

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Bakalářské studium: B2341 strojírenství

Studijní obor: 2341R001 Strojírenská technologie - zabezpečování jakosti

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Měření 3D měřicím přístrojem DuraMax

Autor: Miroslav PEROUTKA

Vedoucí práce: Doc. Ing. František Zvoneček, PhD.

Konzultant: Doc. Ing. František Zvoneček, PhD.

Akademický rok 2011/2012

Obsah:

1.	ÚVOD, SPOLEČNOST, REFERENCE.....	1
1.1.	Úvod.....	1
1.2.	Společnost	1
1.3.	Reference.....	1
2.	3D měřicí přístroj DuraMax	2
2.1.	úvod.....	2
2.2.	základní charakteristika.....	3
2.3.	skladba stroje, popis	5
3.	Kalibrace	9
3.1.	Postup kalibrace	11
3.2.	Referenční měření	11
4.	Chyby měření.....	14
4.1.	Naměřené hodnoty – metoda snímání.....	14
4.2.	Naměřené hodnoty – metoda skenování	18
5.	Příklad měření konkrétního dílu	19
5.1.	výlisek	19
5.2.	Svařenec	21
6.	Závěr	23

1. ÚVOD, SPOLEČNOST, REFERENCE

1.1. Úvod

Tématem bakalářské práce je **Měření pomocí 3D měřicího přístroje DuraMax**. Cílem bakalářské práce je seznámení s 3D měřicím strojem DuraMax, jeho popis, funkce, možnosti měření a využití v praxi.

1.2. Společnost

Společnost KOVO HRBÁČEK s.r.o. sídlí v Močeradech 32, nedaleko Staňkova, byla založena v roce 1993. Firma má 27 zaměstnanců.

Firma se specializuje na: **obrábění** – soustružení, frézování, vrtání, svislé obrázení, obvodové broušení
svařování – metody MIG, TIG a odporová metoda (bodování)
pálení laserem
ohýbání
řezání
stříhání
vystřihování
lisování
montované sestavy

Společnost je schopna zajistit lakování, zinkování, kalení a po domluvě i dopravu hotových výrobků našimi nákladními automobily.

1.3. Reference

Společnost KOVO Hrbáček se zabývá kovovýrobou. Vyrábí součásti do automobilového průmyslu - EvoBus Bohemia s.r.o., Mbtech Bohemia s.r.o., ale také do elektroprůmyslu - Heidolph České elektromotory s.r.o., Heidolph Elektro GmbH Co.KG.

Naši zákazníci:

EvoBus Bohemia s.r.o.
KDYNIMUM a.s.
SWA s.r.o.
MBtech Bohemia s.r.o.
ROC-Galvanik s.r.o.
ATIS-EU, s.r.o.
INOVA s.r.o.
Heidolph České elektromotory s.r.o.
Heidolph Elektro GmbH Co.KG
TB-Wischenbart GmbH
Rötzer-Ziegel-Element-Werk GmbH
A.N.S. 2000 spol. s r.o.

Linde Material Handling Česká republika
GTL-Transport-und Lagersysteme k.s.

2. 3D měřicí přístroj DuraMax

2.1. úvod

3D měřicím přístrojem měříme většinou obráběné, ohýbané, lisované výrobky. Jedná se o výrobky, které jsou těžko měřitelné klasickými měřidly (posuvné měřítko, mikrometr, různé kalibry). Dále pomocí Duramaxu měříme různé rozteče nebo geometrické odchylky – nejčastěji rovinnost, kolmost, házení.

DuraMax je také využíván k měření vzorových kusů. Po změření hodnot lze vytisknout náměrový protokol a poslat ho spolu s vyrobenými díly. V případě měření vzorových kusů se hojně využívá CNC kódu, kdy upneme měřený díl na desku. Potom nasnímáme elementy, spustíme CNC měření a další z kusů (obvykle se dělají 3 vzorové kusy) upneme stejně a již jen spustíme CNC měření.



obr. č. 1 – 3D měřicí přístroj DuraMax



obr. č. 2 – 3D měřicí přístroj DuraMax

Na obrázcích č. 1 a 2 je znázorněn 3D měřicí přístroj DuraMax od firmy Carl Zeiss s.r.o., který nově používá k měření a kontrole firma KOVO Hrbáček s.r.o.

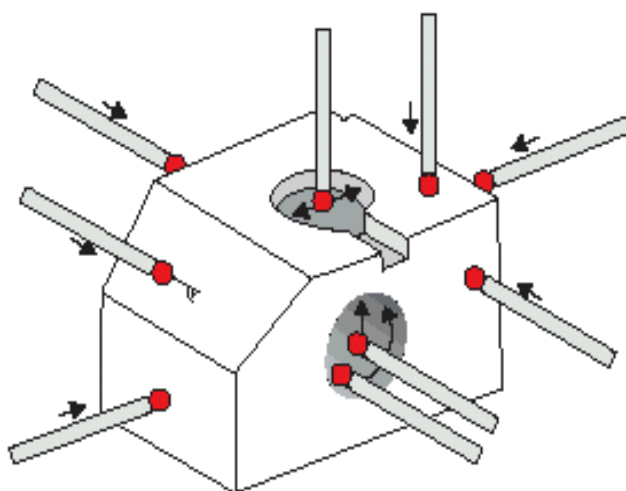
2.2. základní charakteristika

DuraMax je souřadnicový měřicí stroj, který je konstruován přímo do výroby. Není potřeba speciální klimatizované místnosti nebo laboratoře. Při měření se využívá standardní technologie měření – tzv. metoda skenování – objíždění měřené součásti snímačem, nebo metoda snímání jednotlivých bodů. Na obr. č. 3 jsou vidět možné směry snímání či skenování.

Při snímání jednotlivých bodů najedeme snímačem na plochu a pouze sejmeme (tzv. oťukáme) jednotlivé body. Při skenování plynule nepřerušene jedeme snímačem po ploše a sbíráme měřené hodnoty. Rozdíl je hlavně v kvalitě naměřených výsledků. V tabulce č. 1 máme srovnání obou dvou metod. Zkušenosti dokázaly, že skenování je jednoduché, rychlé ale i přesné, proto tato metoda dominuje.

