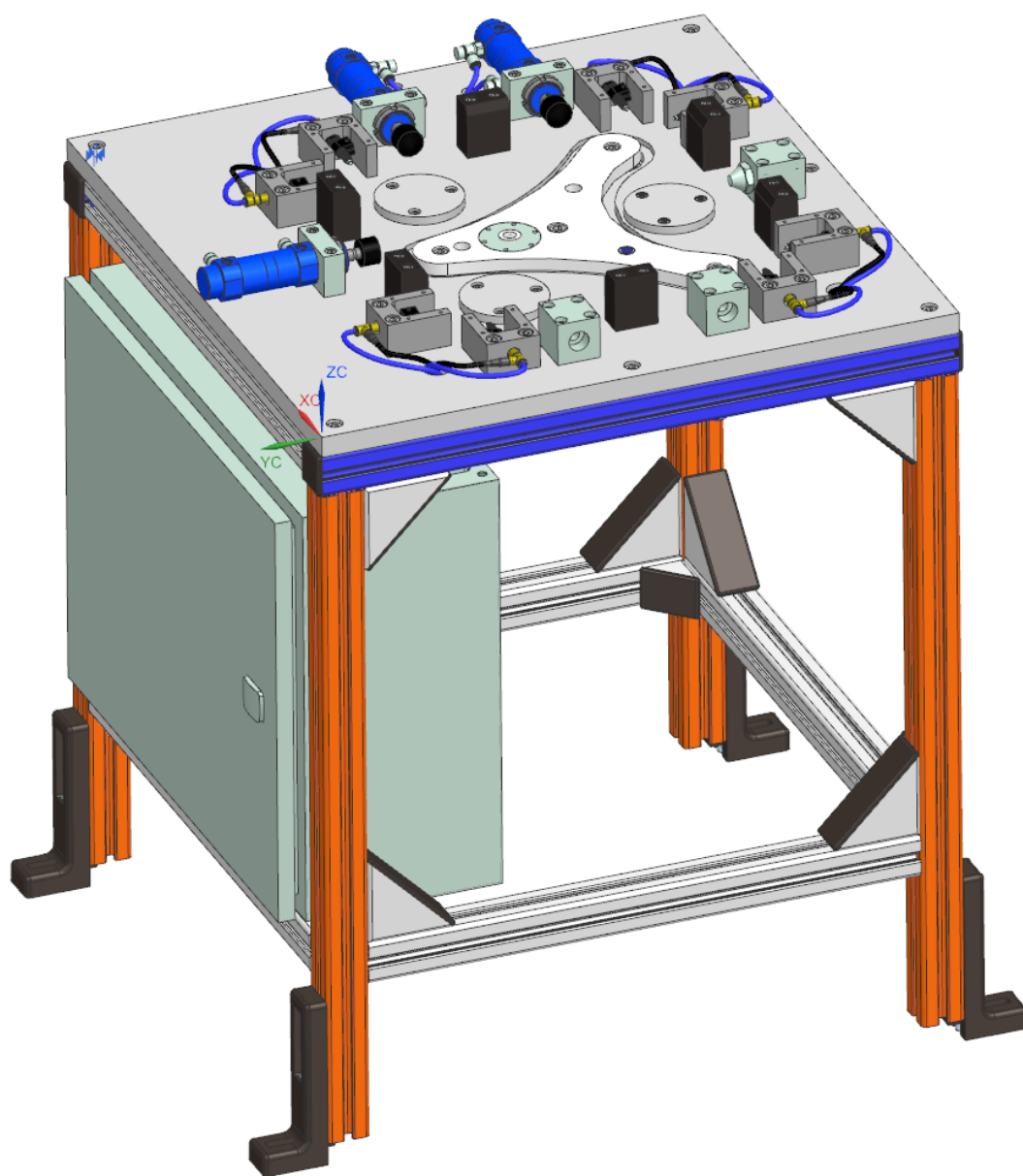




## JEDNOÚČELOVÁ MĚŘICÍ STANICE





## Anotační list

**INTERNÍ ID VÝSTUPU:** 168899  
**PROJEKTOVÉ ID VÝSTUPU:**  
**TYP VÝSTUPU:** Funkční vzorek  
**Název česky:** Jednoúčelová měřicí stanice (JMS 320)  
**Název anglicky:** Single-purpose measuring station  
**Název projektu:** FSI-S-20-6335 - Technologie pro digitální dvojče výrobních systémů

