálním měřeným tělesem je černé matné těleso, proto se i kalibrace T-Scanu provádí na černém matném etalonu. Experiment na odrazivost je dále v kapitole 4.2.4.

4 SÉRIE MĚŘENÍ PODLE MSA (analýza systému měření, způsobilost měřidla)

4.1 Metoda R&R (metoda průměrů a rozpětí)

4.1.1 Charakteristika metody R&R

Vyšetření způsobilosti se provádí na určitém počtu skutečných výrobků, které se z pohledu této metody chovají jako etalony. Skutečné hodnoty etalonů však není potřeba zjišťovat, tyto hodnoty nemají žádný vliv na výsledek způsobilosti měření.

Tato metoda je založena na opakovaném měření jednoho rozměru určitým počtem různých kusů stejného výrobku určitým počtem operátorů, kdy každý operátor provede několikrát měření hodnot skupiny výrobků.

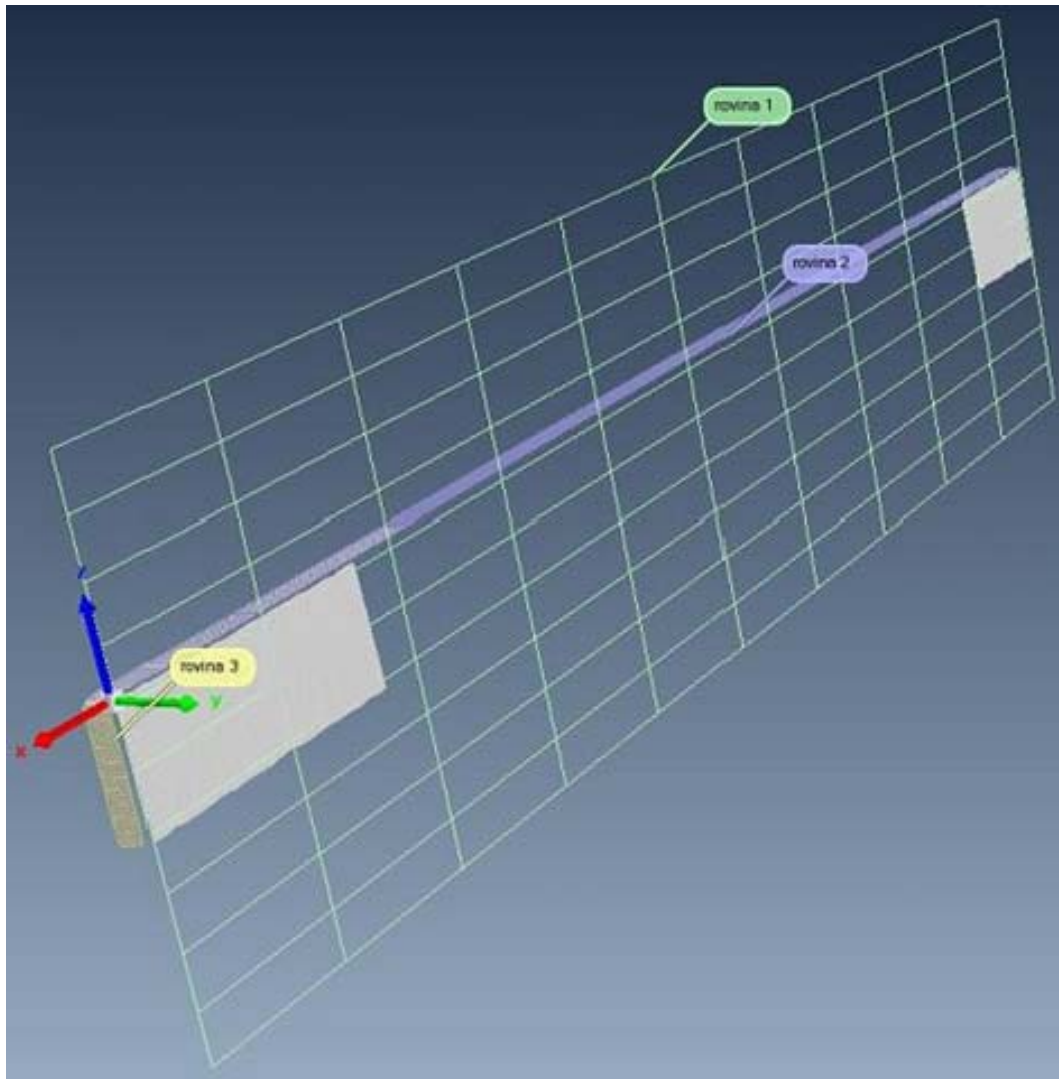
Po změření dochází k vyhodnocování a zjištění opakovatelnosti EV (variability měřícího hodnocení při opakovaném měření jedním operátorem), reprodukovatelnosti AV (variability měřícího zařízení při opakovaném měření různými operátory) a celkové variability měření R&R[%] vyjádřené v procentech vzhledem k toleranci výrobku nebo vzhledem k proměnlivosti procesu (variabilitě výrobku). Opakovatelnost EV a reprodukovatelnost AV je možné pomocí této metody posuzovat samostatně. [10]

4.1.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody R&R

Pokud je $R\&R[\%] < 10$, je systém měření vyhovující. Pokud je $R\&R[\%]$ v rozmezí 10-30, je podmíněčně vyhovující (systém měření může být přijatelný podle důležitosti aplikace, nákladů na měřidlo, nákladů na opravy a podobně). Pokud je $R\&R[\%] > 30$, je systém měření nevhovující. Parametr ndc (počet rozlišitelných kategorií neboli citlivost měřícího systému) musí dosahovat alespoň hodnoty 5. [10]

4.1.3 Měření Johansonových koncových měrek

Na základě metody R&R byly změřeny Johansonovy koncové měrky v rozměrech 125, 150, 175, 200, 250, 300, 400, 500, 600 a 700 mm. Tedy 10 kusů na 2 opakování měřili 3 operátoři T-Scanem. Po změření T-Scanem se hodnoty vyhodnocovaly v programu PolyWorks.



Obr. 4.1: Vyhodnocení skenu v softwaru Polyworks

Operátor (i)	Měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	124,977	150,008	175,000	200,034	249,942	300,009	399,985	500,017	600,030	700,020
	2	125,041	149,959	174,980	200,017	249,991	300,035	400,000	500,051	600,030	699,987
2	1	125,044	150,025	175,007	199,963	250,009	300,000	400,057	499,989	599,973	700,019
	2	124,994	150,038	175,002	200,024	249,987	300,001	399,991	499,940	600,011	700,042
3	1	124,990	150,058	174,966	199,980	249,954	299,943	399,993	500,022	600,008	700,010
	2	124,956	149,965	174,982	199,999	249,952	300,019	399,991	499,980	600,009	699,969

Tabulka 4.1

Po zanesení hodnot do tabulky 4.1 se musí vypočítat odchylky Δ od nominálních hodnot z důvodu mezí USL a LSL, která jsou určena tolerancí T-Scanu v kalibračním listě (příloha č. 1), tedy $\pm 0,060$ mm. Hodnoty odchylek Δ jsou v tabulce 4.2.

Operátor (i)	Měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)									
		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$	$\Delta 7$	$\Delta 8$	$\Delta 9$	$\Delta 10$
1	1	-0,0230	0,0080	0,0000	0,0340	-0,0580	0,0090	-0,0150	0,0170	0,0300	0,0200
	2	0,0410	-0,0410	-0,0200	0,0170	-0,0090	0,0350	0,0000	0,0510	0,0300	-0,0130
2	1	0,0440	0,0250	0,0070	-0,0370	0,0090	0,0000	0,0570	-0,0110	-0,0270	0,0190
	2	-0,0060	0,0380	0,0020	0,0240	-0,0130	0,0010	-0,0090	-0,0600	0,0110	0,0420
3	1	-0,0100	0,0580	-0,0340	-0,0200	-0,0460	-0,0570	-0,0070	0,0220	0,0080	0,0100
	2	-0,0440	-0,0350	-0,0180	-0,0010	-0,0480	0,0190	-0,0090	-0,0200	0,0090	-0,0310

Tabulka 4.2

V tabulce 4.3 je základní přehled označení naměřených hodnot a potřebných výsledků z těchto hodnot.

Operátor (i)	Měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										K_1	K_2	K_3
		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$	$\Delta 7$	$\Delta 8$	$\Delta 9$	$\Delta 10$			
1	1	x_{111}	x_{121}	x_{131}	x_{141}	x_{151}	x_{161}	x_{171}	x_{181}	x_{191}	x_{1101}			
	2	x_{112}	x_{122}	x_{132}	x_{142}	x_{152}	x_{162}	x_{172}	x_{182}	x_{192}	x_{1102}			
	\bar{x}_{1j}	\bar{x}_{11}	\bar{x}_{12}	\bar{x}_{13}	\bar{x}_{14}	\bar{x}_{15}	\bar{x}_{16}	\bar{x}_{17}	\bar{x}_{18}	\bar{x}_{19}	\bar{x}_{110}	$\bar{x}_{1..}$		
	R_{1j}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{110}	$\bar{R}_{1..}$		
2	1	x_{211}	x_{221}	x_{231}	x_{241}	x_{251}	x_{261}	x_{271}	x_{281}	x_{291}	x_{2101}			
	2	x_{212}	x_{222}	x_{232}	x_{242}	x_{252}	x_{262}	x_{272}	x_{282}	x_{292}	x_{2102}			
	\bar{x}_{2j}	\bar{x}_{21}	\bar{x}_{22}	\bar{x}_{23}	\bar{x}_{24}	\bar{x}_{25}	\bar{x}_{26}	\bar{x}_{27}	\bar{x}_{28}	\bar{x}_{29}	\bar{x}_{210}	$\bar{x}_{2..}$		
	R_{2j}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}	R_{27}	R_{28}	R_{29}	R_{210}	$\bar{R}_{2..}$		
3	1	x_{311}	x_{321}	x_{331}	x_{341}	x_{351}	x_{361}	x_{371}	x_{381}	x_{391}	x_{3101}			
	2	x_{312}	x_{322}	x_{332}	x_{342}	x_{352}	x_{362}	x_{372}	x_{382}	x_{392}	x_{3102}			
	\bar{x}_{3j}	\bar{x}_{31}	\bar{x}_{32}	\bar{x}_{33}	\bar{x}_{34}	\bar{x}_{35}	\bar{x}_{36}	\bar{x}_{37}	\bar{x}_{38}	\bar{x}_{39}	\bar{x}_{310}	$\bar{x}_{3..}$		
	R_{3j}	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}	R_{35}	R_{36}	R_{37}	R_{38}	R_{39}	R_{310}	$\bar{R}_{3..}$		
	$\bar{x}_{.j}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.3}$	$\bar{x}_{.4}$	$\bar{x}_{.5}$	$\bar{x}_{.6}$	$\bar{x}_{.7}$	$\bar{x}_{.8}$	$\bar{x}_{.9}$	$\bar{x}_{.10}$			

Tabulka 4.3

Variační rozpětí R_{ij} :

$$R_{ij} = \max x_{ijk} - \min x_{ijk}$$

$$R_{11.} = \max x_{11.} - \min x_{11.} = 0,041 - (-0,023) = 0,064$$

Střední hodnota rozpětí daného operátora $\overline{R}_{l..}$:

$$\overline{R}_{l..} = \frac{\sum_{j=1}^r R_{ij.}}{r}$$

$$\begin{aligned}\overline{R}_{1..} &= \frac{0,064 + 0,049 + 0,020 + 0,017 + 0,049 + 0,026 + 0,015 + 0,034 + 0,000 + 0,033}{10} \\ &= 0,031\end{aligned}$$

Střední naměřená hodnota daného operátora u měřeného kusu $\overline{x}_{ij.}$:

$$\overline{x}_{ij.} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{ijk}}{n}$$

$$\overline{x}_{11.} = \frac{(-0,023) + 0,041}{2} = 0,009$$

Střední naměřená hodnota daného operátora $\overline{x}_{l..}$:

$$\overline{x}_{l..} = \frac{\sum_{j=1}^r \overline{x}_{ij.}}{r}$$

$$\overline{x}_{1..} = \frac{0,009 + (-0,0165) + (-0,010) + 0,0255 + \dots + 0,0035}{10} = 0,0057$$

Střední naměřená hodnota měřeného kusu $\overline{x}_{.j.}$:

$$\overline{x}_{.j.} = \frac{\sum_{i=1}^h \overline{x}_{ij.}}{h}$$

$$\overline{x}_{.1.} = \frac{0,009 + 0,019 + (-0,027)}{3} = 0,000$$

Střední hodnota rozpětí operátorů $\overline{\overline{R}}$:

$$\overline{\overline{R}} = \frac{\sum_{i=1}^h \overline{R}_{l..}}{h}$$

$$\bar{R} = \frac{0,0307 + 0,0328 + 0,0326}{3} = 0,032033$$

Střední naměřená hodnota měřených kusů $\bar{\bar{x}}$:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^r \bar{x}_{.j.}}{r}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{0,000 + 0,009 + (-0,010) + 0,003 + \dots + 0,008}{10} = 0,000$$

Variační rozpětí operátorů R_0 :

$$R_0 = \max \bar{x}_{l..} - \min \bar{x}_{l..} = 0,0058 - (-0,0127) = 0,0185$$

Variační rozpětí měřených kusů R_p :

$$R_p = \max \bar{x}_{.j.} - \min \bar{x}_{.j.} = 0,0102 - (-0,0275) = 0,0377$$

Operátor (i)	Měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										K ₁ = 0,8862 K ₂ = 0,5231 K ₃ = 0,3146
		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	Δ 6	Δ 7	Δ 8	Δ 9	Δ 10	
1	1	-0,0230	0,0080	0,0000	0,0340	-0,0580	0,0090	-0,0150	0,0170	0,0300	0,0200	
	2	0,0410	-0,0410	-0,0200	0,0170	-0,0090	0,0350	0,0000	0,0510	0,0300	-0,0130	
	$\bar{x}_{.j.}$	0,0090	-0,0165	-0,0100	0,0255	-0,0335	0,0220	-0,0075	0,0340	0,0300	0,0035	$\bar{x}_{1..} = 0,0057$
	$R_{ij.}$	0,0640	0,0490	0,0200	0,0170	0,0490	0,0260	0,0150	0,0340	0,0000	0,0330	$\bar{R}_{1..} = 0,0307$
2	1	0,0440	0,0250	0,0070	-0,0370	0,0090	0,0000	0,0570	-0,0110	-0,0270	0,0190	
	2	-0,0060	0,0380	0,0020	0,0240	-0,0130	0,0010	-0,0090	-0,0600	0,0110	0,0420	
	$\bar{x}_{.j.}$	0,0190	0,0315	0,0045	-0,0065	-0,0020	0,0005	0,0240	-0,0355	-0,0080	0,0305	$\bar{x}_{2..} = 0,0058$
	$R_{ij.}$	0,0500	0,0130	0,0050	0,0610	0,0220	0,0010	0,0660	0,0490	0,0380	0,0230	$\bar{R}_{2..} = 0,0328$
3	1	-0,0100	0,0580	-0,0340	-0,0200	-0,0460	-0,0570	-0,0070	0,0220	0,0080	0,0100	
	2	-0,0440	-0,0350	-0,0180	-0,0010	-0,0480	0,0190	-0,0090	-0,0200	0,0090	-0,0310	
	$\bar{x}_{.j.}$	-0,0270	0,0115	-0,0260	-0,0105	-0,0470	-0,0190	-0,0080	0,0010	0,0085	-0,0105	$\bar{x}_{3..} = -0,0127$
	$R_{ij.}$	0,0340	0,0930	0,0160	0,0190	0,0020	0,0760	0,0020	0,0420	0,0010	0,0410	$\bar{R}_{3..} = 0,0326$
	$\bar{x}_{.j.}$	0,0003	0,0088	-0,0105	0,0028	-0,0275	0,0012	0,0028	-0,0002	0,0102	0,0078	
		$\bar{R} = 0,032033$		$\bar{\bar{x}} = 0,000$		$R_0 = 0,0185$		$R_p = 0,0377$				