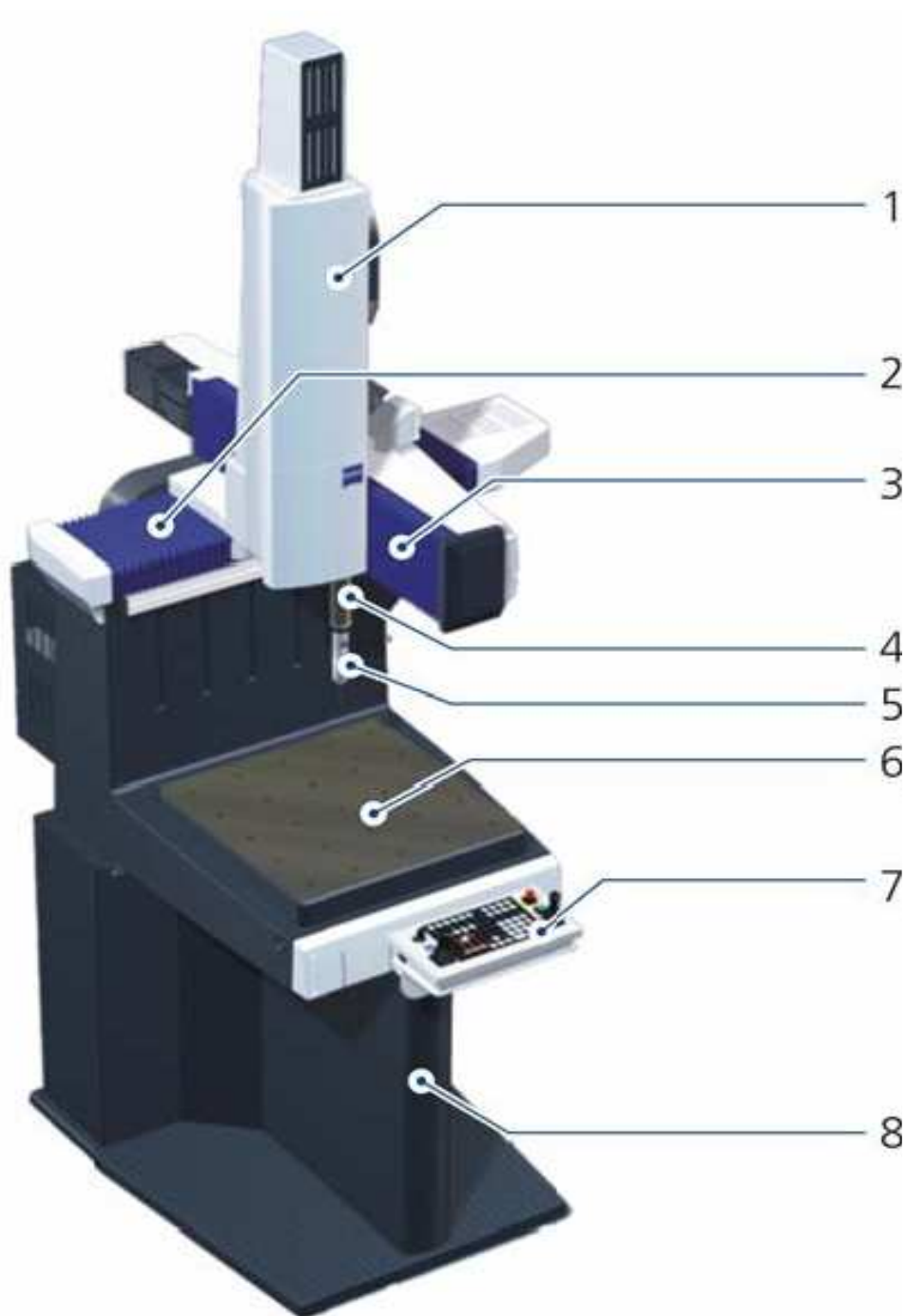
Snímání jednotlivých bodů	Metoda skenování
Zaznamenáme jednotlivé body	Plynule zaznamenáme body po snímací čáře
Určíme jednotlivé změřené body	Určíme skutečný tvar
Delší čas měření, méně informací	Kratší čas měření, přesnější měření
Prakticky žádné údaje o tvaru rotačních těles (válec, kužel, kružnice) a rovinných ploch	Přesné údaje o tvaru rotačních těles (válec, kužel, kružnice) a rovinných ploch
Vysoký rozptyl, nízká opakovatelnost	Malý rozptyl (minimální), opakovatelnost
Není možné měřit křivky, obecné a neznámé plochy	Lze měřit křivky, obecné a neznámé plochy

Tab. č. 1 – srovnání snímání bodů a skenování



obr. č. 3 – možné směry snímání či skenování

2.3. skladba stroje, popis



Obr. č. 4 – popis stroje

- 1 zakrytování pohonu a prodloužení snímací hlavy (osa Z)
- 2 kryt pohonu a vedení X (osa X)
- 3 kryt vedení Y (osa Y)
- 4 prodloužení snímací hlavy
- 5 snímací hlava
- 6 měřicí stůl
- 7 ovládací panel
- 8 podstavec

Zakrytování – 1,2,3

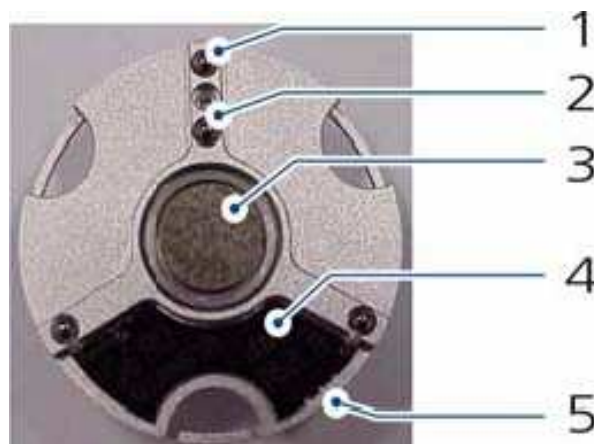
Ochrana proti tepelným vlivům, kolísání teploty a znečištění.

Snímací hlava – 4,5

Používáme typ VAST XXT TL3 – obr. č. 5. Je vhodný pro snímání jednotlivých bodů, ale i pro skenování. Délka 30 – 125 mm a možné vychýlení snímače ± 3 mm jako ochrana proti kolizi. Dále ke snímací hlavě patří 2 upínací talířky – obr. č. 6 a referenční snímač o délce 30 mm.



Obr. č. 5 – snímací hlava VAST XXL T 3



Obr. č. 6 – upínací talířek

- 1 Vnější kuličky pro kontrolu správného umístění talířku v upínači.
- 2 Vnitřní kulička pro mechanické kódování.
- 3 Magnet
- 4 Čip pro identifikaci talířku
- 5 Boční označení na talířku pro orientaci

Měřicí stůl - 6

Na měřicí stůl se pokládají měřené součásti. Stůl je vyroben z leštěné šedé litiny. Jsou v něm závitové otvory (M10, rozteč 100 mm), sloužící pro upnutí součástí a kalibračních nástrojů. Jako doplněk se dodává měřicí deska odolná proti korozi.