### Partner:

**Jméno(a) autora(ů):** ŠTĚPÁNEK, V.; BRAŽINA, J.; HOLUB, M.; VETIŠKA, J.; JANKOVÝCH, R.; MAREK, T.; TŮMA, J.

### Kontaktní osoba:

**Datum:** 1.2.2021

**Klíčová slova česky:** Pracovní přesnost, měřicí stanice, geometrická přesnost, predikce

**Klíčová slova anglicky:** Working accuracy, measuring station, geometric accuracy, prediction

**Anotace česky:** S rostoucím tlakem na snižování podílu neshodných kusů ve výrobě roste i tlak na zvyšování přesnosti obráběcích strojů, zejména pak té výrobní, kde se projevují všechny okolní vlivy od operátora, vibrací od okolních strojů, opotřebení používaných nástrojů až po změnu teploty stroje a jeho okolí v čase. Pro udržení stálé výrobní přesnosti a zvyšování parametrů popisujících spolehlivost procesu vznikla tato myšlenka vytvořit zpětnovazební smyčku mezi CNC obráběcím strojem, měřením vyrobeného dílce a následné kompenzaci chyby řízením dílčích parametrů CNC stroje za využití průmyslového internetu. Vytvoření jednoúčelové měřicí stanice, která bude připravena na integraci do vyšších celků je prvním krokem ke zlepšení dlouhodobé přesnosti obráběcího stroje.

**Anotace anglicky:** With increasing pressure to reduce the proportion of non-conforming units in production is also growing pressure to increase the accuracy of machine tools, especially the production, which manifests all the ambient influences from the operator, vibrations from neighboring machines, wear tools used to change the temperature of the machine and its surroundings in time. In order to maintain constant production accuracy and increase the parameters describing the reliability of the process, the idea arose to create a feedback loop between the CNC machine tool, measuring the manufactured part and subsequent error compensation by controlling the partial parameters of the CNC machine using the industrial Internet. Creating a single-purpose measuring station that will be ready for integration into higher units is the first step to improve the long-term accuracy of the machine tool.

### Umístění dokumentace:

**Číslo dokumentace:**



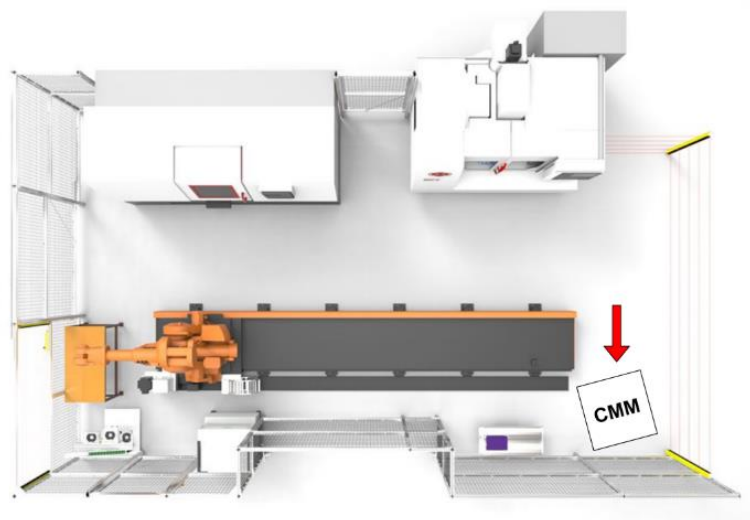
## Obsah

<b>1</b>	<b>Technický popis .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Technické parametry .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Popis využití .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Umístění .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Dokumentace .....</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>12</b>

## 1 Technický popis

Existuje několik definovaných přesností obráběcího stroje. Prvním zástupcem je geometrická přesnost stroje, jež je přímo svázána s konstrukcí a výrobou obráběcího stroje. U tříosého obráběcího stroje je definováno 21 geometrických chyb, které lze do jisté míry softwarově kompenzovat. Přesnost polohování je dalším zástupcem. Vyjadřuje velikost rozdílu mezi požadovanou hodnotou polohy a polohou reálně dosaženou. S přesností polohování souvisí taktéž pojem opakovatelnost. Opakovatelnost najetí na polohu specifikuje schopnost stroje dosáhnout opakovaně totožného bohu. Čím je opakovatelnost horší, tím hůře lze přesnost polohování kompenzovat. [1], [2] Dalším představitelem je přesnost pracovní, která je zkoušena na speciálních obrocích ve výrobním závodě nebo při přejímacích zkouškách. Dlouhodobé chování stroje popisuje následně přesnost výrobní. Výrobní přesnost je určena rozdílem mezi vyrobenými rozměry a rozměry definovanými technickým výkresem konkrétní vyráběné součásti. Tuto přesnost ovlivňují geometrická přesnost, přesnost polohování, pracovní přesnost a okolní vlivy, jako jsou vibrace, teplota, obsluha CNC<sup>1</sup>. [3], [4], [5]