Tabulka 4.4

V tabulce 4.5 jsou znázorněny koeficienty K_1 , K_2 , K_3 :

Počet	měření	operátorů	kusů
	K_1	K_2	K_3
2	0,8862	0,7071	0,7071
3	0,5908	0,5231	0,5231
4			0,4467
5			0,4030
6			0,3742
7			0,3534
8			0,3375
9			0,3249
10			0,3146

Tabulka 4.5

Opakovatelnost EV:

$$EV = \bar{R} \times K_1 = 0,032033 \times 0,8862 = 0,028388$$

Reprodukovatelnost AV:

$$AV = \sqrt{(R_0 \times K_2)^2 - (EV^2 \div (n \times m))}$$

$$= \sqrt{(0,0185 \times 0,5231)^2 - (0,028387^2 \div (2 \times 10))} = 0,007305$$

Opakovatelnost a reprodukovatelnost R&R:

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0,028387^2 + 0,007305^2} = 0,021313$$

Proměnlivost kusu PV:

$$PV = R_p \times K_3 = 0,037667 \times 0,3146 = 0,01185$$

Proměnlivost celková TV:

$$TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2} = \sqrt{0,021313^2 + 0,01185^2} = 0,031617$$

Opakovatelnost EV[%]:

$$EV[\%] = 100 \times EV \div ((USL - LSL) \div 6)$$

$$= 100 \times 0,028388 \div ((0,060 - (-0,060)) \div 6) = 141,94\%$$

Reprodukovatelnost AV[%]:

$$\begin{aligned} AV[\%] &= 100 \times AV \div ((USL - LSL) \div 6) \\ &= 100 \times 0,007305 \div ((0,060 - (-0,060)) \div 6) = 36,52\% \end{aligned}$$

Opakovatelnost a reprodukovatelnost R&R [%]:

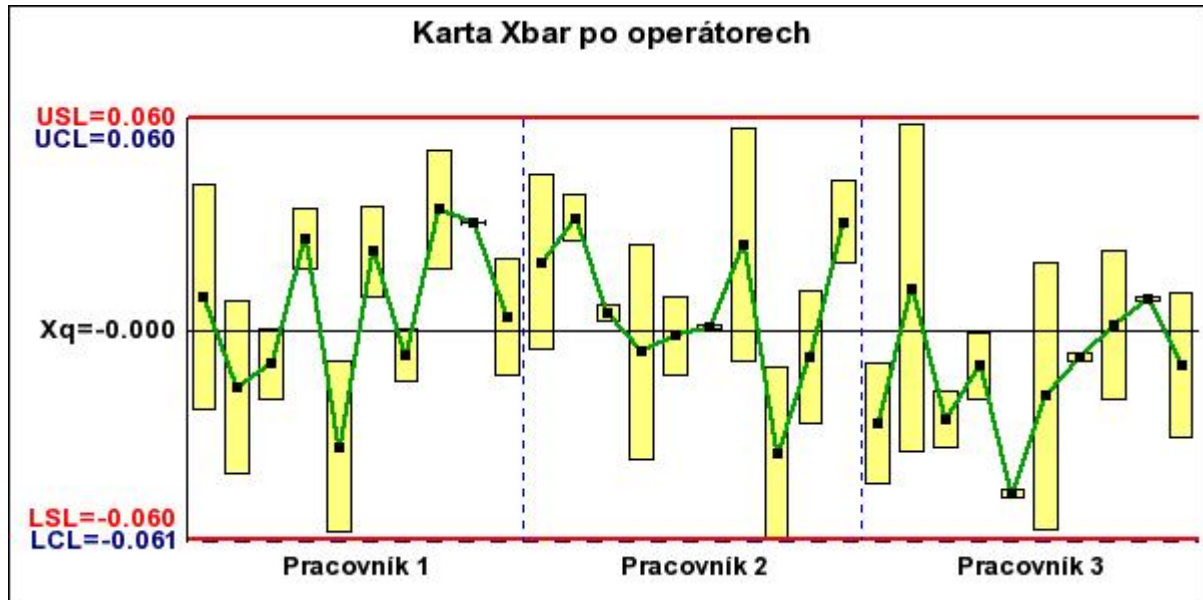
$$\begin{aligned} R\&R[\%] &= 100 \times R\&R \div ((USL - LSL) \div 6) \\ &= 100 \times 0,021313 \div ((0,060 - (-0,060)) \div 6) = 146,56\% \end{aligned}$$

Proměnlivost kusu PV[%]:

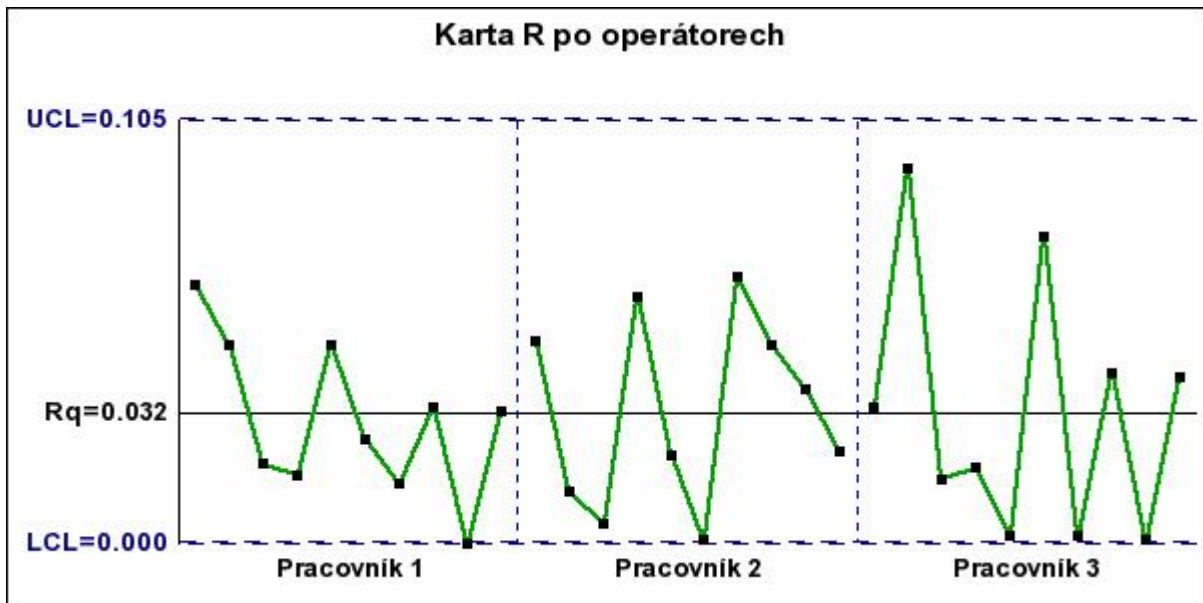
$$\begin{aligned} PV[\%] &= 100 \times PV \div ((USL - LSL) \div 6) = 100 \times 0,01185 \div ((0,060 - (-0,060)) \div 6) \\ &= 59,25\% \end{aligned}$$

Počet rozlišitelných kategorií:

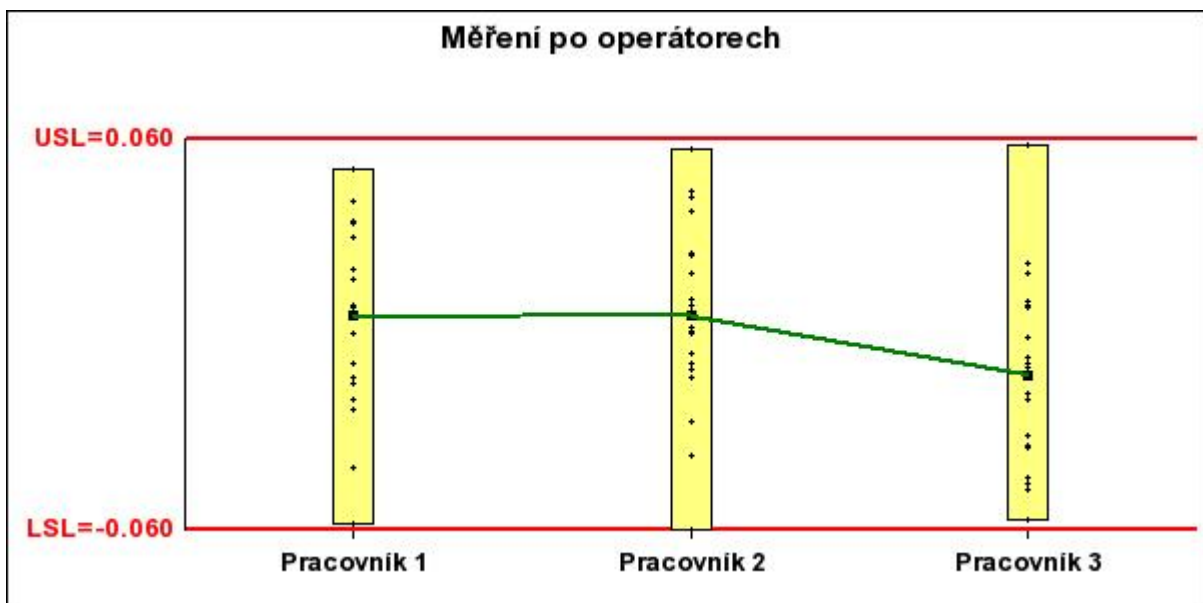
$$ndc = 1,41 \times PV \div R\&R = 1,41 \times 0,01185 \div 0,021313 = 0,57$$



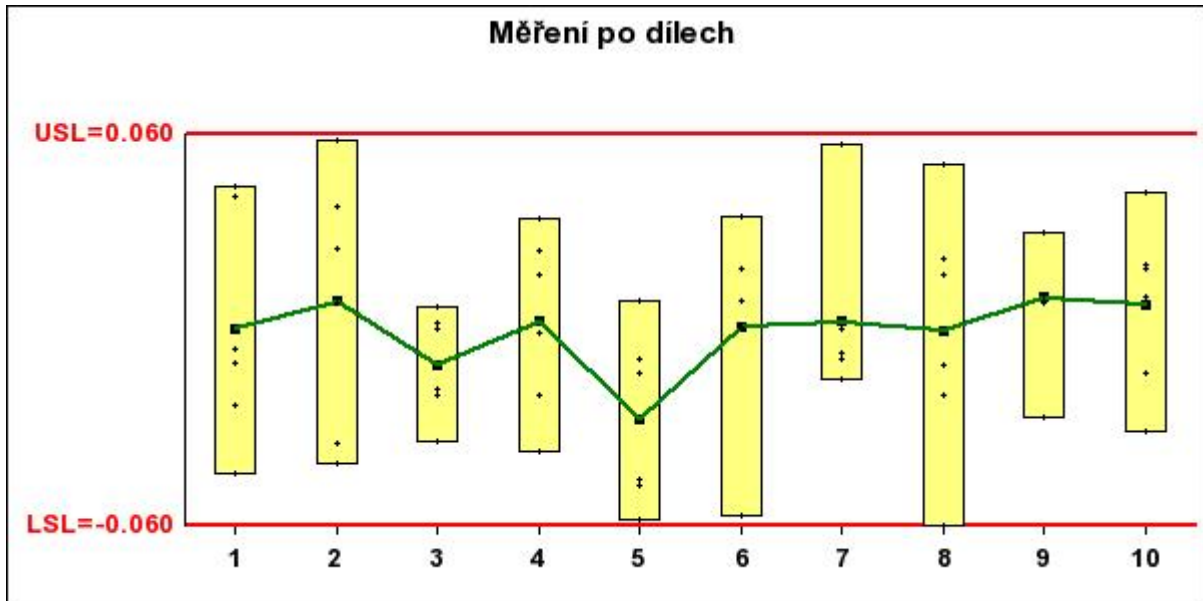
Graf 4.1 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)



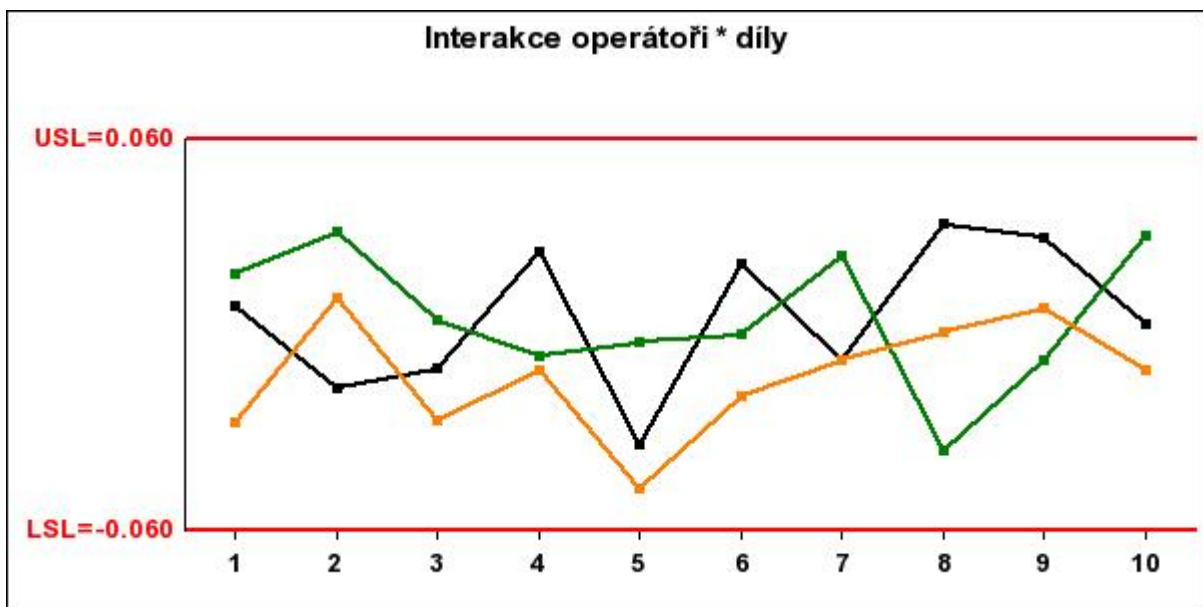
Graf 4.2 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)