Měřicí rozsah: 500 x 500 x 500 mm, hmotnost součásti max. 100 kg.

Ovládací panel - 7

Na obrázku č. 7 je znázorněn ovládací panel.



Obr. č. 7 – ovládací panel standart

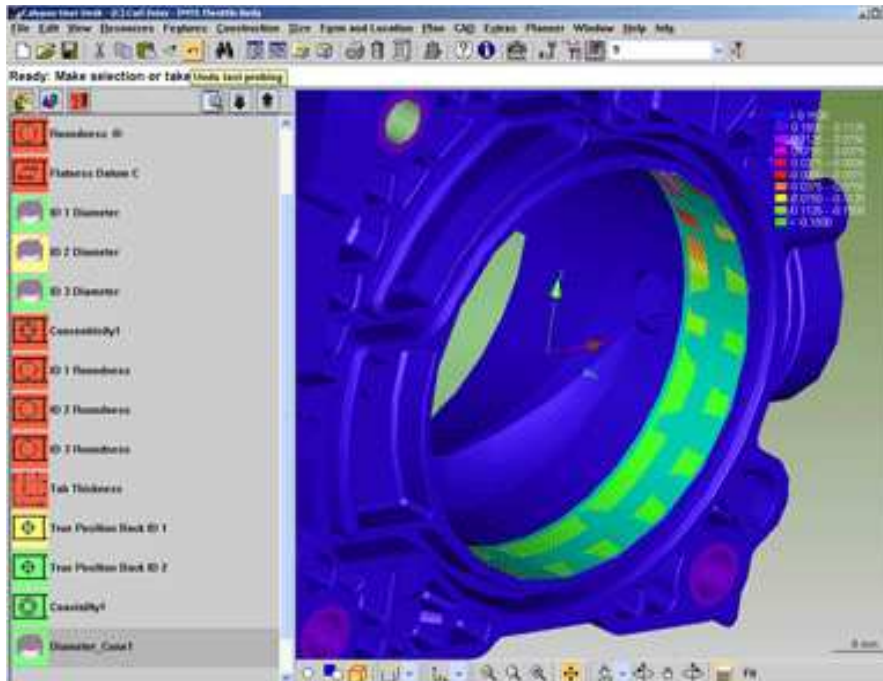
- 1 otočný knoflík pro nastavení rychlosti
- 2 joystick pro osu Z
- 3 indikace zablokování joysticků
- 4 displej
- 5 joystick (pro osu X a Y)
- 6 nouzový vypínač
- 7 klávesnice

Calypso software

Jedná se o osvědčený software firmy ZEISS a je založen na principu Visual Metrology. Měříme, co vidíme – nemusíme nic programovat. Pro všechny prvky, které chceme měřit, můžeme najít v nabídce Calypsa ikony, pomocí nichž si zvolíme měřené elementy a plán měření je prakticky hotov. Ideální dráhu, kterou pojede snímač, už si Calypso naprogramuje samo. Obsluha pouze reguluje rychlost pojezdu. I když snímač při kontaktu se součástí zpomalí a sám si již nasnímá bod, při velké rychlosti zastavit nedokáže – nestihne a hrozí kolize a zničení snímače.

Calypso nám umožňuje také připravit si měřicí plán měření přímo z CAD modelu. Např. nová součást je teprve ve výrobě, tak si nahrajeme model do Calypsa a nasnímáme elementy, které chceme

měřit. Na obr. č. 8 je vidět měření přímo z modelu. Na pravé straně model a v levém sloupečku měřené elementy.



Obr. č. 8 – měření pomocí CAD modelu

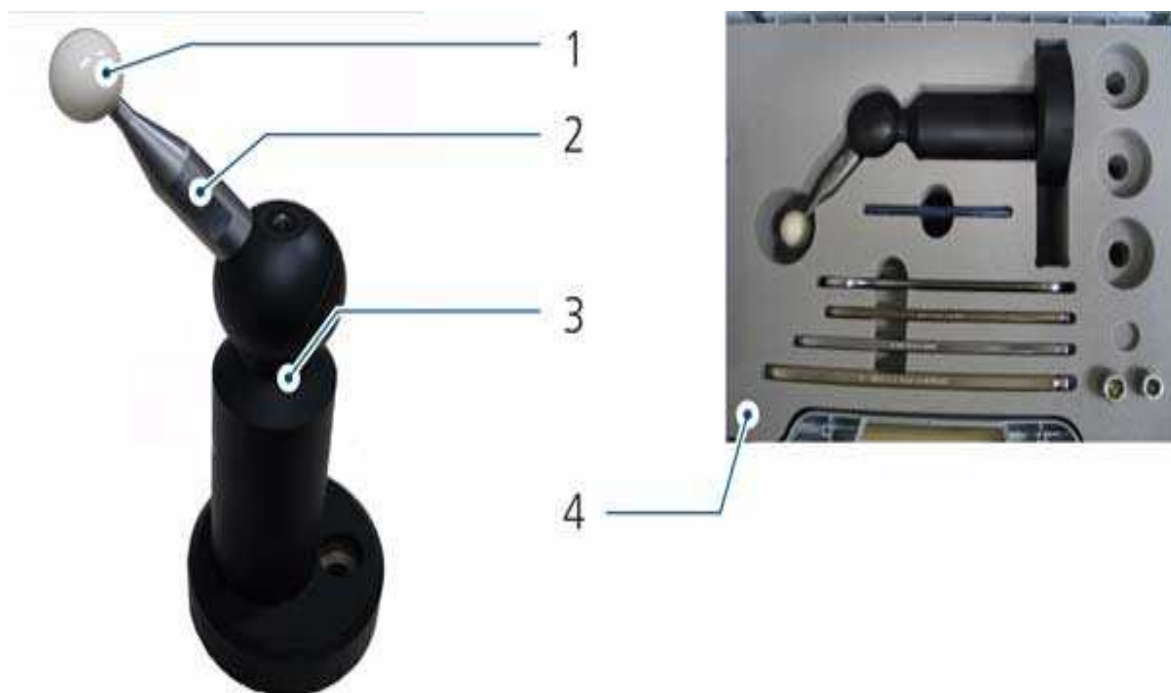
3. Kalibrace

Kalibrace je nejdůležitější a nejprvotnější proces, který je třeba provést, aby naměřené výsledky byly co nejpřesnější. Ke kalibraci se používá kalibrační etalon (koule) – obr. č. 9, referenční snímač (je označen červenou tečkou) a potom samotné snímače, se nimiž chceme měřit. Není nutné kalibrovat snímač, o kterém víme, že ho při měření nepoužijeme.