Odhalení pravé příčiny snížení výrobní přesnosti je složité. Přístup řešený v tomto projektu bude iteračně zvyšovat výrobní přesnost obráběcího stroje na základě uzavřené kompenzační smyčky mezi obráběcím strojem a jednoúčelovou měřicí stanicí, což je jedním z mnoha přístupů zvyšování výrobní přesnosti. Navrhované řešení spadá do dlouhodobého interního výzkumného záměru řešeného na Odboru výrobních strojů na ÚVSSR a je součástí dizertační práce pod názvem „Tvorba virtuálního modelu CNC stroje“. Dále předložené téma spadá do aktuálně řešené oblasti „Self-Optimizing Machining Systems“ pod organizací CIRP (THE INTERNATIONAL ACADEMY FOR PRODUCTION ENGINEERING, [www.cirp.net](http://www.cirp.net)). Jednoúčelová měřicí stanice zapadá do koncepce výrobní buňky nacházející se v laboratořích ÚVSSR. Aktuální stav výrobní buňky a umístění měřicího stanoviště je zobrazeno na obrázku níže.



**Obr. 1 Layout automatické výrobní buňky s měřicím zařízením [6]**

<sup>1</sup> CNC- Computer Numerical Control – Počítačem řízený stroj

## 2 Technické parametry

Napájení	AC 1x230V/50Hz
Tlak pneumatického systému	0,6 MPa
Řídící PLC	Siemens Simatic S7-1200
Celkové rozměry	620x600x780 (šxh xv)
Rozměry měřeného dílu	320x320x20 mm
Typ měřicích senzorů	Peter Hirt T102V
Princip měření	induktivní
Měřicí zdvih	±1 mm
Opakovatelnost	0,01 μm
Počet senzorů	4x2=8 (dva senzory na každé straně čtverce)
Vyhodnocovací jednotka	Intronix NX-7092

## 3 Popis využití

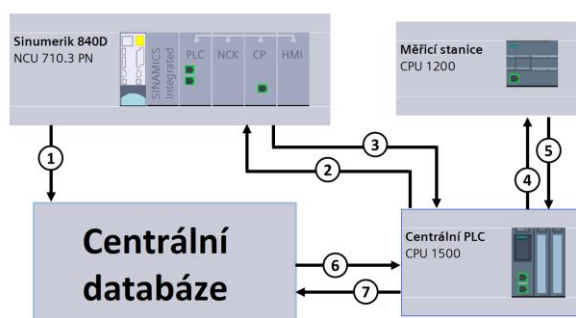
Tato jednoúčelová měřicí stanice je určena pro měření pracovní přesnosti vertikálního obráběcího centra MCV 754 QUICK v laboratořích ústavu Výrobních strojů, systémů a robotiky. Je určena pro měření testovacích kusů se čtvercovým půdorysem 320x320mm. Díky osmi senzorů typu LVDT [7] umístěných po dvojici z každé strany obrobku je možno měřit 4 chyby délky a čtyři chyby úhlové. Je tedy možné vyhodnotit chyby polohování v ose x a y a chybu kolmosti mezi nimi. Jednoúčelová stanice funguje jako porovnávací měřidlo. Před zahájením měření je nutné stanici kalibrovat na připraveném etalonu a je sledována pouze změna tvaru vyrobeného kusu vůči známému standardu.

## 4 Výsledky

Výsledky rešerše současného stavu poznání a prvky kompenzace s využitím zpětnovazební smyčky mezi měřicím zařízením byly aplikovány při zpracování článku s názvem: Precision in Additive Manufacturing, Optimization and Evaluation of the Accuracy of 3D Printer based on GPS System, který byl vytvořen ve spolupráci s technickou univerzitou ve Vídni v rámci projektu AKTION Rakousko-ČR. Článek byl následně prezentován na 31. konferenci DAAAM a publikován ve sborníku z této konference [8]. Tímto děkuji ještě jednou prof. Numanu Durakbasovy za bezproblémový průběh stáže, pomoc a odborné rady při vypracování článku s mezinárodní účastí autorů a jeho financování.