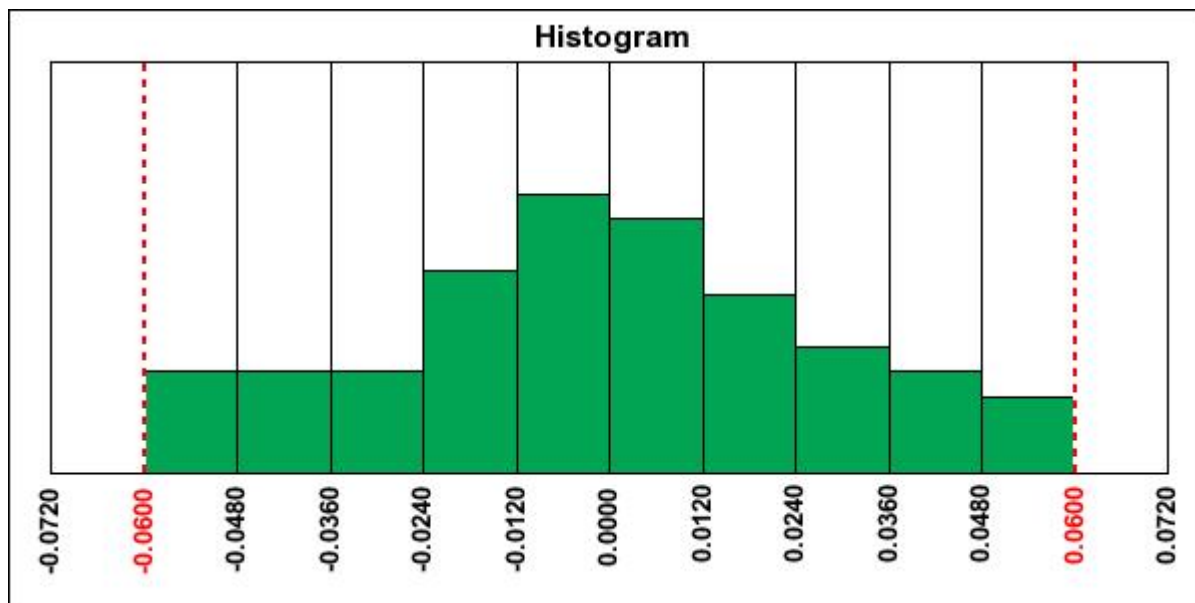
Graf 4.3 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)



Graf 4.4 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)



Graf 4.5 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)



Graf 4.6 (Převzato z webové stránky www.trestik.cz/msa-rar)

V grafu 4.6 je zobrazen histogram četnosti výsledků měření v daných intervalech

4.1.4 Výsledek metody R&R

Z výše uvedených výpočtů a grafů metody R&R je patrné, že systém měření měřicího zařízení Leica je nevyhovující. To znamená, že není způsobilé pro opakované měření Johansonových koncových měrek.

4.2 Metoda SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost

4.2.1 Charakteristika metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost

Vyšetření způsobilosti se provádí na skutečném výrobku, který se z pohledu této metody chová jako etalon. Skutečnou hodnotu etalonu je potřeba zjistit pomocí měřidla, které má o řád vyšší přesnost.

Tato metoda je založena na opakovaném měření hodnoty etalonu, zjištění rozptylu a na porovnání takto zjištěného rozptylu s částí tolerančního pole. Obvykle to je 15% (SPC-FORD) nebo 20% (SPC-BOSCH) tolerančního pole (vyjádřeno konstantou K). Opakované měření provádí skupina operátorů. Po změření dochází k vyhodnocování a zjištění koeficientů c_g a c_{gk} , vypovídající o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti současně. Opakovatelnost EV a reprodukovatelnost AV nemohou být při použití této metody posuzovány samostatně. [4,11]

4.2.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost

Měřidlo je způsobilé, pokud $c_g > 1,33$ a $c_{gk} > 1,33$.

4.2.3 Měření Johansonovy koncové měřky – opakovatelnost a reprodukovatelnost současně (měření provádí několik pracovníků)

Na základě metody SPC – FORD byla změřena Johansonova koncová měřka v rozměru 500 mm. Tedy 1 kus na 10 opakování měřili 3 operátoři T-Scanem. Po změření T-Scanem se hodnoty vyhodnocovaly v programu PolyWorks.

Měření (k)	Operátor (i) / měřený kus (j)		
	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
1	500,023	499,984	500,007
2	500,017	499,989	500,022
3	500,051	499,940	499,980
4	499,998	499,944	500,004
5	500,023	499,993	499,976
6	499,985	499,985	500,030
7	499,990	499,951	499,978
8	499,987	500,036	500,005
9	499,983	500,020	499,945
10	499,965	500,016	499,954

Tabulka 4.6

V další tabulce 4.7 je základní přehled označení naměřených hodnot a potřebných výsledků z těchto hodnot. Následně v tabulce 4.8 je výběr konstanty d_2 v závislosti na počtu operátorů.

Měření (k)	Operátor (i) / měřený kus (j)			d_2 K
	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	
1	x_{111}	x_{211}	x_{311}	$R_{,11}$
2	x_{112}	x_{212}	x_{312}	$R_{,12}$
3	x_{113}	x_{213}	x_{313}	$R_{,13}$
4	x_{114}	x_{214}	x_{314}	$R_{,14}$
5	x_{115}	x_{215}	x_{315}	$R_{,15}$
6	x_{116}	x_{216}	x_{316}	$R_{,16}$
7	x_{117}	x_{217}	x_{317}	$R_{,17}$
8	x_{118}	x_{218}	x_{318}	$R_{,18}$
9	x_{119}	x_{219}	x_{319}	$R_{,19}$
10	x_{1110}	x_{2110}	x_{3110}	$R_{,110}$
$\bar{x}_{,j}$	\bar{x}_{11}	\bar{x}_{21}	\bar{x}_{31}	
$\bar{x}_{,1} = \bar{\bar{x}}$		$\bar{R}_{,1} = \bar{\bar{R}}$		

Tabulka 4.7

Počet operátorů	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

Tabulka 4.8

Šířka tolerance T :

$$T = USL - LSL = 500,060 - 499,940 = 0,12$$

Variační rozpětí R_{jk} :

$$R_{jk} = \max x_{ijk} - \min x_{ijk}$$

$$R_{.11} = \max x_{.11} - \min x_{.11} = 500,023 - 499,984 = 0,039$$

Střední hodnota rozpětí daného kusu $\overline{R}_{..k}$:

$$\overline{R}_{..k} = \frac{\sum_{j=1}^r R_{jk}}{r}$$

$$\begin{aligned} \overline{R}_{..1} &= \frac{0,039 + 0,033 + 0,111 + 0,060 + 0,047 + 0,045 + 0,039 + 0,049 + 0,075 + 0,062}{10} \\ &= 0,056 \end{aligned}$$

Střední hodnota rozpětí měřených kusů $\overline{\overline{R}}$:

$$\overline{\overline{R}} = \frac{\sum_{i=1}^h \overline{R}_{..k}}{h}$$

$$\overline{\overline{R}} = \frac{0,056}{1} = 0,056$$

Střední naměřená hodnota $\bar{x}_{i.j.}$:

$$\bar{x}_{i.j.} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{ijk}}{n}$$

$$\bar{x}_{11.} = \frac{500,023 + 500,017 + 500,051 + 499,998 + \dots + 499,965}{10} = 500,002$$

Střední naměřená hodnota měřeného kusu $\bar{x}_{.j.}$:

$$\bar{x}_{.j.} = \frac{\sum_{i=1}^h \bar{x}_{i.j.}}{h}$$

$$\bar{x}_{.1.} = \frac{500,002 + 499,986 + 499,990}{3} = 499,9927$$

Střední naměřená hodnota měřených kusů $\bar{\bar{x}}$:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^r \bar{x}_{.j.}}{r}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{499,9927}{1} = 499,9927$$

Měření (k)	Operátor (i) / měřený kus (j)			d ₂ =1,693 K=20%
	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	
1	500,023	499,984	500,007	0,039
2	500,017	499,989	500,022	0,033
3	500,051	499,940	499,980	0,111
4	499,998	499,944	500,004	0,060
5	500,023	499,993	499,976	0,047
6	499,985	499,985	500,030	0,045
7	499,990	499,951	499,978	0,039
8	499,987	500,036	500,005	0,049
9	499,983	500,020	499,945	0,075
10	499,965	500,016	499,954	0,062
$\bar{x}_{i.j.}$	500,002	499,986	499,990	
$\bar{\bar{x}} = 499,9927$		$\bar{R} = 0,056$		

Tabulka 4.9

Vypočtená směrodatná odchylka s_v :

$$s_v = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s_v = \sqrt{\frac{(500,023 - 499,9927)^2 + (500,017 - 499,9927)^2 + \dots + (499,954 - 499,9927)^2}{30 - 1}}$$

$$= 0,028873$$

Odhadnutá směrodatná odchylka s_o :

$$s_o = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$s_o = \frac{0,056}{1,693} = 0,033077$$

Index způsobilosti c_g :

$$c_g = \frac{K \times T}{6 \times s_o} = \frac{0,2 \times 0,12}{6 \times 0,033077} = 0,120929$$

Index způsobilosti c_{gk} :

$$c_{gk} = \frac{\bar{x} + \frac{K \times T}{2} - x}{3 \times s_o} = \frac{499,9927 + \frac{0,2 \times 0,12}{2} - 500}{3 \times 0,033077} = 0,04736$$

4.2.4 Výsledek metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost

Z výše uvedených výpočtů metody SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost je patrné, že systém měření měřicího zařízení Leica je nevyhovující. To znamená, že není způsobilé pro opakované měření jedné Johansonovy koncové měřky.

4.3 Metoda SPC-BOSCH – opakovatelnost

4.3.1 Charakteristika metody SPC-BOSCH – opakovatelnost

Tato metoda je stejná jako SPC-BOSCH – opakovatelnost a reprodukovatelnost. Výjimkou je jen to, že opakované měření provádí jeden pracovník. Výsledkem metody jsou hodnoty koeficientů c_g a c_{gk} , vypovídající o opakovatelnosti. [4,11]

4.3.2 Podmínky způsobilosti měření podle metody SPC-BOSCH – opakovatelnost

Měřidlo je způsobilé, pokud $c_g > 1,33$ a $c_{gk} > 1,33$.

4.3.3 Měření Johansonovy koncové měřky – opakovatelnost

Na základě metody SPC-BOSCH byla změřena Johansonova koncová měřka v rozměru 500 mm. Tedy 1 kus na 10 opakování měřil 1 operátor T-Scanem. Další výjimkou oproti „opakovatelnosti a reprodukovatelnosti“ bylo, že se provedl experiment s nastříkáním plavené křídý na měřený kus. Důvodem je lepší snímání a lepší odrazivost laserového paprsku. Tloušťka vrstvy prášku na měrci se pohybuje do 0,02 mm. Po změření T-Scanem se hodnoty vyhodnocovaly v programu PolyWorks.

Měření (k)	Měřený kus (j)	
	Operátor (i)	Operátor 1
1	x_{111}	500,023
2	x_{112}	500,017
3	x_{113}	500,051
4	x_{114}	499,998
5	x_{115}	500,023
6	x_{116}	499,985
7	x_{117}	499,990
8	x_{118}	499,987
9	x_{119}	499,983
10	x_{1110}	499,965
	\bar{x}_{11}	499,978

Tabulka 4.10

Střední naměřená hodnota \bar{x}_{ij} :

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{ijk}}{n}$$

$$\bar{x}_{11} = \frac{499,981 + 499,984 + 499,965 + 499,985 + \dots + 499,966}{10} = 499,978 = \bar{x}$$

Směrodatná odchylka s:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(499,981 - 499,978)^2 + (499,984 - 499,978)^2 + \dots + (499,966 - 499,978)^2}{10 - 1}}$$
$$= 0,011065$$

Index způsobilosti c_g :

$$c_g = \frac{K \times T}{6 \times s} = \frac{0,2 \times 0,12}{6 \times 0,011065} = 0,361485$$

Index způsobilosti c_{gk} :

$$c_{gk} = \frac{\bar{\bar{x}} + \frac{K \times T}{2} - x}{3 \times s} = \frac{499,978 + \frac{0,2 \times 0,12}{2} - 500}{3 \times 0,011065} = 0,0$$

4.3.4 Výsledek metody SPC-BOSCH – opakovatelnost

Z výše uvedených výpočtů metody SPC-BOSCH – opakovatelnost je patrné, že systém měření měřicího zařízení Leica je nevyhovující. To znamená, že není způsobilé pro opakované měření jedné Johansonovy koncové měřky.

5 POROVNÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE S PRAKTICKÝMI MOŽNOSTMI ZAŘÍZENÍ

Technická dokumentace, tedy kalibrační listy laserového délkoměru Leica jsou uvedeny v příloze č. 2. U T-Scanu je tolerance měření určena na $\pm 0,060$ mm (*příloha č. 1*).

V praxi tato tolerance u skenování velkých těles je zcela dostačující. Velká tělesa se skenují, vyhodnocují a následně převádějí do stl modelu, které požaduje jakost rozměrové kontroly ke zjištění nedostatku nebo naopak přesahu materiálu a podle toho následně vytvářejí technologové úpravu programu v softwaru Catia pro naměřené reálné hodnoty. Proto není toto skenování náročné na vysokou přesnost měření.

Dodavateli systému Leica byl dán požadavek na teoretický odhad doby změření dvou těles obr. 5.1 a 5.2 a v příloze č. 2. Dodavatel odhadl čas skenování jednoho tělesa na 4 hodiny a čas vyhodnocení a přenesení základních os jednoho tělesa taktéž na 4 hodiny. Operátoři Leicy naskenovali jedno těleso za 4 hodiny a vyhodnocení s přenesením základních os trvalo 3 hodiny. U druhého tělesa jsou časy obdobné.

Co je výhodnější z hlediska orýsování velkých těles, je uvedeno v kapitole 5.1.4.

U skenování lopatek byla určena tolerance 0,3 mm, což také plně dostačuje, ale jak je uvedeno v kapitole 5.2, tak i přesto je výhodnější 3D měřicí zařízení Zeiss.