Kalibrační koule je vyrobena z keramiky o průměru 25 mm. Je vysoce přesná. Kalibrační koule je součástí dodávky.

Referenční snímač stačí kalibrovat cca jednou týdně, ale kalibraci samotných snímačů určených pro měření je třeba dělat před každým měřením. Kalibrovat je nutné i po kolizi při CNC měření, nebo při velké změně teploty okolí.

Příklad: ráno zkalibruji snímače, a co nejdříve změřím součást X, ráno zkalibruji snímače a součást měřím odpoledne → změny teplot prostředí a součásti → snímač kalibrován za nějaké určité teploty, ale měřím-li součást po delším časovém úseku může mít změna teploty vliv na výsledky měření.



Obr. č. 9 – kalibrační koule (etalon)

- 1 kalibrační koule
- 2 nástavec kalibrační koule
- 3 držák kalibrační koule
- 4 obal

3.1. Postup kalibrace

Připevníme kalibrační kouli na měřicí stůl – viz obr. č. 10.



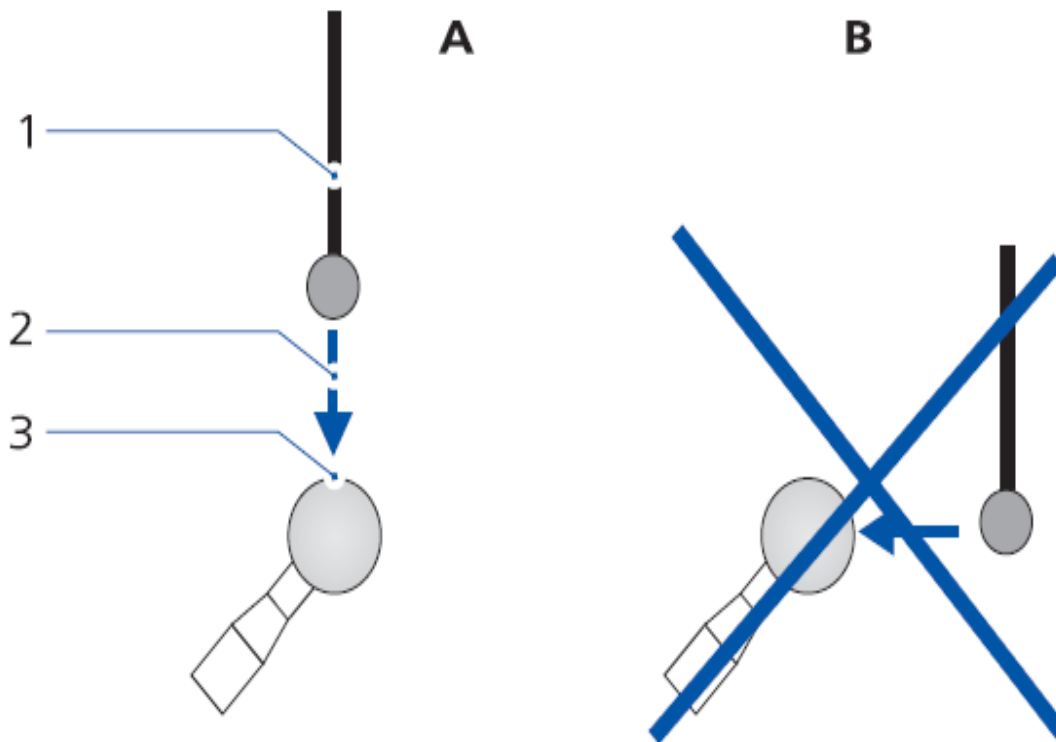
Obr. č. 10 – kalibrační koule na stole

- 1 držák kalibrační koule
- 2 průchozí otvor pro připevňovací šrouby
- 3 závitový otvor M10 v měřicím stole

Polohu držáku kalibrační koule je třeba zvolit tak, aby bylo možné snímat kalibrační kouli všemi snímači. Umístíme ji pod úhlem 45° . Jestliže nemohou být určité snímače kalibrovány, orientace koule se může změnit. Ale vždy o úhel 45° .

3.2. Referenční měření

- a) Nasadíme referenční snímač
- b) Vyvoláme menu pro referenční měření
- c) Vybereme snímač č.1
- d) Můžeme snímat kalibrační kouli ve směru Z – obr. č. 11



Obr. č. 11 – snímání kalibrační koule

A Správně

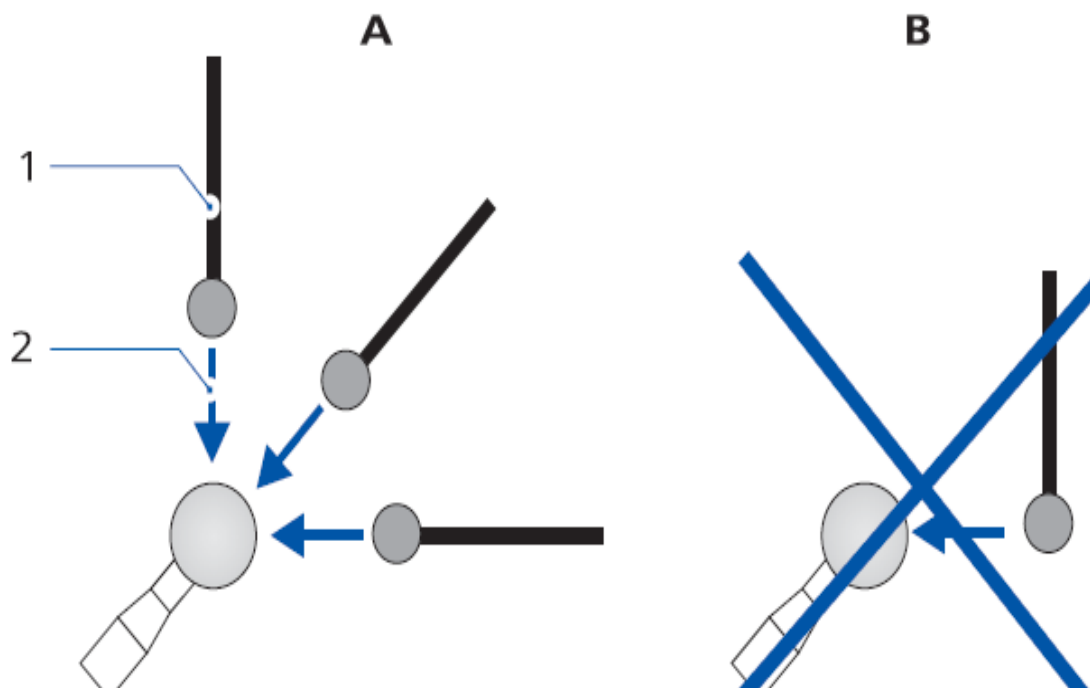
B Špatně

- 1 dřík snímače
- 2 směr snímání
- 3 kalibrační koule

Při sejmutí kalibrační koule ve směru Z (snímáme tzv. pól kalibrační koule) si DuraMax objede kolem koule několik eliptických drah a tím změří ji a referenční snímač a zaměří polohu kalibrační koule.