## 5 Umístění

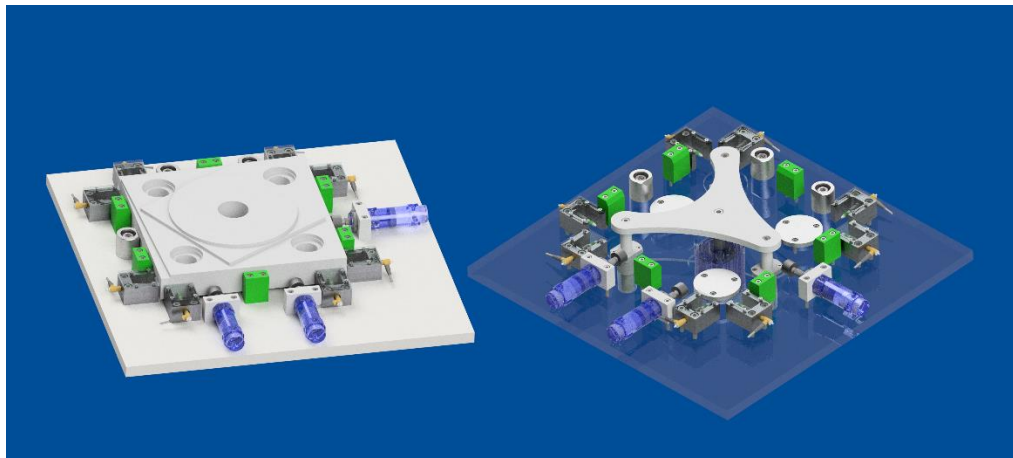
Jednoúčelová měřicí stanice byla zakomponována do výrobní buňky v laboratořích ústavu Výrobních strojů, systémů a robotiky. Již fáze návrhu kladla důraz na kompatibilitu zařízení v rámci buňky, aby bylo omožněno snadné sdílení dat v rámci systému.



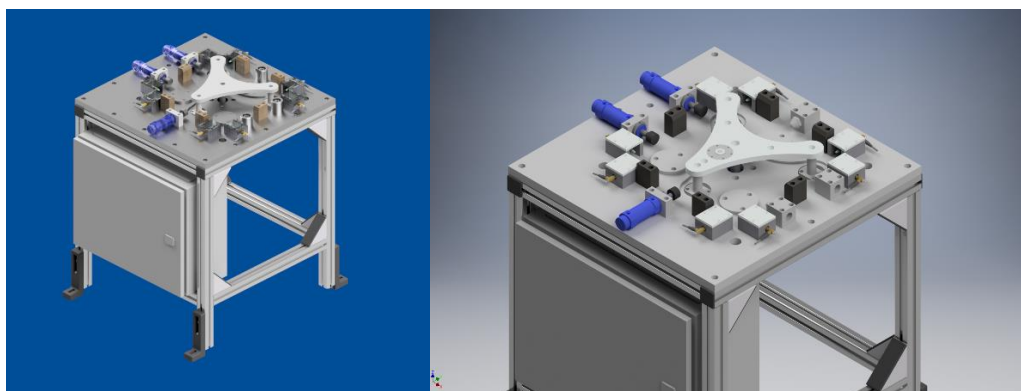
Obr. 2 Struktura toku dat v rámci výrobní buňky

## 6 Dokumentace

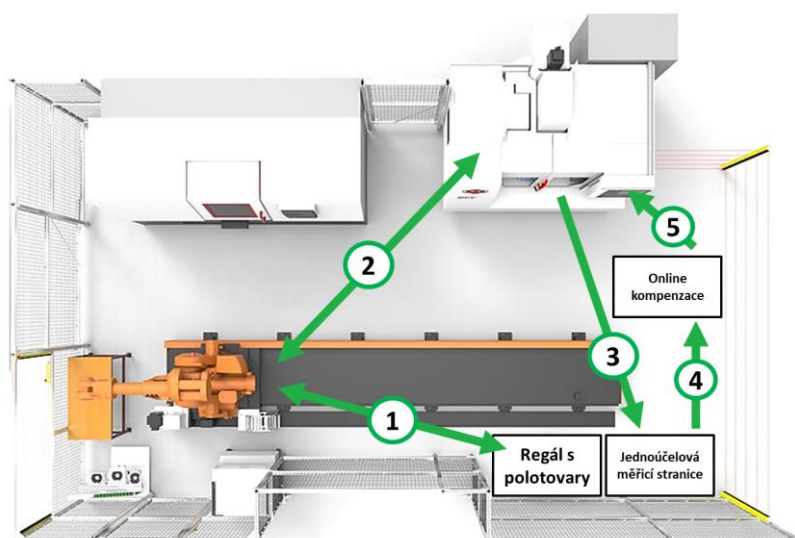
### 6.1 Vytvoření virtuálního modelu měřicí stanice