5.1 Splnění/nesplnění předpokládaných přínosů společnosti

1. Provedení vstupního měření na dodaných dílcích, vyhodnocení měření a vyrovnání na 3D model – včasné zjištění rozměrových odchylek na vstupujících komponentech od dodavatelů (včas uplatněné reklamace).
 - splněno
2. Provedení vstupního měření na dodaných dílcích, vyhodnocení měření a vyrovnání na 3D model – vstupní data pro obráběcí stroje (náhrada rozrýsování, v souvislosti s investicemi do nových obráběcích center), úspora časů programátorů a strojního času.
 - částečně splněno, po proměření probíhá přenesení základních os pro ustavení na stroji
3. Měření takových aplikací, které není možno měřit klasickým způsobem (např. měření drážek rotoru Dukovany).
 - splněno

4. Měření stejných dílů nebo dílů s množstvím stejných (opakovaných) prvků - rozměrů (trubkovnice, podpěrné stěny) – úspora časů měření.
 - nelze splnit, měření Leicou je vždy manuální, nezáleží na tom, zda jsou díly stejné nebo nejsou
5. Měření na dílci po jeho finálním dokončení. Vytvoření 3D modelu obrobeneých součástí pro montáž, možné využití pro „montáž bez doměřování“.
 - částečně splněno, nevytváří se 3D model
6. Měření s větší přesností. Užití při měřeních dílů, kde klasické metody nejsou dostatečně přesné (labyrintové kroužky, stojánky, ucpávky).
 - částečně splněno, toto měření probíhá např. u ložiskových pánví a segmentů ložisek
7. Kontrola na vstupu, kooperace – včasné zjištění rozměrových odchylek na vstupujících komponentech od kooperantů – omezení zdržení dílců na obrobě.
 - splněno
8. Možnost archivace a protokolace všech měření.
 - splněno, data jsou ukládána do systému Agile
9. Zajistit provedení měření ihned od příjmu do Škody Power – prostor pro měření včetně manipulace, definice základních parametrů.
 - splněno, měření probíhá co nejdříve po příjmu
10. Zajistit provedení měření ihned od příjmu do Škody Power – vstupní měření zařadit jako operaci do VO nebo časově zaplánovat, odvádění hodin, sazby.
 - splněno
11. Zavést systém objednávání a odvádění práce na zařízení Leica pro mimořádné situace např. LN, vstupní přejímky zařízení z elektráren, požadavky vývoje atd.
 - splněno
12. Měření a vyrovnání na 3D model – vstupní data pro obráběcí stroje (náhrada rozrýsování). Vyhodnotit přínosy v rámci TE a VP při využití skutečného 3D modelu pro vytvoření programu a odstranění ztrátových časů při úpravách programů na stroji – reverzní inženýrství. Nezávislá kontrola přesnosti vyrobených součástí (mimo stroj).
 - splněno
13. Nahradit orýsování odlitků těles 3D měřením, promítnout do postupů, projednat optimální způsob stanovení referenčních bodů/ploch.
 - částečně splněno, probíhá u odlitků těles, které nejdou na opracování do kooperace

5.2 Úspora času a financí díky skenování těles

Tato úspora je ukázána na dvou velkých tělesech, které jsou na obr. 5.1 a obr. 5.2 a v příloze č. 2.

5.2.1 Časová náročnost

Časová náročnost skenování a vyhodnocování těchto dvou těles je 14 hodin čistého času. Díky tomuto skenování se uspoří 10% z času opracování na portále. Čas opracování na portále odpovídá 470 hodinám, tudíž časová úspora díky skenování Leicou vyšla na 33 hodin.

$$\text{celková časová úspora} = 470 \times 0,1 - 14 = 33 \text{ hodin}$$

5.2.2 Finanční náročnost

Hodinová sazba je pro portál určena na 3110 Kč, hodinová sazba pro operátory Leicy je určena na 500 Kč na pracovníka s tím, že na Leice pracují dva operátoři, takže hodina práce Leicy vychází na 1 000 Kč. Tudíž skenování 14 hodin Leicy stojí 14 000 Kč a následná úspora 47 hodin na portále vychází na 146 170 Kč. Tedy celková úspora na těchto dvou tělesech oproti samotnému orýsování těles a následnému opracování vyjde na 132 170 Kč.

$$\text{celková finanční úspora} = 470 \times 0,1 \times 3\,110 - (14 \times 1\,000) = 132\,170 \text{ Kč}$$

5.3 Porovnání rýsovací desky a laserového délkoměru Leica při měření velkých těles

5.3.1 Rýsovací deska

Na reálné součásti je nutno vytvořit referenční body, dle kterých bude poté vždy součást fyzicky vyrovnávána a to jak na měřicím zařízení, tak na obráběcím stroji.

5.3.2 Laserový délkoměr Leica

Reálnou součást je třeba umístit co nejlépe vůči Laser Trackeru, aby se změřilo (naskenovalo) co nejvíce plochy a bylo pokud možno naskenováno vše, co je požadováno bez otočení jeřábem.

5.3.3 Výhody a nevýhody laserového dálkoměru Leica vůči rýsovací desce

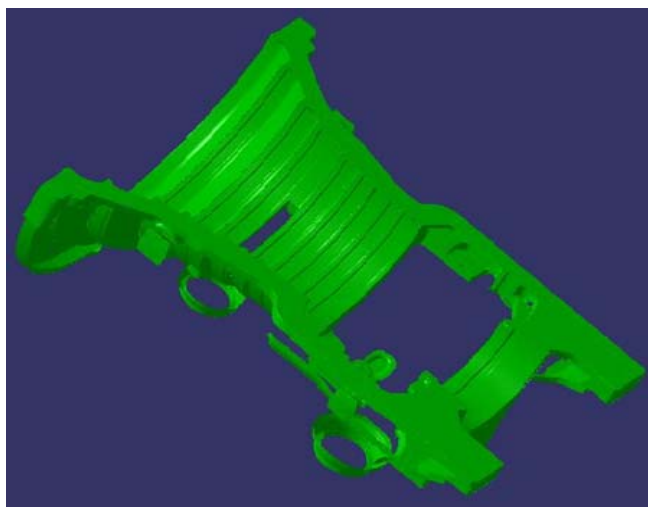
5.3.3.1 Výhody laserového dálkoměru Leica

- možnost naskenování celého tělesa podle zadání pro rozměrovou kontrolu, následná skutečná kontrola opracovaných ploch
- před koupí měřicího přístroje Leica se přicházelo na přesah nebo nedostatek materiálu až na stroji
 - docházelo k úpravám naprogramovaných drah stroje (koupí Leicy došlo ke snížení času operace až o 10% – upraveno před zahájením prací)
 - docházelo k destrukci nástroje, pokud byl přídavek vyšší než povolené a_p
 - byly problémy s reklamací tělesa dodavateli => těleso zčásti opracované, tudíž dodavatel nechtěl uznat reklamaci
 - v některých případech bylo nutné kontrolovat i neopracované plochy, vznikaly kolize při montáži

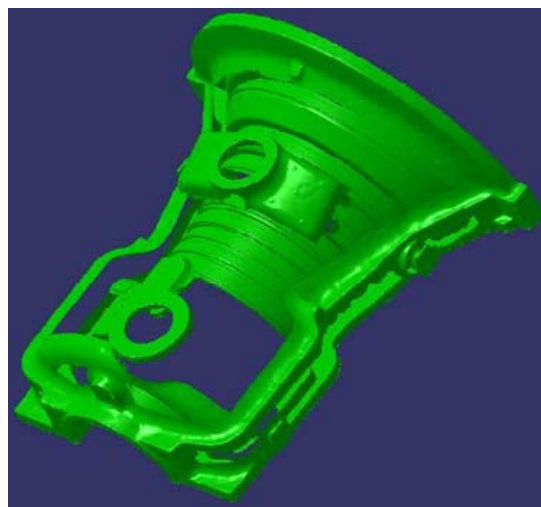
5.3.3.2 Nevýhody laserového dálkoměru Leica

- nemožnost skenovat vnitřní uzavřené části, v tomto případě obtížné i pro pracovníky rýsovací desky
- časová náročnost na skenování celého tělesa, tzn. 2x až 3x otočit jeřábem těleso, navázat na naskenované sítě bodů
- naskenované těleso převedené do formátu stl není plně kompatibilní s obráběním v program Catia V5, technologové musí z stl modelu zjistit reálné hodnoty těles a podle nich následně upravit program
- nutná přímá viditelnost, velké kusy nelze měřit z jedné pozice (nutné otočení)

5.3.4 Časová náročnost



Obr. 5.1: stl model spodek



Obr. 5.2: stl model svršek

5.3.4.1 Rýsovací deska vs. laserový délkoměr Leica

Orýsování každého tělesa na obr. 5.1 a obr. 5.2 a v příloze č. 2 trvá dvěma rýsovačům 2,5 až 3 hodiny čistého času. Na Leice trvá orýsování každého tělesa dvěma operátorům 3 až 4 hodiny čistého času. Čím větší těleso, tím se časový rozdíl zvětšuje z důvodu více poloh tělesa u Leicy, tudíž horšího vyrovnání tělesa. Zároveň je také problém Leicou orýsovat velké svařence, které se při manipulaci krotí, a svařenec se špatně vyrovnává.

5.3.4.2 Skenování laserovým délkoměrem Leica

Na rozdíl od orýsování, kde je stále výhodnější klasická metoda, je ve skenování těles Leica nenahraditelná.

Skenování každého celého tělesa na obr 5.1 a obr. 5.2 a v příloze č. 2 trvá dvěma operátorům 4 hodiny čistého času + následné vyhodnocení trvá další 3 hodiny. Tedy kompletní skenování a vyhodnocení těchto dvou těles trvá 14 hodin čistého času.

5.3.5 Finanční náročnost rýsovači vs. Leica

Hodinová sazba je jak pro rýsovače, tak pro operátory Leicy 500 Kč na pracovníka. Tudíž orýsování obou těles na obr. 5.1 a 5.2 stojí u rýsovačů (dva rýsovači) 5000 až 6000 Kč a u operátorů Leicy (dva operátoři) 6000 až 8000 Kč.

5.4 Porovnání 3D měřicího zařízení Zeiss a laserového délkoměru Leica při měření lopatek

5.4.1 3D měřicí zařízení Zeiss

Lopatky se měří na zařízení, kdy kulička se dotýká lopatky a vyhodnocuje polohu. Pohyb kuličky je buď manuálně ovládaný pomocí pákového ovladače, nebo automaticky pomocí CNC programu vytvořeného v měřicím softwaru.

5.4.2 Laserový délkoměr Leica

Lopatky se měřily pomocí laserového délkoměru Leica nejen kvůli zjištěným odchylkám v řezech, ale také pro zjištění tvaru lopatky po její celé ploše.

5.4.3 Výhody a nevýhody laserového délkoměru Leica vůči 3D měřicímu zařízení Zeiss

5.4.3.1 Výhody laserového délkoměru Leica

- možnost naskenování celé lopatky, pokud to dané pracoviště (technologie, kvality, výzkumu) vyžaduje

5.4.3.2 Nevýhody laserového délkoměru Leica

- časová náročnost na skenování celé lopatky
- horší přesnost měření vůči 3D měřicímu zařízení Zeiss

5.4.4 Časová náročnost Zeiss vs. Leica

Změření jedné lopatky v řezech 700 mm, 800 mm a 900 mm trvá na 3D měřicím zařízení Zeiss cca 0,5 hodiny a je měřeno jedním operátorem.

Změření jedné lopatky v řezech 700 mm, 800 mm a 900 mm trvá na laserovém délkoměru Leica 1 hodinu (0,5 hodiny skenování + 0,5 hodiny vyhodnocování), a to dvěma operátory.

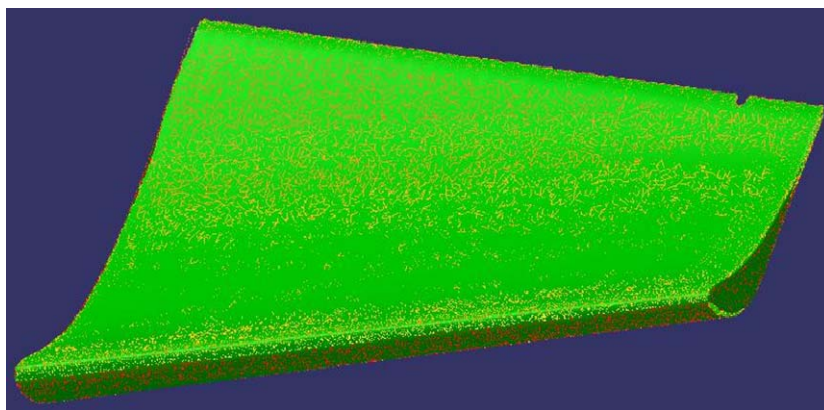
Je třeba ale brát při časové náročnosti v úvahu, že výsledkem měření na 3D souřadnicovém zařízení Zeiss jsou tři řezy, výsledkem měření laserového délkoměru Leica jsou tři řezy a sken lopatky, jak znázorňují obrázky 5.3 až 5.9.

5.4.5 Finanční náročnost Zeiss vs. Leica

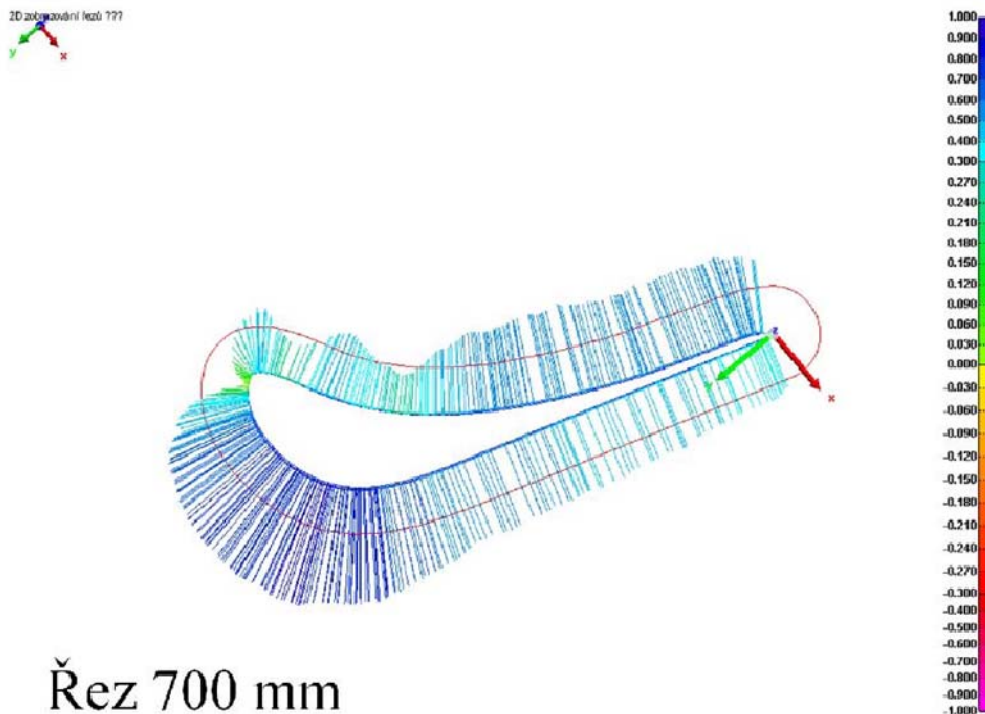
Hodinová sazba je jak pro operátory 3D měřicího zařízení Zeiss, tak pro operátory Leicy 500 Kč na pracovníka. Tudíž změření jedné lopatky na obr. 5.9 stojí u operátora (jeden operátor) na Zeissu 250 Kč a u operátorů Leicy (dva operátoři) 1000 Kč.