- e) Odebereme referenční snímač
- f) Začneme kalibrovat ostatní snímače

Při kalibraci se nesmí snímat nástavec kalibrační koule. Snímáme podle obrázku č. 12.



Obr. č. 12 – kalibrace snímačů

A Správně

B Špatně

1 dřík snímače
2 směr snímání

4. Chyby měření

Přístroj DuraMax měří ve všech osách s uváděnou odchylkou:

$$x \pm 0,001$$

$$y \pm 0,001$$

$$z \pm 0,001$$

Pro praktickou ukázkou chyby měření 3D souřadnicového stroje DuraMax jsem vybral přímo výrobek naší firmy. Jedná se o výrobek vyráběný pro společnost Evobus Bohemia s.r.o. Jedná se o pozici číslo jedna svařovaného kusu.

Technologický postup celého svařence:

1. řezání trubky pro soustružení – polotovar tr. 70x10
2. soustružení trubky na vnitřní průměr $D 55 \pm 0,15$ mm a délku $50 \pm 0,3$ mm
3. řezání spojovací trubky
4. ohnutí spojovací trubky
5. zaříznutí spojovací trubky
6. svařování jednotlivých pozic pomocí přípravku
7. černý zinek
8. kontrola, expedice k zákazníkovi

Rozměr jsem měřil na stejném dílci jak metodou skenováním, tak metodou snímání.

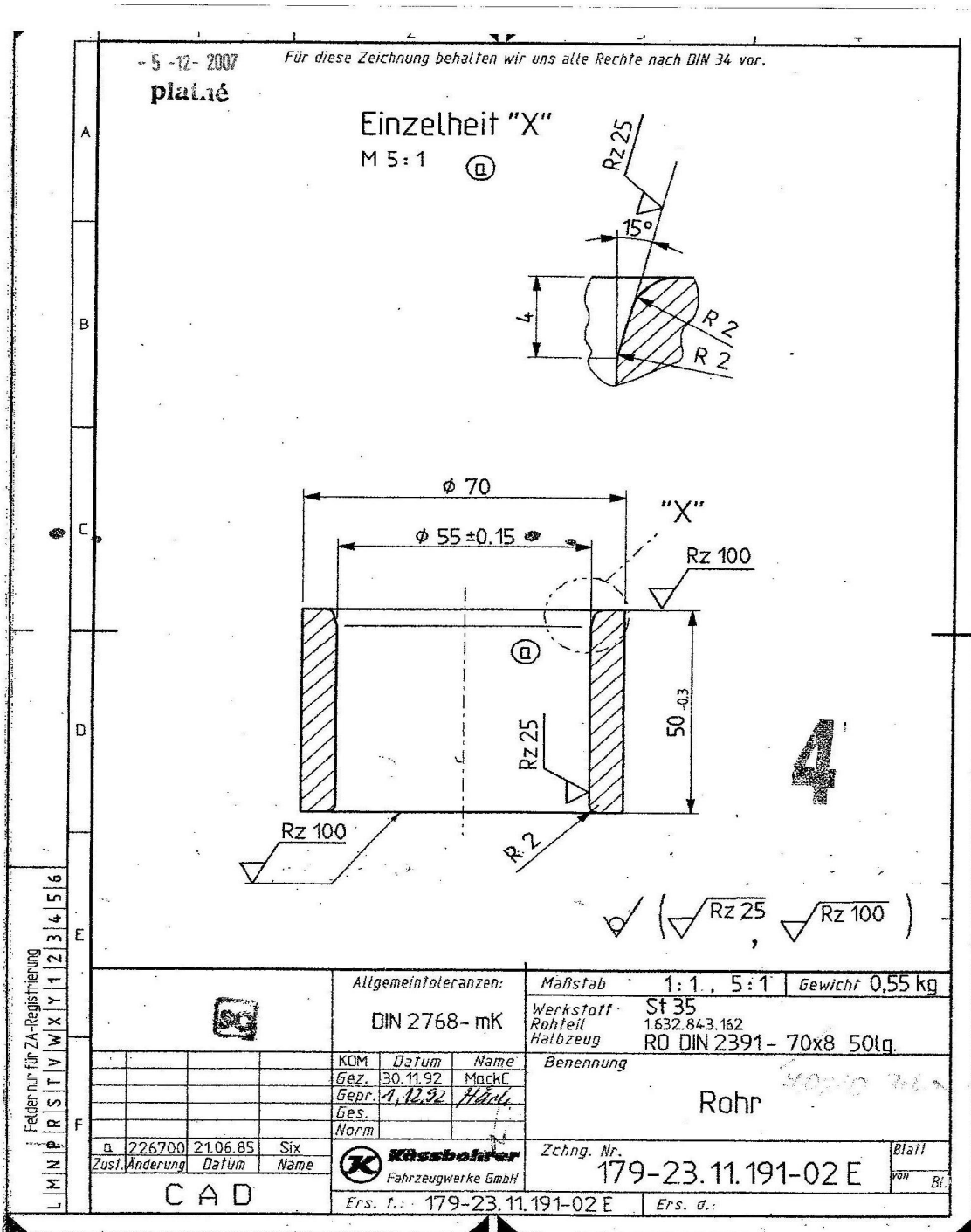
4.1. Naměřené hodnoty – metoda snímání

V tabulce č. 2 jsou zapsány hodnoty naměřené metodou snímání.