Obr. 3 Konceptuální řešení JMS



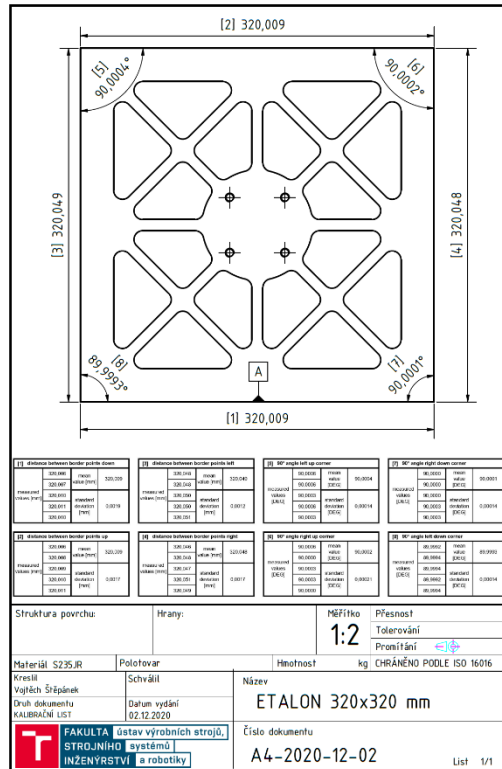
Obr. 4 Virtuální model JMS



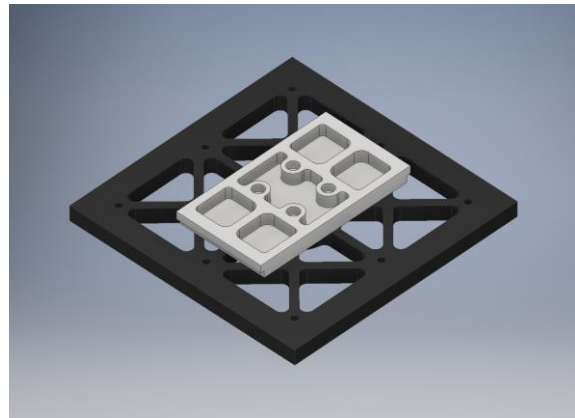
Obr. 5 Kontext v rámci výrobní buňky ÚVSSR



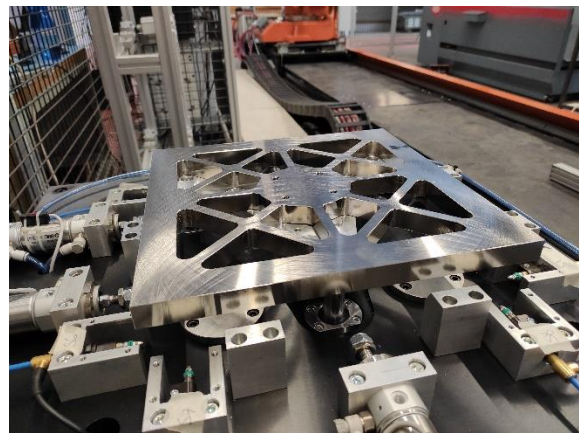
## 6.2 Vytvoření algoritmu vyhodnocení geometrických chyb na obrodku