5.4.6 Měření lopatek měřicím přístrojem Leica

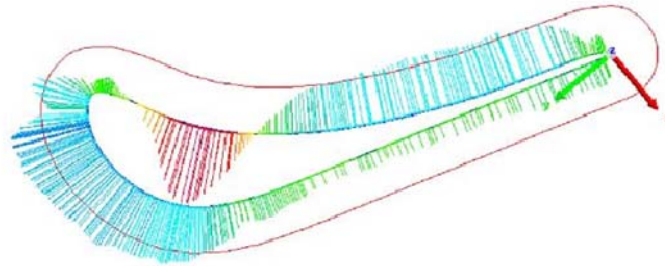
Leicou bylo změřeno 43 lopatek z rozváděcího kola. Lopatka byla naskenována a poté byly vyhodnoceny v programu Polyworks tři řezy v 700, 800, 900 mm od patky lopatky. Cílem bylo zjistit, kolik materiálu na lopatkách přebývá, resp. chybí a tvar lopatek. Měření bylo provedeno v toleranci 0,3 mm. Pro orientaci byly vybrány dvě lopatky č. 3 a č. 33, kde jsou dobře vidět přesahy a nedostatky materiálu.



Obr. 5.3: Stl model části lopatky

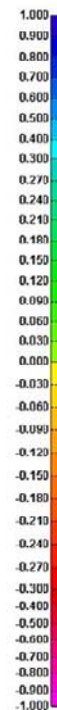
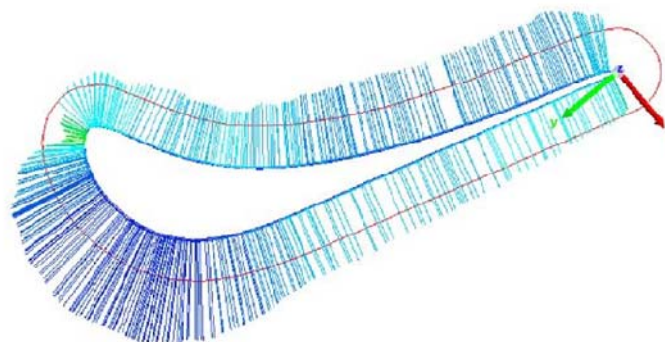


Obr. 5.4: Lopatka číslo 3 – viditelný přesah materiálu až o 0,8 mm.



Řez 700 mm

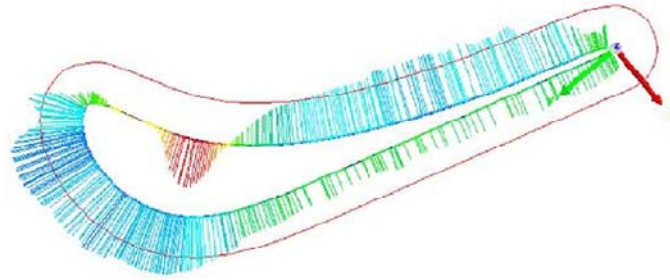
Obr. 5.5: Lopatka číslo 33 – viditelný přesah materiálu až o 0,5 mm, nedostatek materiálu až o 0,5 mm.



Řez 800 mm

Obr. 5.6: Lopatka číslo 3 – viditelný přesah materiálu až o 0,7 mm.

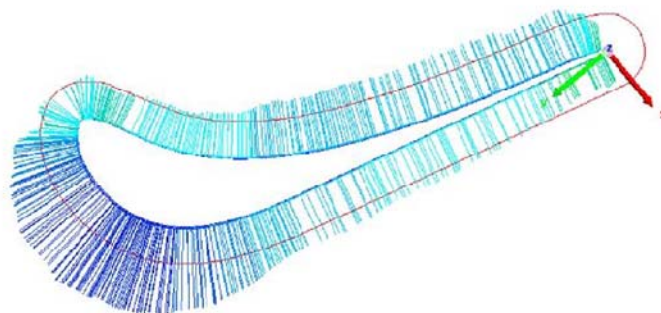
2D zobrazování řežů ???
y x z



Řez 800 mm

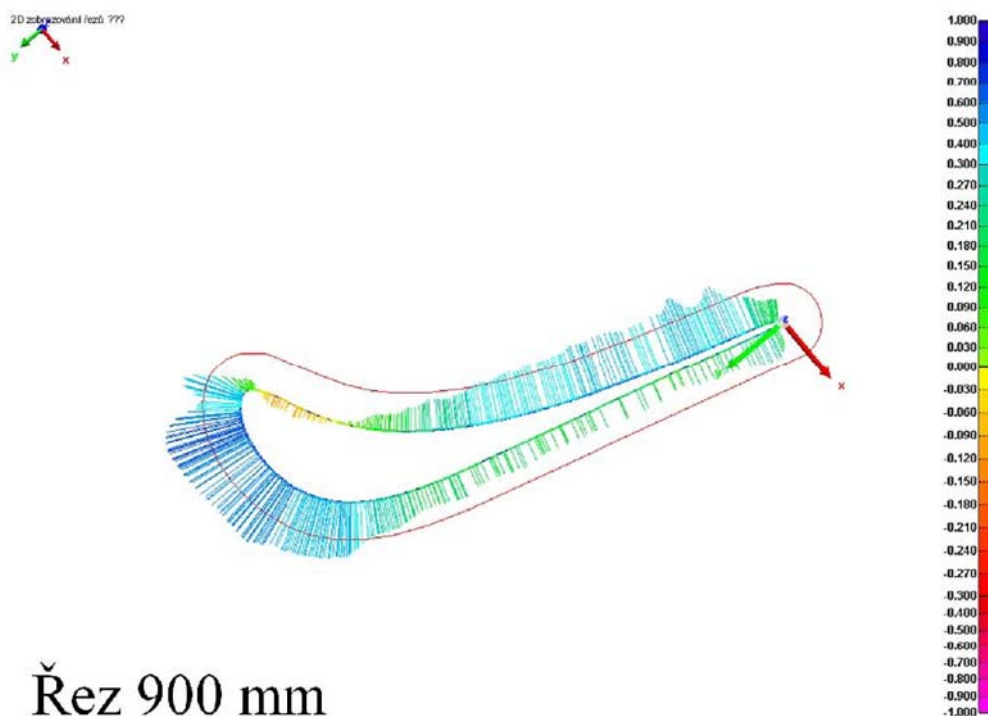
Obr. 5.7: Lopatka číslo 33 – viditelný přesah materiálu až o 0,5 mm, nedostatek materiálu až o 0,4 mm.

2D zobrazování řežů ???
y x z



Řez 900 mm

Obr. 5.8: Lopatka číslo 3 – viditelný přesah materiálu až o 0,7 mm.

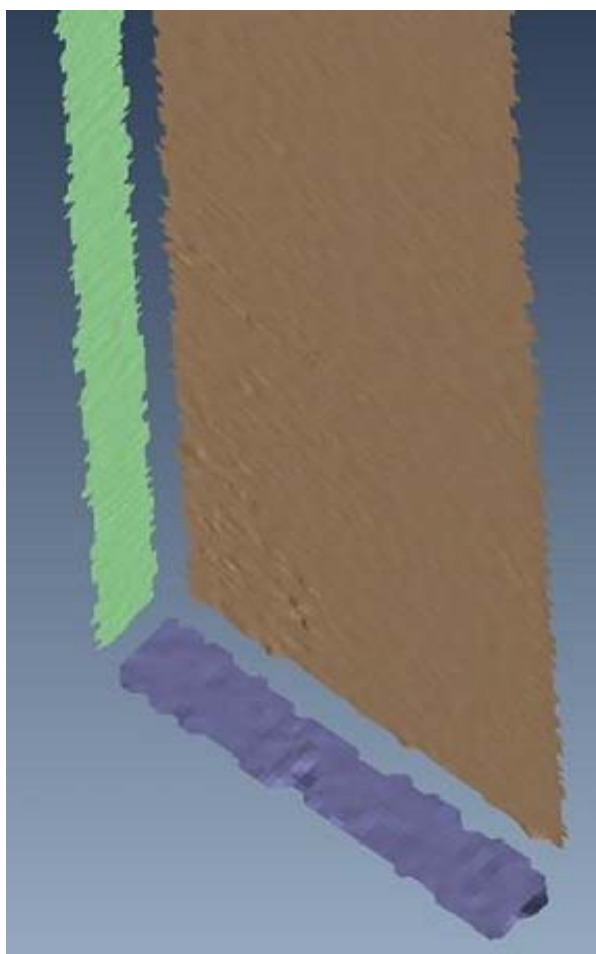


Obr. 5.9: Lopatka číslo 33 – viditelný přesah materiálu až o 0,6 mm, nedostatek materiálu až o 0,1 mm.

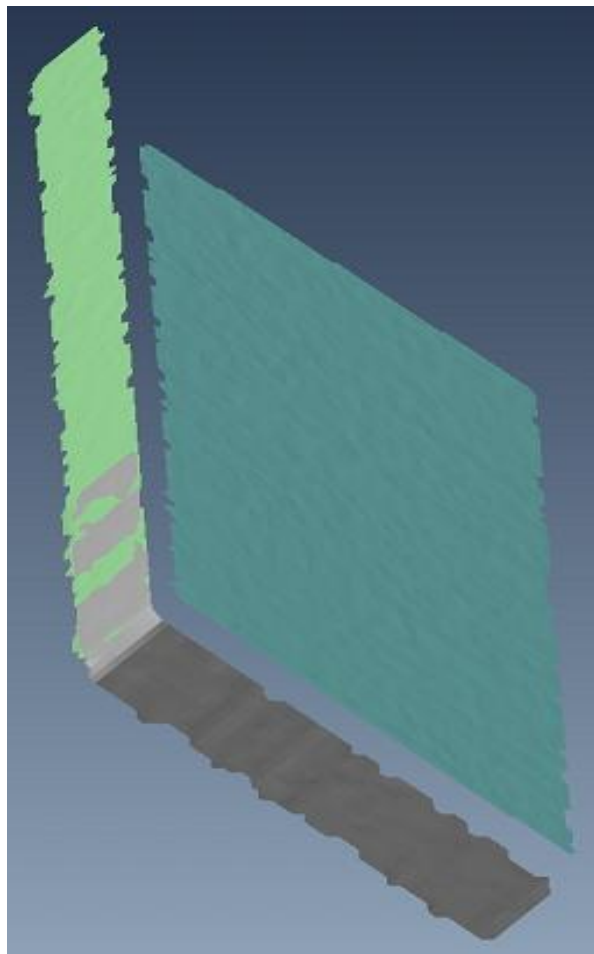
6 ZHODNOCENÍ

Měření způsobilosti metodou MSA prokázalo, že laserový délkoměr Leica není způsobilý pro série měření s požadavkem na vysokou přesnost. Při této metodě se také ukázalo, jak důležitým faktorem při skenování T-Scanem je odrazivost.

Experiment kvůli zlepšení odrazivosti Johansonových koncových měrek začal s nápadem měřky „očoudit“ svíčkou, ale bohužel tento nápad se nepodařil, poněvadž měřky jsou natolik hladké, že se na nich nic nezachytilo. Proto se řešilo, jak jinak získat matný povrch. Nápad použít plavenou křídu ve spreji byl v tu chvíli ideální, protože i přes nepříznivou bílou barvu pro laser, se zmatnil povrch a tím se zlepšilo snímání povrchu měřky. Experimentem se zjistilo, jak důležitou roli hraje při skenování povrch výrobku, což se dá spatřit i na obr. 6.1 a 6.2. U skenování měrek bez použití plavené křídy byl rozptyl u daného operátora 0,086 mm a u skenování s použitím plavené křídy byl rozptyl u toho samého operátora 0,034 mm. Z tohoto pozorování je patrná závislost laseru na typu povrchu.



Obr. 6.1: Sken měřky bez naplavené křídy



Obr. 6.2: Sken měřky s naplavenou křídou

Představa společnosti o pomalé práci operátorů Leicy není oprávněná. Skenovaná velká tělesa v příloze č. 2 byla naskenována a vyhodnocena za 14 hodin čistého času. Poté byly výkresy a stl modely zaslány k dodavateli laserového délkoměru Leica s požadavkem na teoretický výpočet času skenování a vyhodnocení těchto dvou velkých těles. Dodavatel odhadl čas skenování a vyhodnocení na 16 hodin čistého času. Tudíž se toto nepotvrdilo a chyba v časech se přičítá prodlevám měření, kdy operátoři Leicy čekají na jeřábníky kvůli manipulaci a otočení daného velkého tělesa.

V porovnání s orýsováním Leicou vychází měření rýsovači z hlediska časového, tak finančního výhodněji, pokud se tedy bere v úvahu standardní orýsování.

V závislosti na vyšší úroveň orýsování (skenování) je Leica výhodnější oproti standardnímu orýsování, protože přínosy skenování hrají velkou roli v následném opracování, kde díky skenu tělesa bude časová i finanční náročnost na výrobu nižší (viz kapitola 5.2).

Požadavek firmy nahradit rýsovače Leicou není možné z důvodu podmínky stálého laserového kontaktu Laser Trackeru a T-Probe nebo T-Scanu. Tělesa, která mají uzavřený prostor, tedy s T-Probem nebo T-Scanem se není možno dostat nebo je možno se dostat, ale není schopno zamířit paprsek z Laser Trackeru kvůli cloně tělesa, mohou změřit jen rýsovači a to také jen obtížně (viz kapitola 5.3.3.2).

V porovnání se skenováním Leicou vychází měření 3D souřadnicovým systémem Zeiss z hlediska časového, tak finančního výhodněji. Ale je třeba zdůraznit, že záleží na požadavku daného pracoviště, zda jim stačí řezy lopatky nebo potřebuje analyzovat její tvar, tudíž potřebuje využít skenování pomocí Leicy (viz kapitola 5.4).

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla vypracována za účelem spolupráce se společností Škoda Power s.r.o., která projevila zájem o analýzu využitelnosti laserového délkoměru Leica. Výsledky této práce splňují požadovaný rozsah a obsahují navíc i experiment, který jasně ukazuje, jak důležitý je ovlivňující faktor – odrazivost.

Tato práce obsahuje samotný popis laserového délkoměru Leica a všech jeho částí, základní principy měření a ovlivňující faktory. Na tuto kapitolu navazuje samotné měření metodou MSA a poté porovnání laserového délkoměru Leica s pracovníky rýsovací desky a s 3D měřicím zařízením Zeiss.