Měření číslo	Naměřená hodnota [mm]
X_1	55,0671
X_2	55,1375
X_3	55,0724
X_4	55,0648
X_5	55,1374
X_6	55,0636
X_7	55,0626
X_8	55,0737
X_9	55,0613
X_{10}	55,0645

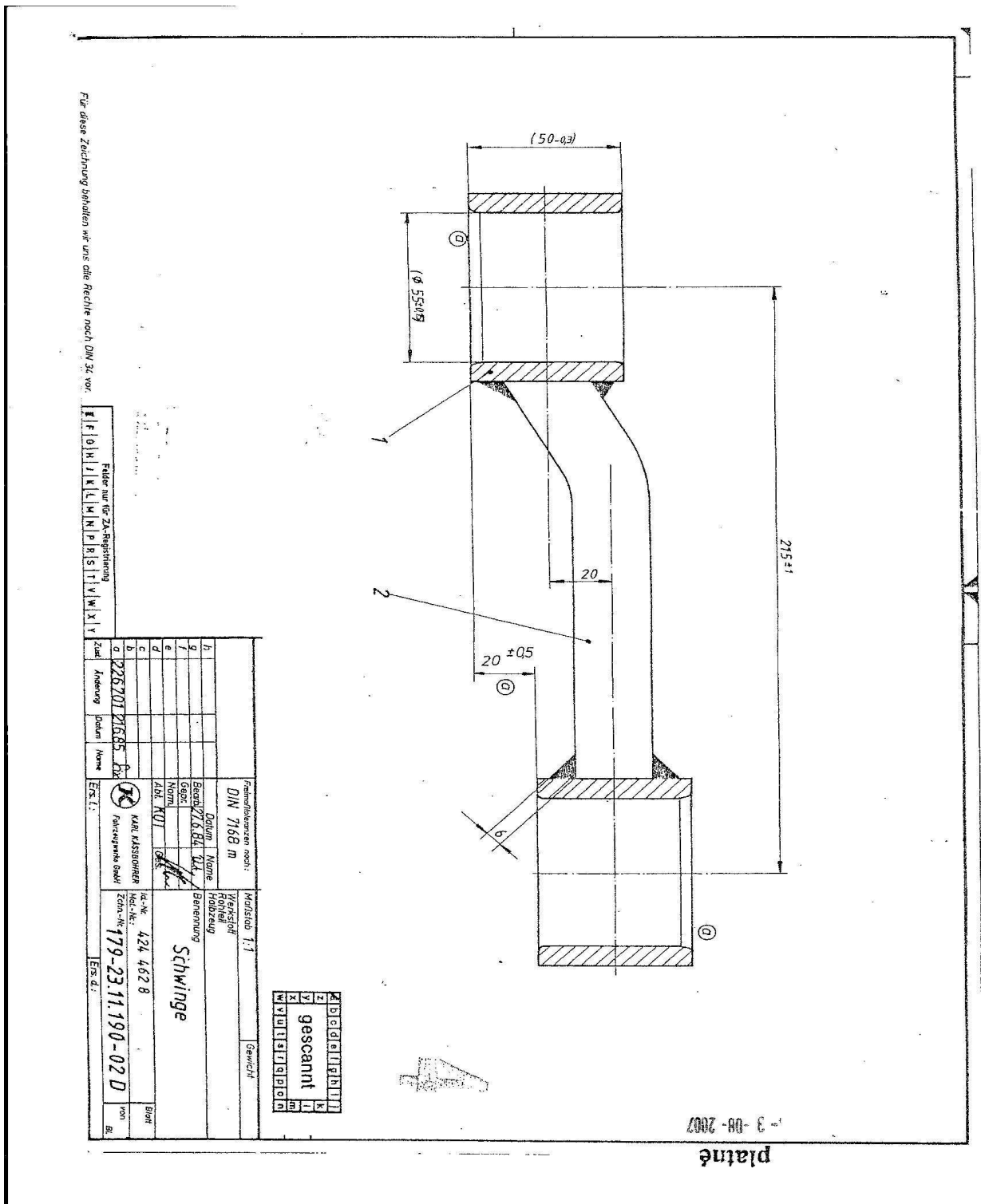
Tab. č. 2 – naměřené hodnoty metodou snímání

Na obrázku číslo 13 vidíme pozici číslo 1, na které bylo prováděno praktické měření a zjišťování odchylek. Měřen byl průměr $D55 \pm 0,15$ mm.



Obr. č. 13 – vzorek pro praktické zjištění odchylky měření

Na obrázku číslo 14 je potom pro ukázkou celý zmiňovaný svařenec.



Obr. č. 14 - svařenec

Výpočet chyby měření – metoda snímání

$$\bar{x} = \frac{\sum}{n} = \frac{550,8049}{10}$$
$$\bar{x} = 55,08049 \text{ mm}$$

$$U_A = \frac{\left| (x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + (x_3 - \bar{x}) + (x_4 - \bar{x}) + (x_5 - \bar{x}) + (x_6 - \bar{x}) + (x_7 - \bar{x}) + (x_8 - \bar{x}) + (x_9 - \bar{x}) + (x_{10} - \bar{x}) \right|^2}{n-1}$$
$$U_A = \frac{\left| 0,01339 + 0,05701 + 0,00809 + 0,01569 + 0,05691 + 0,01689 + 0,01789 + 0,00679 + 0,01919 + 0,01519 \right|^2}{9}$$
$$U_A = 0,025316$$

kde \bar{x} - průměrná hodnota
n - počet měření - zde 10 měření
 U_A - statistická chyba
 Σ - součet všech měření

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{0,025316^2 + 0,02^2} = 0,03226$$

kde U_C - souhrnná chyba
 U_B - chyba 0,02%

Celková chyba měření – metoda snímání

$$U = k \cdot U_C = 3 \cdot 0,03226 = 0,09678$$

kde k - je součinitel, pro můj případ se jedná o hodnotu 3, čemuž odpovídá přesnost 99,9999%

Měření rozměru $D55 \pm 0,15$ mm jsem měřil s celkovou chybou měření **0,09678**.

4.2. Naměřené hodnoty – metoda skenování

V tabulce č. 3 jsou zapsány hodnoty naměřené metodou skenování.

Měření číslo	Naměřená hodnota [mm]
X ₁	55,1027
X ₂	55,1004
X ₃	55,1008
X ₄	55,1010
X ₅	55,1009
X ₆	55,1011
X ₇	55,1012
X ₈	55,1013
X ₉	55,1012
X ₁₀	55,1013

Tab. č. 3 – naměřené hodnoty metodou skenováním

Výpočet chyby měření – metoda skenování

$$\bar{x} = \frac{\sum}{n} = \frac{551,0119}{10}$$

$$\bar{x} = 55,10119 \text{ mm}$$

$$U_A = \frac{\left| (x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + (x_3 - \bar{x}) + (x_4 - \bar{x}) + (x_5 - \bar{x}) + (x_6 - \bar{x}) + (x_7 - \bar{x}) + (x_8 - \bar{x}) + (x_9 - \bar{x}) + (x_{10} - \bar{x}) \right|^2}{n-1}$$

$$U_A = \left| \frac{0,0035}{9} \right|$$

$$U_A = 0,000389$$

kde \bar{x} - průměrná hodnota

n - počet měření – zde 10 měření

U_A - statistická chyba

Σ - součet všech měření

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{0,000389^2 + 0,02^2} = 0,020003$$

kde U_C - souhrnná chyba

U_B - chyba 0,02%

Celková chyba měření – metoda skenování

$$U = k.U_c = 3.0,020003 = 0,060009$$

kde k – je součinitel, pro můj případ se jedná o hodnotu 3, čemuž odpovídá přesnost 99,9999%

Měření rozměru $D55 \pm 0,15$ mm jsem měřil s celkovou chybou měření **0,060009**.