Obr. 6 Kalibrační list standardního kusu



Obr. 7 Virtuální model standardního kusu s upínačem pro robot

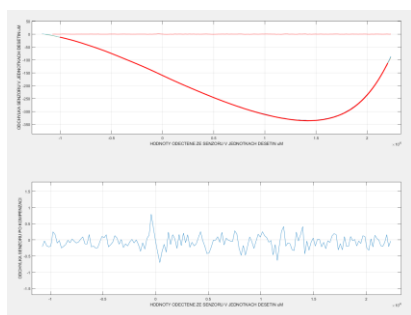


Obr. 8 Standardní kus (etalon) při procesu zakládání do měřicí stanice

### 6.3 Kompenzace linearity senzorů



**Obr. 9 Optika laserového interferometru XL-80 pro kalibraci snímačů**



**Obr. 11 Porovnání dat před a po kompenzaci linearity senzoru LVDT**

```

% for i=1:rozmerzy_SENZ(1)
% Y_MODUS(i)=mode(SENZ_DIFF_COMP(1,1,OPTIMUM_INDEX)); end

%% VYKRESLENÍ VÝSLEDKŮ

figure(1)
subplot(2,1,1)

plot(SENZ_RAW(5:175,:),SENZ_DIFF(5:175,:));
grid on
axis([min(min(SENZ_RAW(5:175,:)))-1000 max(max(SENZ_RAW(5:175,:)))+1000 min(min(SENZ_DIFF(5:175,:)))-50 max(max(SENZ_DIFF(5:175,:)))+50])
hold on
plot(X_MEAN(10:175),Y_MEAN(10:175),'r-');
xlabel('HODNOTY ODECTENE ZE SENZORU V JEDNOTKACH DESETIN uM')
ylabel('ODCHYLKA SENZORU V JEDNOTKACH DESETIN uM')

subplot(2,1,2)
plot(X_MEAN(10:175),Y_MEAN(10:175));
grid on
axis([min(X_MEAN(10:175))-1000 max(X_MEAN(10:175))+1000 min(Y_MEAN(10:175))-1 max(Y_MEAN(10:175))+1])
ylabel('ODCHYLKA SENZORU PO KOMPENZACI')

% subplot(2,2,3) plot(X_MEDIAN(10:175),Y_MEDIAN(10:175)) grid on
% axis([-13000 25000 -2 2])
%
% subplot(2,2,4) plot(X_MODUS(10:175),Y_MODUS(10:175)) grid on
% axis([-13000 25000 -2 2])

%% ZAPSANI VÝSLEDKŮ DO SOUBORU
h

%% testovani
for i=1:100000
A(i)=round(i*rand()*164);
B(i)=round(i*rand()*5);
C(i)=round(i*rand()*164);
D(i)=round(i*rand()*5);

for j=1:rozmerzy_SENZ(2)
eval(j)=polyval(p_PRUMER(OPTIMUM_INDEX,1:OPTIMUM_INDEX+1,j),SENZ_RAW(A(i)+10,B(i)));
end
eval_A=mean(eval(:));

for j=1:rozmerzy_SENZ(2)
eval(j)=polyval(p_PRUMER(OPTIMUM_INDEX,1:OPTIMUM_INDEX+1,j),SENZ_RAW(C(i)+10,D(i)));
end
eval_C=mean(eval(:));

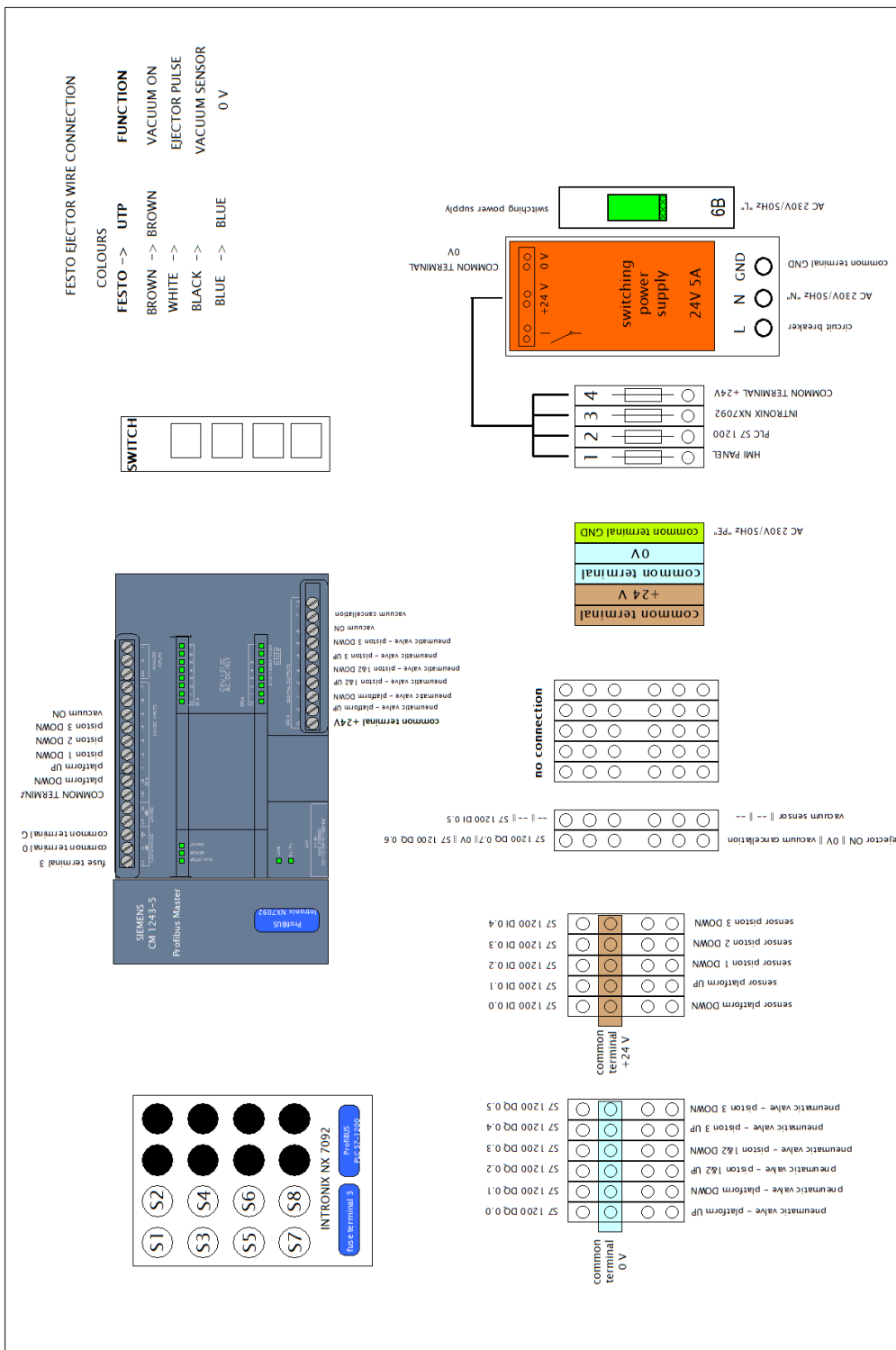
delta_C(i)=-((SENZ_RAW(A(i)+10,B(i))+eval_A)-(SENZ_RAW(C(i)+10,D(i))+eval_C))-((INTF_RAW(A(i),B(i))-INTF_RAW(C(i),D(i)))*10000);
end