Cíle práce byly splněny a závěr z nich je takový, že pro měření série kusů, kde se požaduje určitá přesnost, je tento způsob měření vyhovující za podmínky, že by se propojilo bodové měření pomocí bezdrátového zařízení T-Probe a skenovacího zařízení T-Scan. Takovéto propojení měření by zajišťovalo přesnost v požadovaných místech součástí a zároveň naskenovaný stl model. Nevýhodou tohoto propojení je vyšší časová náročnost. Pro měření velkých těles je tento způsob měření vyhovující s podmínkou, že se zakoupí software pro provázání stl modelu se softwarem Catia za účelem plnohodnotného programování obrábění daného naskenovaného tělesa. Požadavek na 100% zastupitelnost pracovníků rýsovací desky laserovým délkoměrem Leica je nesplnitelný.

Laserový délkoměr Leica je použitelný a nezastupitelný především pro skenování velkých těles. Po zakoupení softwaru na provázání stl modelů se softwarem Catia bude požadavek společnosti splněn.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN ISO 10012:2003 Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení
- [2] Podklady společnosti
- [3] Pracovní postupy
- [4] FABIAN, F., HORÁLEK, V., KŘEPELA, J., MICHÁLEK, J., CHMELÍK, V., CHODOUNSKÝ, J., KRÁL, J.: *Statistické metody řízení jakosti*. ČSJ Praha, 2007
- [5] HENDL, J.: *Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat*. Portál, 2006
- [6] HOFMANN, D.: *Priemysel'ná meracia technika*. Alfa Bratislava, 1988
- [7] STANĚK, J., NĚMEJC, J.: *Metodika zpracování a úprava diplomových prací*. ZČU Plzeň, 2006
- [8] ŠINDELÁŘ, V. – TŮMA, Z.: *Metrologie, její vývoj a současnost*. Česká metrologická společnost, 2002
- [9] TŮMOVÁ, O.: *Metrologie a hodnocení procesů*. BEN Praha, 2009
- [10] www.trestik.cz/msa-rar
- [11] www.trestik.cz/msa-spc-ford

PŘÍLOHA č. 1

Kalibrační listy laserového dálkoměru Leica



NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia,
tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, e-mail: nms@nms.sk, http://www.nms.sk

Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

Kalibračný certifikát

Zákazník: Škoda Power
Produkt: Leica Tracker/T-Probe/T-Scan
Sériové č. : AT901 MR 3373
 T-Cam MR 753
 T-Probe II 722
 T-Scan III 308711

Dátum: 30.01.2012
Operátor: František Trgo

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Laser Tracker					
Poloha	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
2000	799,992	799,981	-0,011	0,041	Vyhovuje
4500	799,992	799,982	-0,010	0,061	Vyhovuje
7000	799,992	799,981	-0,011	0,082	Vyhovuje

T-Probe					
Poloha	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
2000	799,902	799,889	-0,013	0,060	Vyhovuje
4500	799,902	799,889	-0,013	0,060	Vyhovuje
7000	799,902	799,885	-0,017	0,060	Vyhovuje

T-Scan					
Poloha	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
2000	1140,055	1140,002	-0,053	0,060	Vyhovuje
4500	1140,055	1140,010	-0,045	0,060	Vyhovuje
7000	1140,055	1139,996	-0,059	0,060	Vyhovuje

Záver: Kalibrácia bola vykonaná na základe interných predpisov NMS
 Boli použité etalóny s platným certifikátom. Namerané hodnoty vyhovujú
 technickej špecifikácii prístroja.

Bratislava
30.01.2012

František Trgo
NMS s.r.o.



NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia,
 tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, e-mail: nms@nms.sk, http://www.nms.sk

Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

Detaily meraní: Laser Tracker

Sériové č. : AT901 MR 3373

Teplota: 21,5 °C
 Tlak: 1005 hPa
 Vlhkosť: 35,00%

Dátum: 30.01.2012
 Operátor: František Trgo

Reflektor: RRR 1.5" 8554

Typ referencie: Leica Scale Bar – 574550

Sériové č. : 1266

Neistota merania: ± 0.010 mm

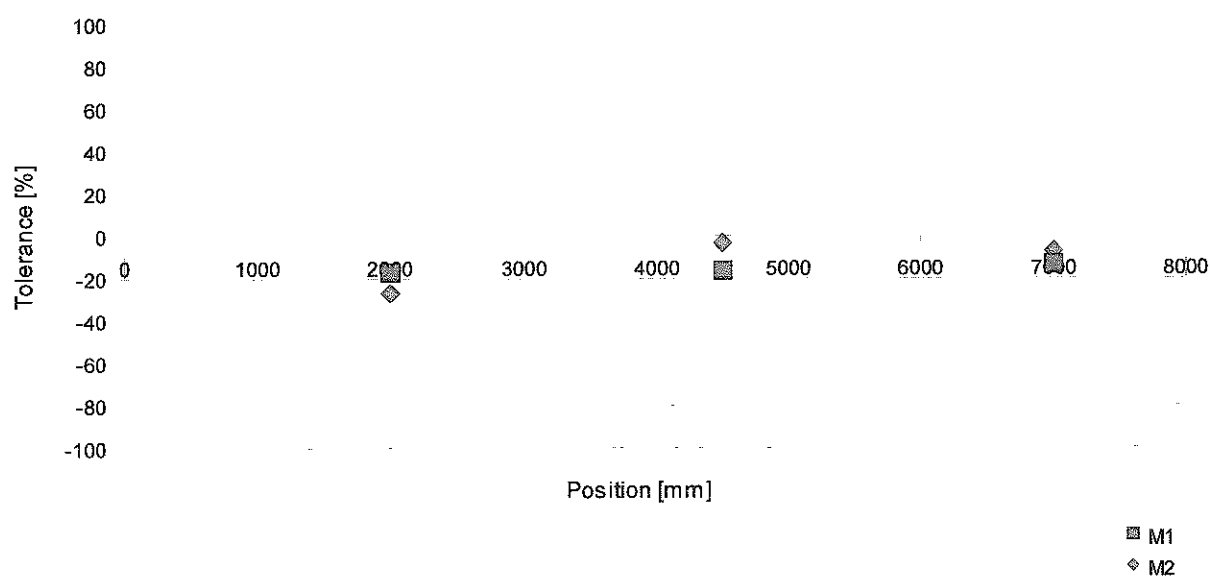
Nom. dĺžka pri teplote kalibrácie: 799,990 mm

Nom. dĺžka pri teplote merania: 799,992 mm

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Poloha	Merané M1/M2		Opakovateľn. M1-M2	Odchýlka od nom. M1/M2		± Tolerancia
2000	799,985	799,981	0,004	-0,007	-0,011	0,041
4500	799,982	799,990	-0,008	-0,010	-0,002	0,061
7000	799,981	799,986	-0,005	-0,011	-0,006	0,082

Percento využitia tolerancie





NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia,
 tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, e-mail: nms@nms.sk, http://www.nms.sk

Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

Detaily meraní: T-Probe systém

Sériové č. : AT901 MR 3373
 T-Cam MR 753
 T-Probe II 722

Teplota: 21,5 °C
 Tlak: 1005 hPa
 Vlhkosť: 35,00%

Dátum: 30.01.2012
 Operátor: František Trgo

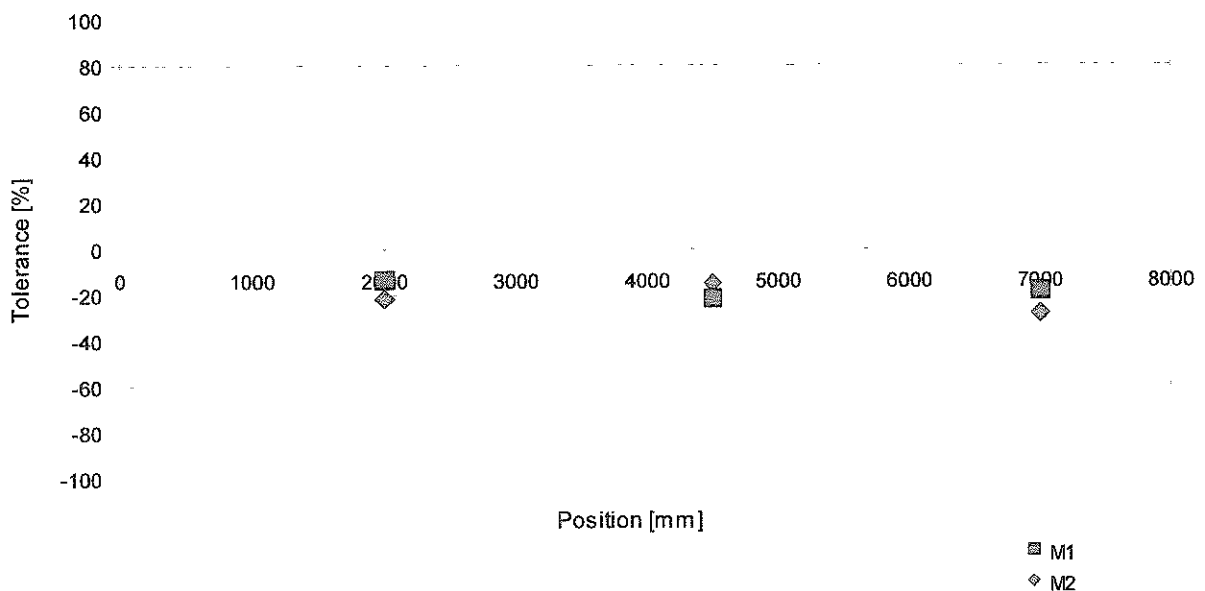
Hrot – dĺžka / polomer / konektor: 120 mm / 12.7 mm / 1

Typ referencie: Leica Scale Bar – 574550
 Sériové č. : 1266
 Neistota merania: ± 0.010 mm
 Nom. dĺžka pri teplote kalibrácie: 799,900 mm
 Nom. dĺžka pri teplote merania: 799,902 mm

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Poloha	Merané M1/M2		Opakovateľn. M1-M2	Odchýlka od nom. M1/M2		± Tolerancia
2000	799,894	799,889	0,005	-0,008	-0,013	0,060
4500	799,889	799,893	-0,004	-0,013	-0,009	0,060
7000	799,891	799,885	0,006	-0,011	-0,017	0,060

Percento využitia tolerancie





NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia,
 tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, e-mail: nms@nms.sk, http://www.nms.sk

Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

Detaily meraní: T-Scan systém

Sériové č. : AT901 MR 3373
 T-Cam MR 753
 T-Probe II 722
 T-Scan III 308711

Teplota: 21,5 °C
 Tlak: 1005 hPa
 Vlhkosť: 35,00%

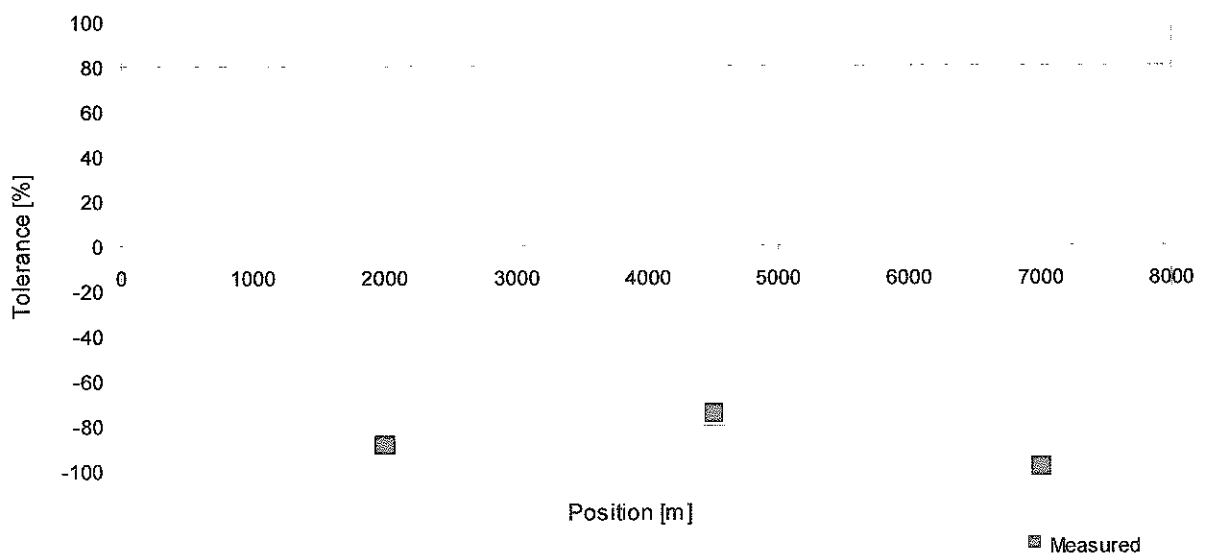
Dátum: 30.01.2012
 Operátor: František Trgo

Typ referencie: ID307864
 Sériové č. : 1234
 Neistota merania: ± 0.011 mm
 Norm. dĺžka pri teplote kalibrácie: 1140,055 mm
 Norm. dĺžka pri teplote merania: 1140,055 mm

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

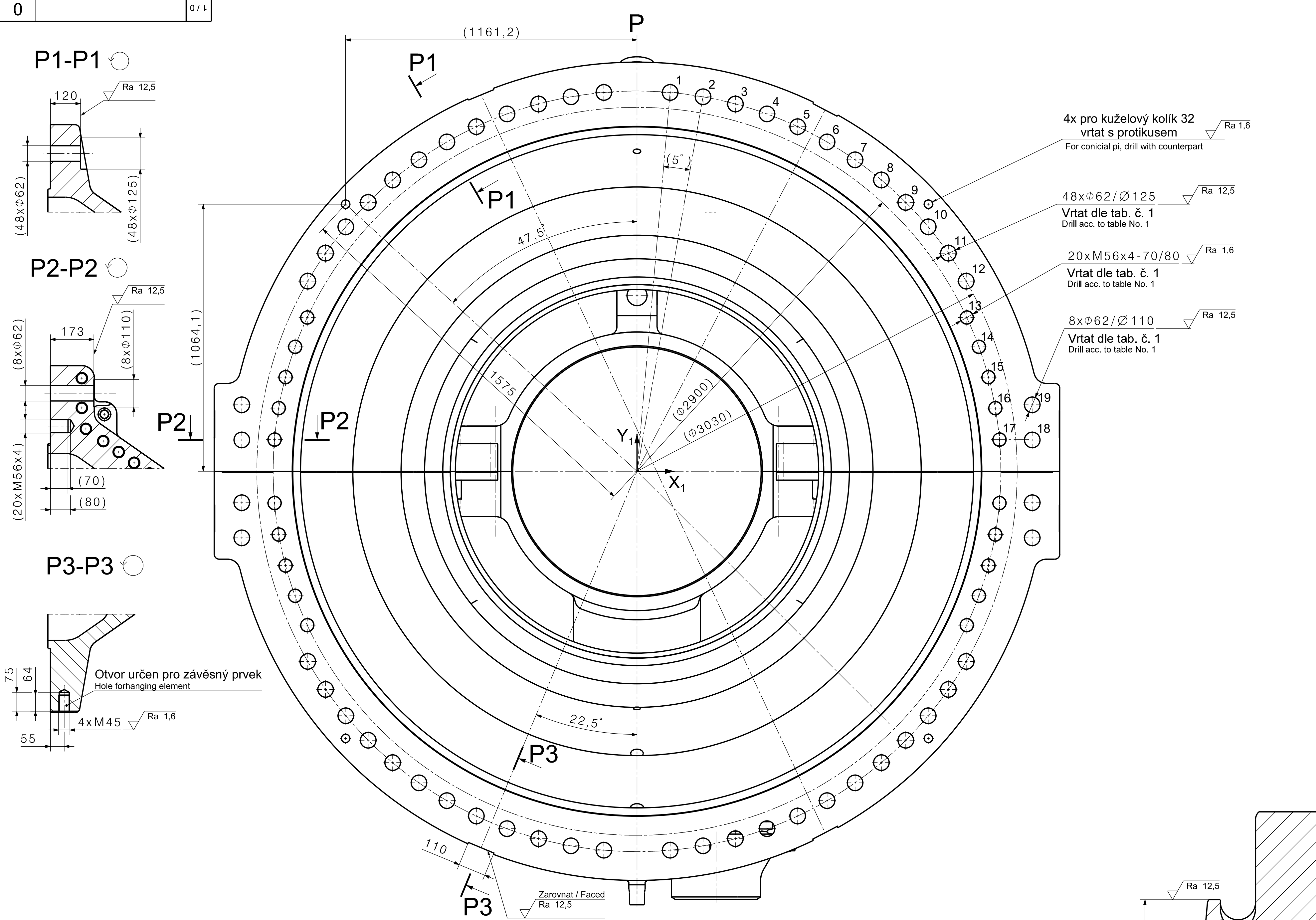
Poloha	Merané	Odhýlka od nom.	\pm Tolerancia
2000	1140,002	-0,053	0,060
4500	1140,010	-0,045	0,060
7000	1139,996	-0,059	0,060