Odchyly měření – závěr

Z naměřených hodnot a výpočtů jasně plyne, že odchylna u měření metodou skenování je menší. Měření je přesnější a rozdíl odchylek není extrémně vysoký, nicméně je jasně patrný. V případě měření dílu s vysokou přesností se vyplatí měřit metodou skenování.

V příloze jsou přiloženy protokoly o naměřených hodnotách a výkresy součástí.

5. Příklad měření konkrétního dílu

Pro příklad měření jsem vybral 2 výrobky.

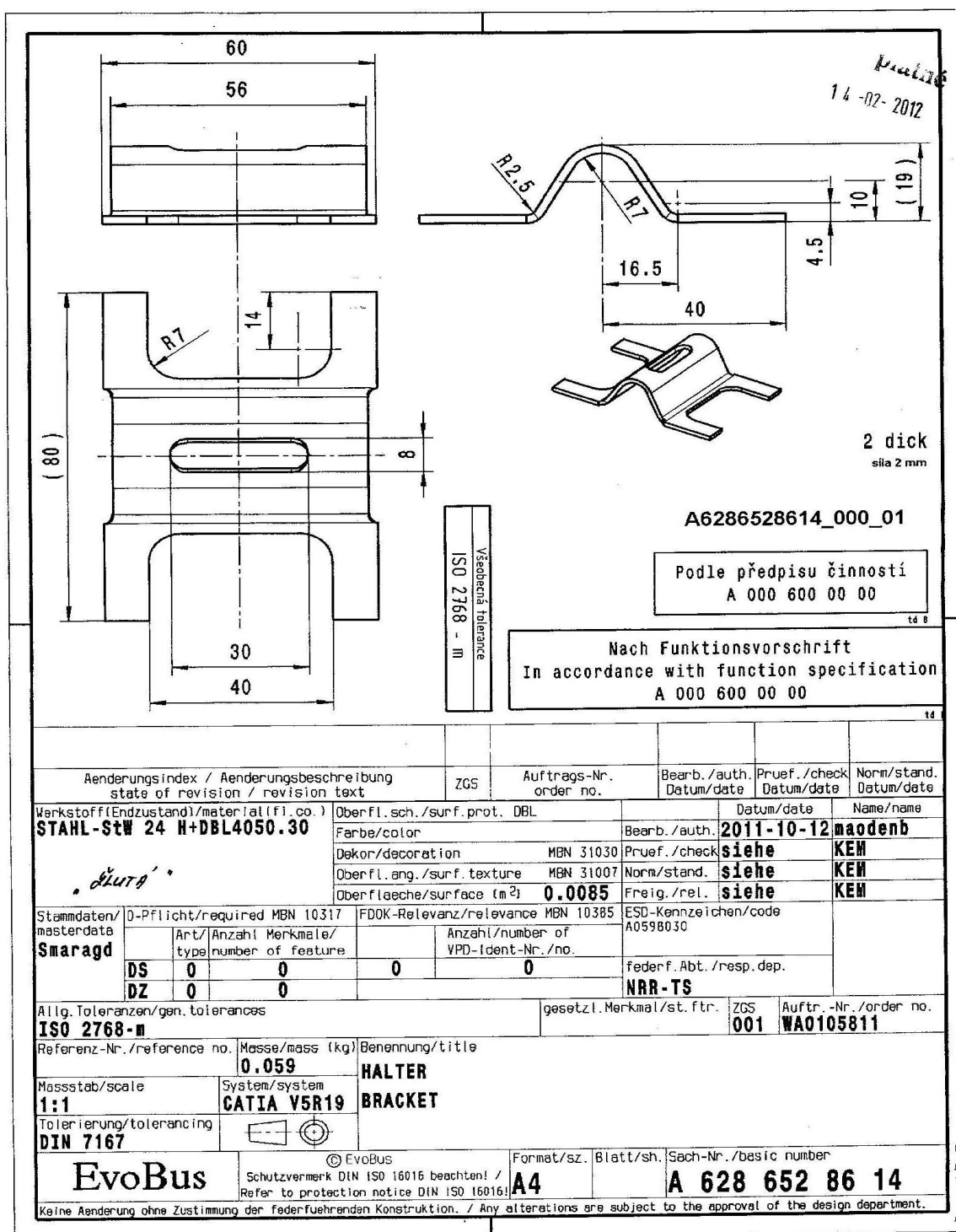
5.1. výlisek

Výrobek pro EvoBus Bohemia s.r.o. vyrábějící se cca v množství 2000 – 3000 na dávku.

Technologický postup:

1. pálení – dle souboru dxf se vypálí požadovaný rozvin
2. lisování – vylisování požadovaného
3. kontrola, expedice zákazníkovi

Na obrázku č. 15 je znázorněn výkres výlisku. Pro realizaci tohoto dílu bylo zapotřebí vyrobit lisovací nástroj. A jen díky přístroji DuraMax jsme byli schopni proměřit díl a tím vypilovat lisovací nástroj.