```

**Obr. 10 Ukázka kódu z prostředí Matlab pro generování kompenzačních tabulek**

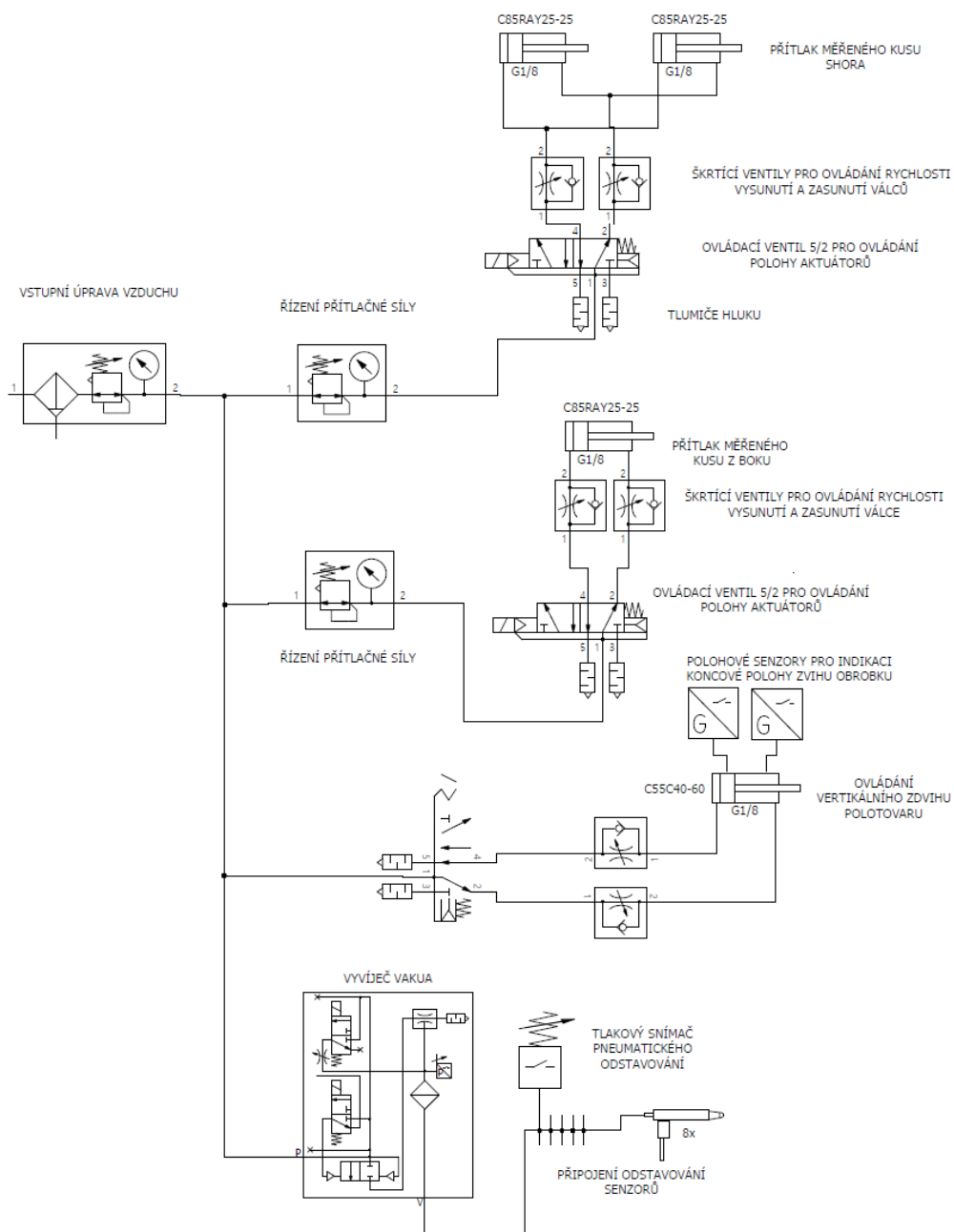


## 6.4 Vytvoření funkčního vzorku reálné měřicí stanice - elektroschéma



Obr. 12 Uspořádání prvků rozvaděče

## 6.5 Vytvoření funkčního vzorku reálné měřicí stanice – pneumatické schéma



**Obr. 13 Pneumatické schéma**

## 6.6 Vytvoření funkčního vzorku reálné měřicí stanice – funkční vzorek v kontextu výrobní buňky Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky



Obr. 14 Detail pneumatického obvodu



Obr. 15 Detail elektrického rozvaděče



Obr. 16 Jednoučelová měřicí stanice v kontextu výrobní buňky ústavu Výrobních strojů, systémů a robotiky

## 7 Seznam obrázků

Obr. 1 Layout automatické výrobní buňky s měřicím zařízením [6] .....	4
Obr. 2 Struktura toku dat v rámci výrobní buňky .....	5
Obr. 3 Konceptuální řešení JMS .....	6
Obr. 4 Virtuální model JMS .....	6
Obr. 5 Kontext v rámci výrobní buňky ÚVSSR .....	6
Obr. 6 Kalibrační list standardního kusu .....	7
Obr. 7 Virtuální model standardního kusu s upínačem pro robot .....	7
Obr. 8 Standardní kus (etalon) při procesu zakládání do měřicí stanice .....	7
Obr. 9 Optika laserového interferometru XL-80 pro kalibraci snímačů .....	8
Obr. 10 Ukázka kódu z prostředí Matlab pro generování kompenzačních tabulek .....	8
Obr. 11 Porovnání dat před a po kompenzaci linearity senzoru LVDT .....	8
Obr. 12 Uspořádání prvků rozvaděče .....	9
Obr. 13 Pneumatické schéma .....	10
Obr. 14 Detail pneumatického obvodu .....	11
Obr. 15 Detail elektrického rozvaděče .....	11
Obr. 16 Jednoúčelová měřicí stanice v kontextu výrobní buňky ústavu Výrobních strojů, systémů a robotiky ..	11

## 8 Použitá literatura

- [1] ANDRÝSEK, J. Nasazení pokročilých kompenzací na stroji MCV 754 QUICK, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 73 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Guláš, Ph.D.