Percento využitia tolerancie



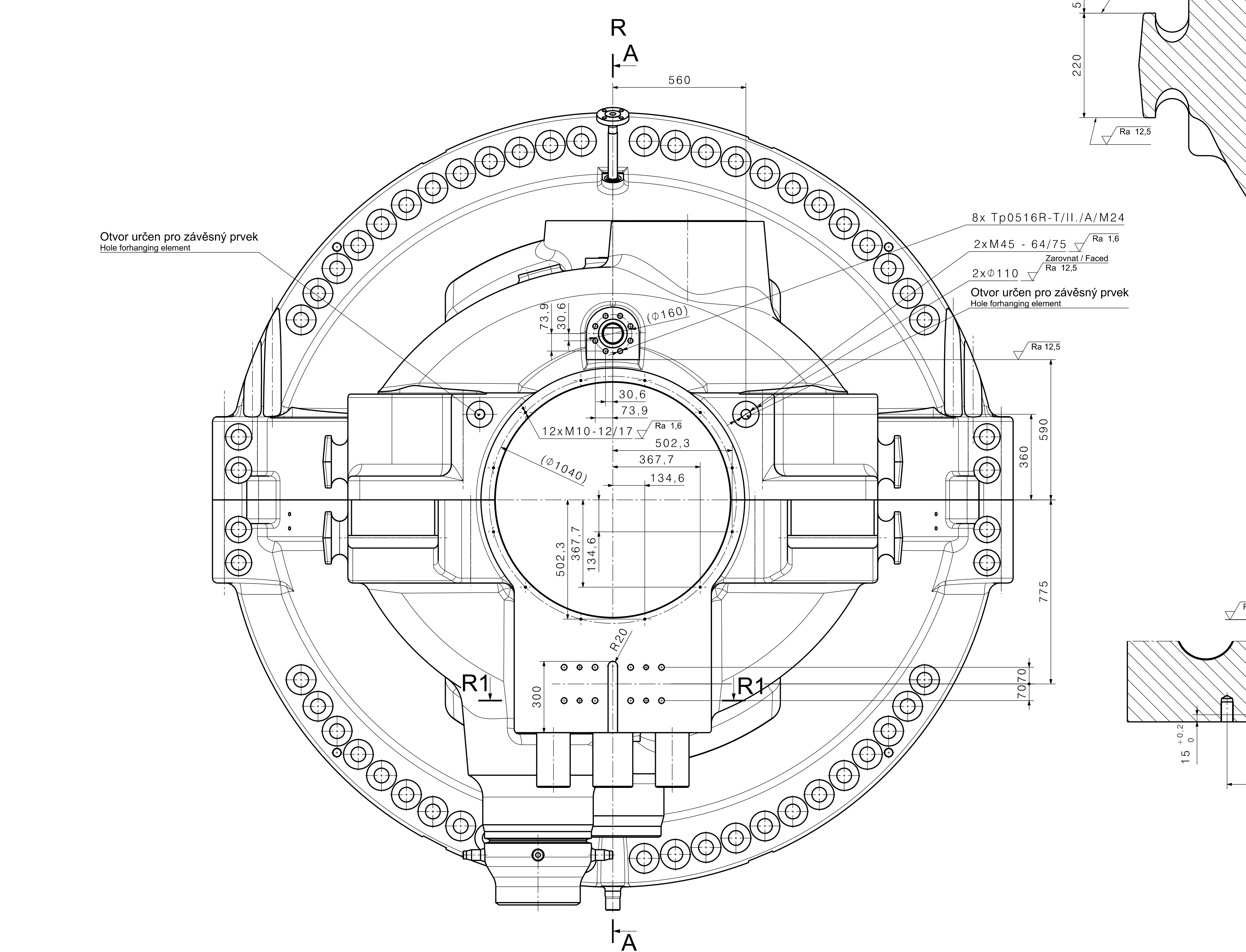
PŘÍLOHA č. 2

Výkresy velkých těles – spodku a svršku



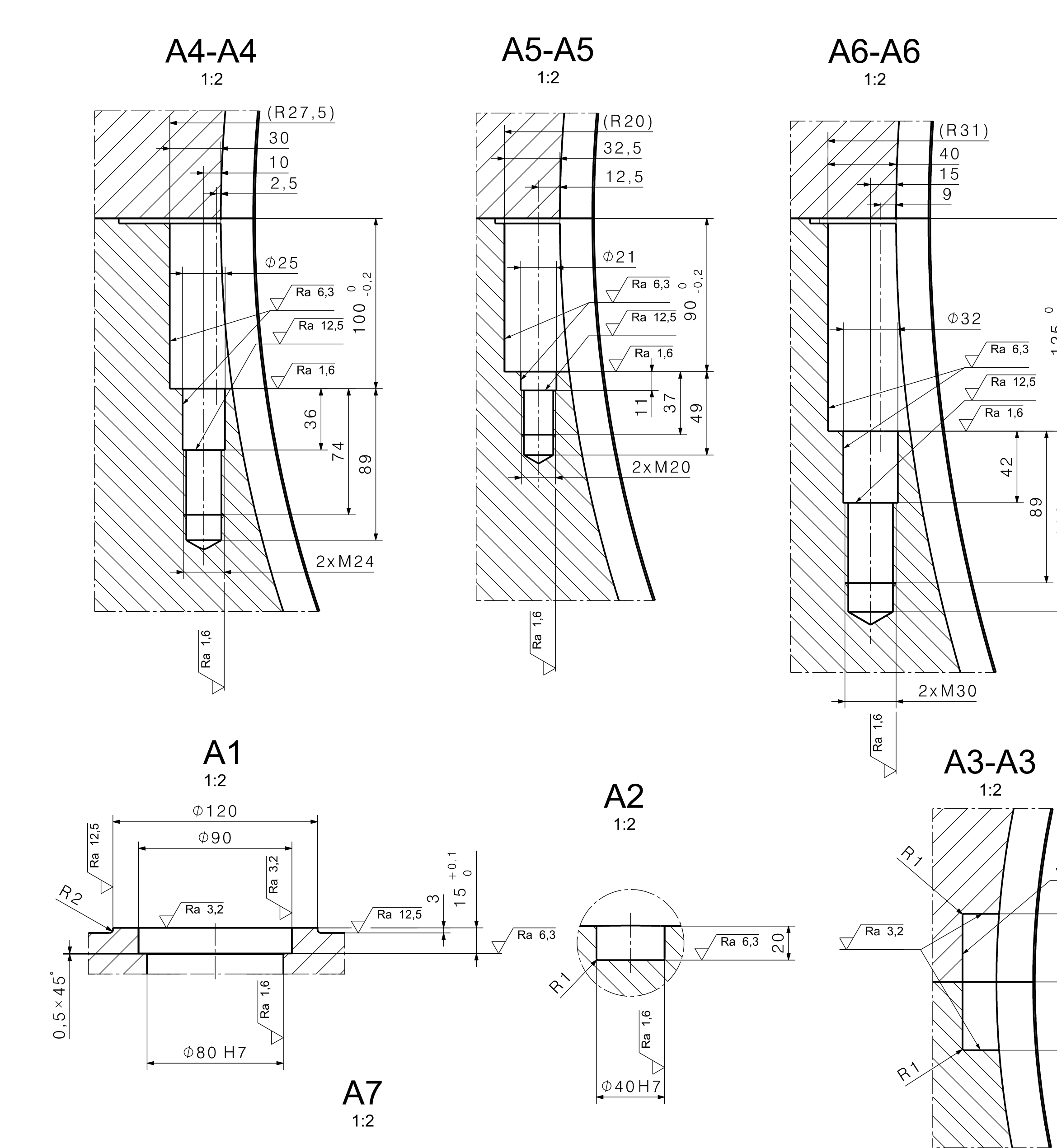
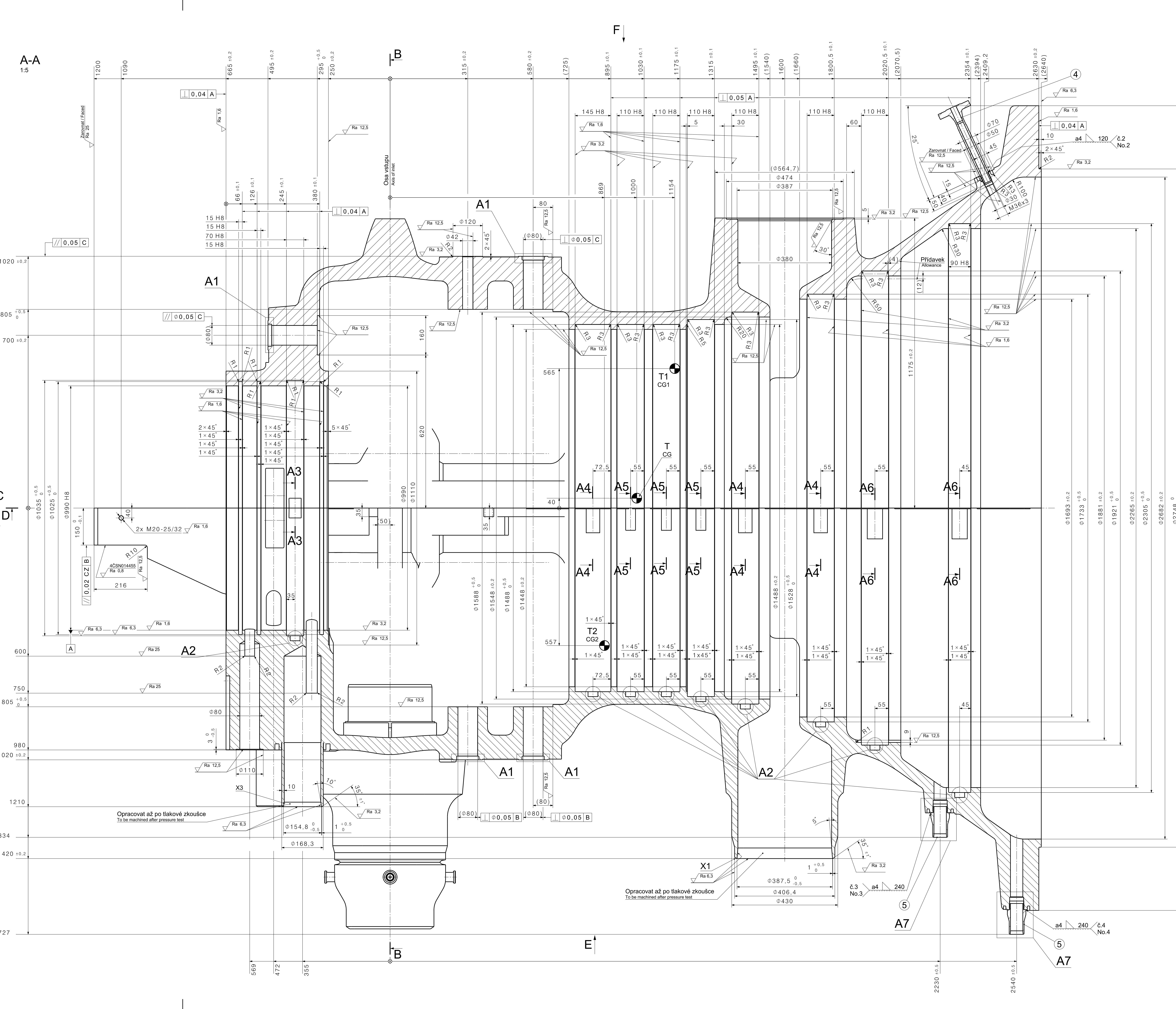
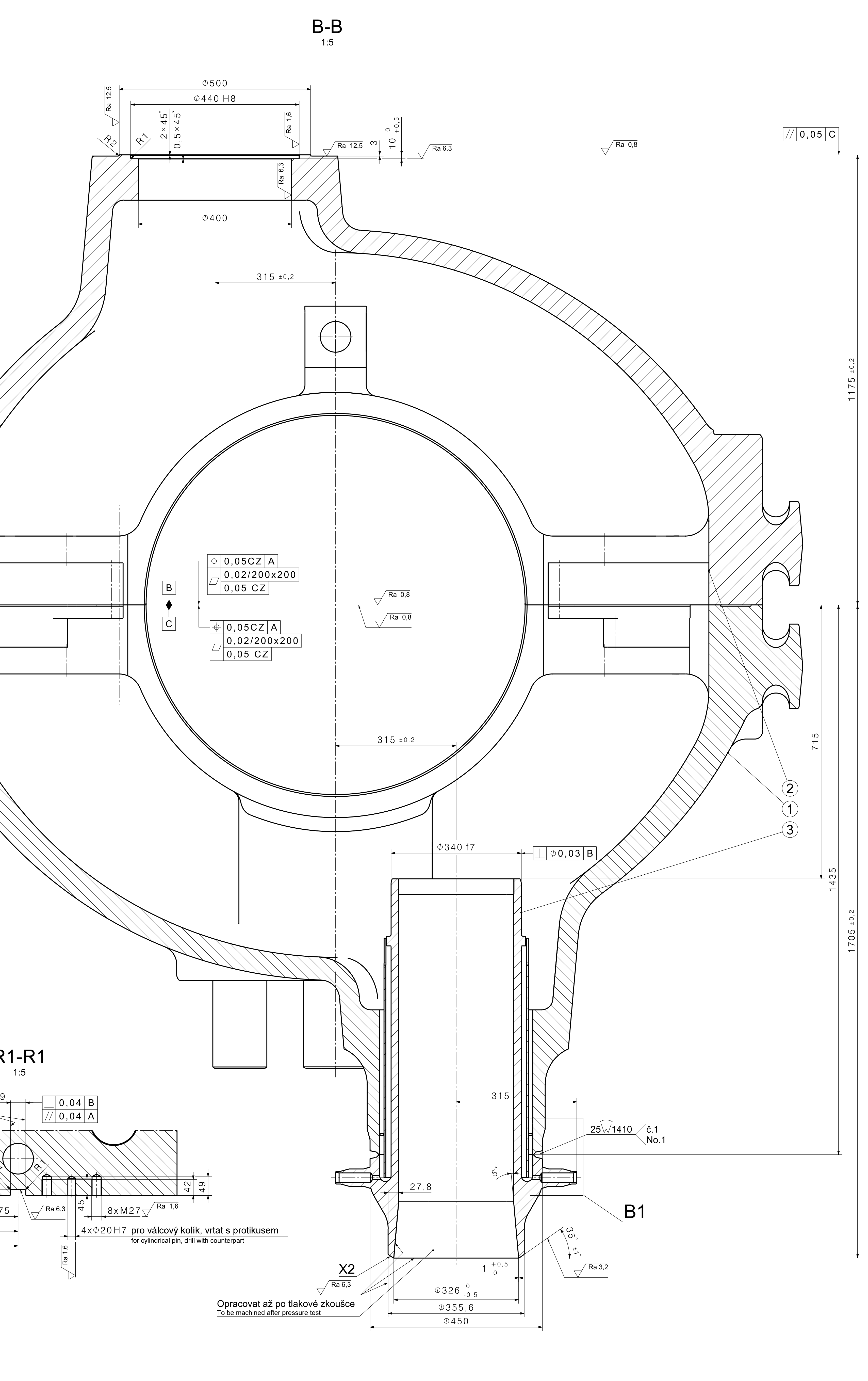
Tab. 1 - Souřadnice otvorů pro šrouby příruby zadního tělesa
Tab. No. 1. Coordinates of holes for screws flange back of casing