Obr. č. 15 – výkres výlistku

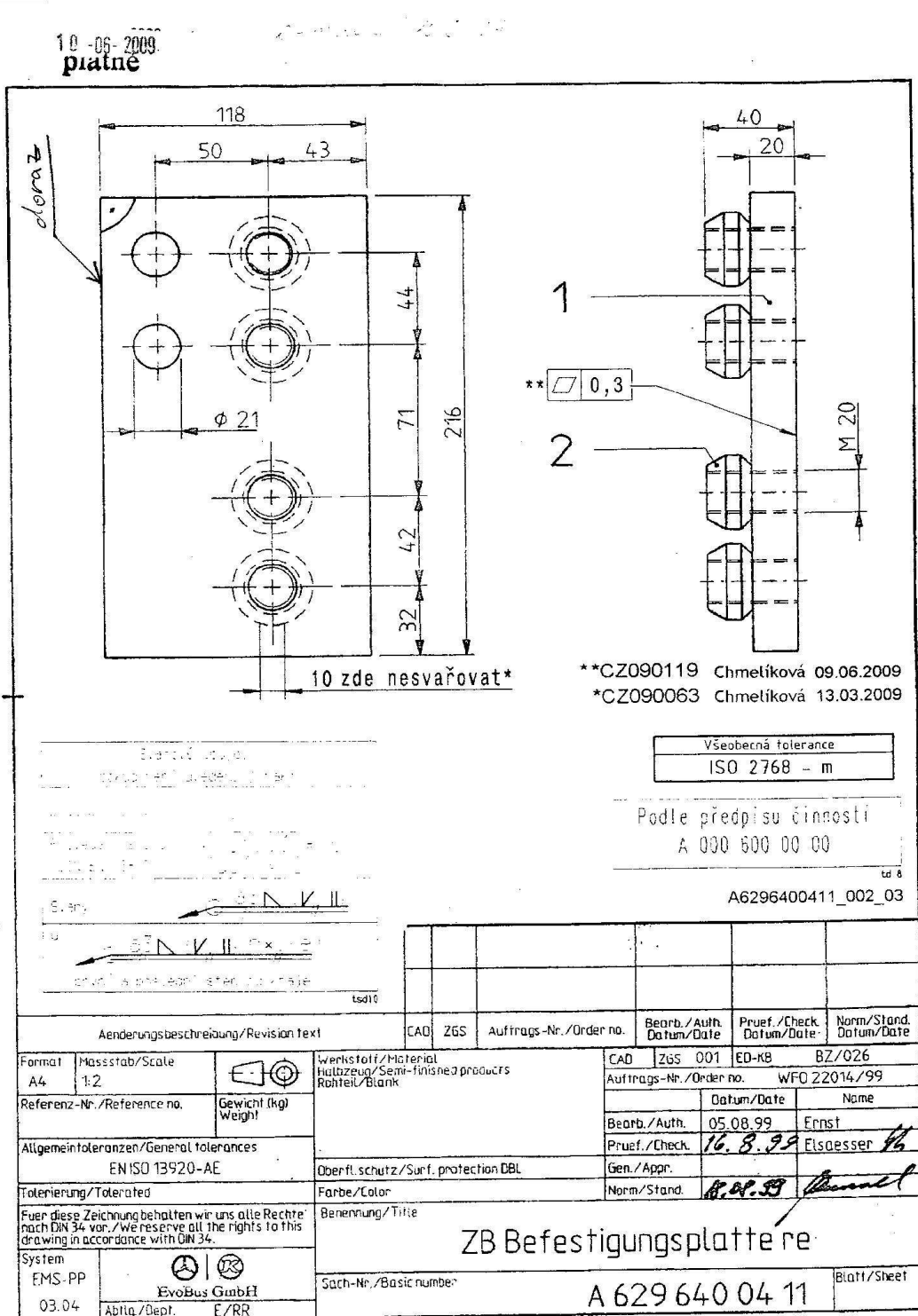
5.2. Svařenec

V druhém případě se jedná o svařenec. Tzv. čočky, kde na vypálené nebo nařezané desce o tl. 20 mm jsou navařené čočky kterými se prořízne závit M20.

Technologický postup:

1. pálení, řezání – na rozměr 219 x 117 mm
2. frézování – ofrézovat z jedné strany
 - otočit ofrézovat na rozměr 216 mm
 - vyvrtat díry 2xD 21 mm a 4xD 16,5 mm
3. soustružení – na obráběcím centru soustružit čočky
4. svařování – přivařit na desku čočky
5. frézování – frézovat rovinnost 0,3 mm
 - vrtat díru 4xD 17,5 a potom vyfrézovat závit M20
6. kontrola – každý kus zkontrolovat kalibrem
 - expedice k zákazníkovi

Na obrázku č. 16 je zobrazen celý svařenec – proměřovaný díl. Zde je důležité udržet předepsanou rovinnost, kterou jsme nyní díky přístroji schopni změřit a dále potom reagovat.



Obr. č. 16 – svařenec čocky

V přílohách jsou přiloženy všechny náměrové protokoly i s výkresy.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s nově zakoupeným 3D měřicím přístrojem DuraMax do firmy KOVO Hrbáček s.r.o., popis stroje, jeho funkce, možnosti a využití v praxi.

V současné době jsme schopni proměřit širokou škálu výrobků bez nutnosti použití a nákupu speciálních kalibrů a různých měrek. Velkou výhodou DuraMaxu je pružná reakce na stále se měnící měřené díly. Měření s DuraMaxem, je také spolehlivější, přesnější, rychlejší a nemalou výhodou je snadná opakovatelnost měření, při spuštění dříve vytvořeného a uloženého programu.

Přístroj DuraMax lze použít také k naší firemní kalibraci různých měrek a šablon, které jsme si vyrobili pro vlastní kontrolu vyráběných dílů. Protokol o naměřených hodnotách potom slouží jako kalibrační list.

V tabulce č. 4 je porovnání 3D přístroje a kalibrů

	Kalibr	DuraMax
Měřicí časy	Různý: Podle zkušenosti a zručnosti	Krátké: Skenování, CNC provoz
Kalibrace	Pracná: Každý kalibr je třeba zvlášť zkalibrovat	Jednoduchá: Zkalibrujeme a lze měřit všechno
Měřicí protokol	Nejednotný: Odlišné dokumenty, málokdy v digitální formě	Jednoduchý: Protokol v digitální formě, můžeme jej ukládat archivovat zasílat emailem
Řízení procesu	Pevně dané: Fixní rozměry	Flexibilní: Variabilní plán měření, možnost řízení a analýzy výrobního procesu
Náklady životního cyklu	Vysoké: Nový kalibr pro každý nový kus	Nízké: Jedná se o jednorázovou investici, ale zároveň o vysokou spolehlivost a přesnost
Flexibilita	Nízká: Nový díl ve výrobě – nutnost nového kalibru, měrek atd.	Vysoká: Jedním strojem změříme bez problémů kdykoliv a cokoliv

Teplotní stabilita	Nedostatečná: Relativní	Vysoká: Teplotně stabilní je do + 30°C, přístroj nevyžaduje speciální měřovou laboratoř
Vliv operátora	Subjektivní	Objektivní
Vliv prostředí (nečistoty)	Kritický: Snadněji dojde ke snížení přesnosti	Ochrana: Bez jakéhokoliv ovlivnění přesnosti

Tab. č. 4 – srovnání kalibrů s DuraMaxem