- [2] Snížení tolerance nepřesností. Technicky tydeník [online]. Praha: Business Media CZ, 2006 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/snizeni-tolerance-nepresnosti\\_18086.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/snizeni-tolerance-nepresnosti_18086.html)
- [3] HOLUB, Michal, Josef KNOBLOCH a Jiří PERNIKÁŘ. GTS - Testování obráběcích strojů [Podklady k výuce]. Brno: VUT, 2015.
- [4] GROOS Lisa, Christian HELD, Frank KELLER, Klaus WENDT, Matthias FRANKE, Norbert GERWIEN. Mapping and compensation of geometric errors of a machine tool at different constant ambient temperatures, Precision Engineering, 2020, 63 s, ISSN 0141-6359. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.01.001>.
- [5] MUTILBA Unai, Alejandro SANDÁ, Ibon VEGA, Eneko GOMEZ-ACEDO, Ion BENGOETXEA, Jose A. Yagüe FABRA. Traceability of on-machine tool measurement: Uncertainty budget assessment on shop floor conditions, Measurement, 2019, 135 s, ISSN 0263-2241. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.042>.
- [6] BRAŽINA, Jakub. Virtuální zprovoznění výrobního systému [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116785>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.
- [7] NX-7092 - Univerzální měřicí modul. Intronix [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <http://www.intronix.cz/?page=NX7092&lang=CZ>
- [8] BODUR, Osman, Vojtěch ŠTĚPÁNEK, Eva Maria WALCHER a Numan DURAKBASA. Precision in Additive Manufacturing, Optimization and Evaluation of the Accuracy of 3D Printer based on GPS System. Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium [online]. Viena, 2020, 31, 963-972 [cit. 2021-01-08]. ISSN 1726-9679. Dostupné z: [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2020/134.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2020/134.pdf)