Ø otvor / hole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
X, ±0,5	132,04	263,08	392,11	518,16	640,27	757,5	868,97	973,82	1071,27	1160,56	1241,02	1312,03	1314,15	1382,55	1400,59	1427,97	1444,48	1575	1575
Y, ±0,5	1509,23	1491,98	1463,38	1423,63	1373,06	1312,03	1241,02	1160,56	1071,27	973,82	868,97	757,5	612,8	495,93	375,29	251,79	126,38	125	265



Tabulka svařů
Table of welds

Č. svařu / No. of weld	Poloha / Position	Material	Metoda / Method	Die normy / Acc. to standards	Přehřev / Preheating	Dohřev / Afterheat	Zhánění / Anneal
1	3 + 1	1.5415+QT + 1.5415+QT	111/ESAB OK Tigrad 13.09 + 111/Bohler FOX DMO Kb	EN ISO 21982-A: W Mo Si + EN ISO 3580-A: E Mo B 42 H5	> 16°C	-	-
2	4 + 2	1.5415+N + 1.0819+QT	111/ESAB OK 48.00	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	> 16°C	-	-
3, 4	5 + 1	1.5415+N + 1.0819+QT	111/ESAB OK 48.00	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	> 16°C	-	-
5, 6	6 + 1	1.5415+N + 1.0819+QT	111/ESAB OK 48.00	EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5	> 16°C	-	-



Technická charakteristika
Max. provozní teplota: 314 °C
Max. provozní tlak: 3,08 MPa(g)

Technické požadavky

- Skutečnou hmotnost vyznačit bílou nesmyvatelnou barvou.
Svitek tělesa: 11 165 kg
Spodek tělesa: 13 075 kg
- Vnější neopracované plochy 40 m²
Vnitřní neopracované plochy 30 m²
Opracované plochy 20 m²
- Sváry dle tabulky svařů.
- Sváry č. 1-5 sváry dle WPS, WPQR
- Zkoušky: Dle PKZ
Tvrdość svařových ploch označ. "X" - HB125-165 (detail B1)
Elektromagnetická zkouška svařových ploch označ. "X"
Vizuální a elektromagnetická zkouška všech svařů
Kontrola svařů č. 1 - prozářením (pohled B-B)
Elektromagnetická zkouška svařových ploch označ. "X1, X2"
Tvrdość svařových ploch označ. "X1, X2" - HB 125-165 (pohled A-A, B-B)
Elektromagnetická zkouška svařových ploch označ. "X1, X2"
7. Rozměrová kontrola, míry označene "protokovatel" (detail E2)
8. Tlaková zkouška - parametry viz. sestava

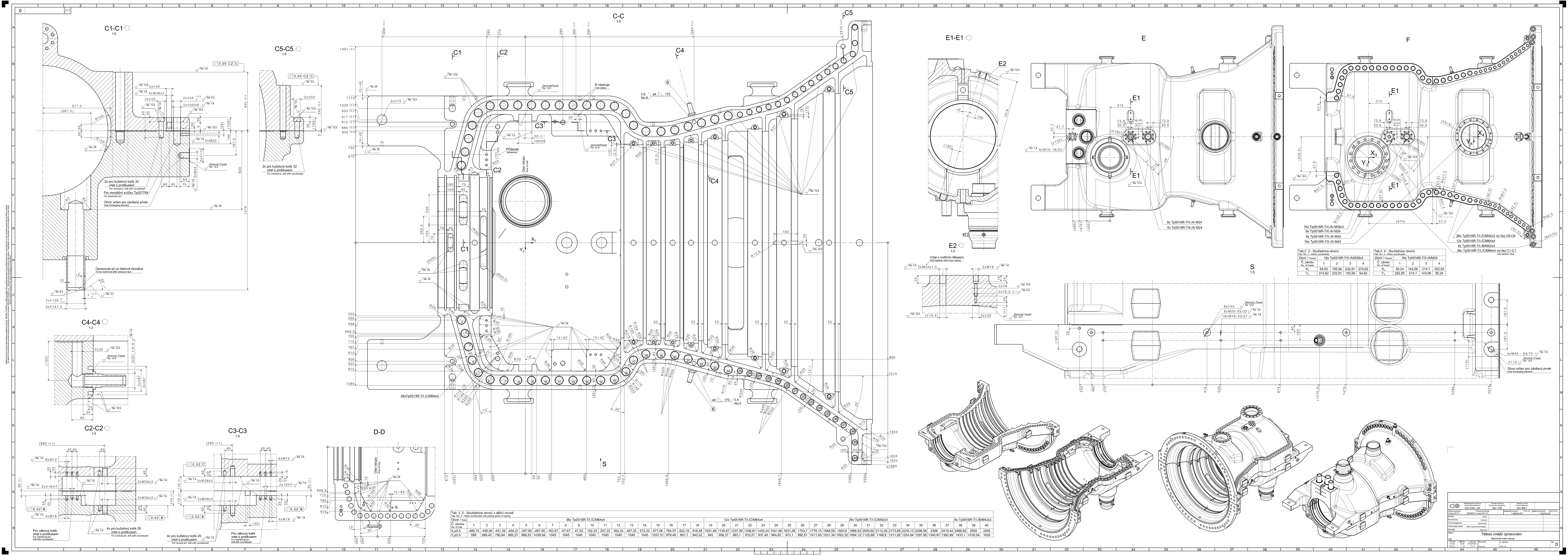
Technical characteristic
Max. operation temperature 314 °C
Max. operation pressure 3,08 MPa(g)

Technical requirements

- Real weight to mark with white water resistant paint.
Upper part: 11 165 kg
Bottom part: 13 075 kg
- Outer unmachined surfaces 40 m²
Inner unmachined surfaces 30 m²
Machined areas 20 m²
- Welds acc. to Table of welds.
- Welds No. 1-6 to weld acc. to WPS, WPQR
- Tests: ACC. to QAP
Weld surfaces hardness marked "X" - HB125-165 (detail B1)
Electromagnetic test for weld surfaces marked "X"
Visual inspection and electromagnetic test of all welds
X-ray radiography of weld No. 1 (view B-B)
Welds hardness No. 1, after annealing 3x3/20° HV 10 max 320
Weld surfaces hardness marked "X1, X2" - HB 125-165 (view A-A, B-B)
Electromagnetic test for weld surfaces marked "X1, X2"
7. Dimensional check for dims marked "make record" (detail E2)
8. Pressure test - parameters acc. to assembly

Těleso vnější opracování
Machined outer casing

Číslo / No.	Velikost / Size	Číslo / No.	Velikost / Size
1	100	1	100
2	100	2	100
3	100	3	100
4	100	4	100
5	100	5	100
6	100	6	100
7	100	7	100
8	100	8	100
9	100	9	100
10	100	10	100
11	100	11	100
12	100	12	100
13	100	13	100
14	100	14	100
15	100	15	100
16	100	16	100
17	100	17	100
18	100	18	100
19	100	19	100
20	100	20	100
21	100	21	100
22	100	22	100
23	100	23	100
24	100	24	100
25	100	25	100
26	100	26	100
27	100	27	100
28	100	28	100
29	100	29	100
30	100	30	100
31	100	31	100
32	100	32	100
33	100	33	100
34	100	34	100
35	100	35	100
36	100	36	100
37	100	37	100
38	100	38	100
39	100	39	100
40	100	40	100
41	100	41	100
42	100	42	100
43	100	43	100
44	100	44	100
45	100	45	100
46	100	46	100



Tab. 2 - Souřadnice otvorů v dílci vnitřní
Tab. 2 - Hole coordinates in part of casing

Číslo / No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																																																																																																																																																																																																																																																														
X ₁ ±0,5	485,74	458,56	431,39	404,21	357,95	287,55	162,67	-57,67	47,33	152,33	257,33	362,33	467,33	572,33	677,33	782,33	887,33	992,33	1097,33	1202,33	1307,33	1412,33	1517,33	1622,33	1727,33	1832,33	1937,33	2042,33	2147,33	2252,33	2357,33	2462,33	2567,33	2672,33	2777,33	2882,33	2987,33	3092,33	3197,33	3302,33	3407,33	3512,33	3617,33	3722,33	3827,33	3932,33	4037,33	4142,33	4247,33	4352,33	4457,33	4562,33																																																																																																																																																																																																																																																		
Y ₁ ±0,5	588	689,42	790,84	892,27	993,69	1095,11	1196,53	1297,95	1399,37	1500,79	1602,21	1703,63	1805,05	1906,47	2007,89	2109,31	2210,73	2312,15	2413,57	2514,99	2616,41	2717,83	2819,25	2920,67	3022,09	3123,51	3224,93	3326,35	3427,77	3529,19	3630,61	3732,03	3833,45	3934,87	4036,29	4137,71	4239,13	4340,55	4441,97	4543,39	4644,81	4746,23	4847,65	4949,07	5050,49	5151,91	5253,33	5354,75	5456,17	5557,59	5659,01	5760,43	5861,85	5963,27	6064,69	6166,11	6267,53	6368,95	6470,37	6571,79	6673,21	6774,63	6876,05	6977,47	7078,89	7180,31	7281,73	7383,15	7484,57	7585,99	7687,41	7788,83	7890,25	7991,67	8093,09	8194,51	8295,93	8397,35	8498,77	8500,19	8601,61	8703,03	8804,45	8905,87	9007,29	9108,71	9210,13	9311,55	9412,97	9514,39	9615,81	9717,23	9818,65	9920,07	10021,49	10122,91	10224,33	10325,75	10427,17	10528,59	10629,01	10730,43	10831,85	10933,27	11034,69	11136,11	11237,53	11338,95	11440,37	11541,79	11643,21	11744,63	11846,05	11947,47	12048,89	12150,31	12251,73	12353,15	12454,57	12555,99	12657,41	12758,83	12860,25	12961,67	13063,09	13164,51	13265,93	13367,35	13468,77	13570,19	13671,61	13773,03	13874,45	13975,87	14077,29	14178,71	14280,13	14381,55	14482,97	14584,39	14685,81	14787,23	14888,65	14990,07	15091,49	15192,91	15294,33	15395,75	15497,17	15598,59	15699,01	15800,43	15901,85	16003,27	16104,69	16206,11	16307,53	16408,95	16510,37	16611,79	16713,21	16814,63	16916,05	17017,47	17118,89	17220,31	17321,73	17423,15	17524,57	17625,99	17727,41	17828,83	17930,25	18031,67	18133,09	18234,51	18335,93	18437,35	18538,77	18640,19	18741,61	18843,03	18944,45	19045,87	19147,29	19248,71	19350,13	19451,55	19552,97	19654,39	19755,81	19857,23	19958,65	20060,07	20161,49	20262,91	20364,33	20465,75	20567,17	20668,59	20769,01	20870,43	20971,85	21073,27	21174,69	21276,11	21377,53	21478,95	21580,37	21681,79	21783,21	21884,63	21986,05	22087,47	22188,89	22290,31	22391,73	22493,15	22594,57	22695,99	22797,41	22898,83	22900,25	23001,67	23103,09	23204,51	23305,93	23407,35	23508,77	23610,19	23711,61	23813,03	23914,45	24015,87	24117,29	24218,71	24320,13	24421,55	24522,97	24624,39	24725,81	24827,23	24928,65	25029,07	25130,49	25231,91	25333,33	25434,75	25536,17	25637,59	25739,01	25840,43	25941,85	26043,27	26144,69	26246,11	26347,53	26448,95	26550,37	26651,79	26753,21	26854,63	26956,05	27057,47	27158,89	27260,31	27361,73	27463,15	27564,57	27665,99	27767,41	27868,83	27970,25	28071,67	28173,09	28274,51	28375,93	28477,35	28578,77	28680,19	28781,61	28883,03	28984,45	29085,87	29187,29	29288,71	29390,13	29491,55	29592,97	29694,39	29795,81	29897,23	29998,65	30000,07

Tab. 3 - Souřadnice otvorů
Tab. 3 - Hole coordinates

Číslo / No.	1	2	3	4
X ₁	54,63	155,56	232,81	274,62
Y ₁	274,62	232,81	155,56	54,63

Tab. 4 - Souřadnice otvorů
Tab. 4 - Hole coordinates

Číslo / No.	1	2	3	4
X ₁	50,24	143,06	214,1	252,55
Y ₁	252,55	214,1	143,06	50,24

Těleso vnější ochrany
Machine outer casing

Číslo / No.	1	2	3	4
X ₁	54,63	155,56	232,81	274,62
Y ₁	274,62	232,81	155,56	54,63