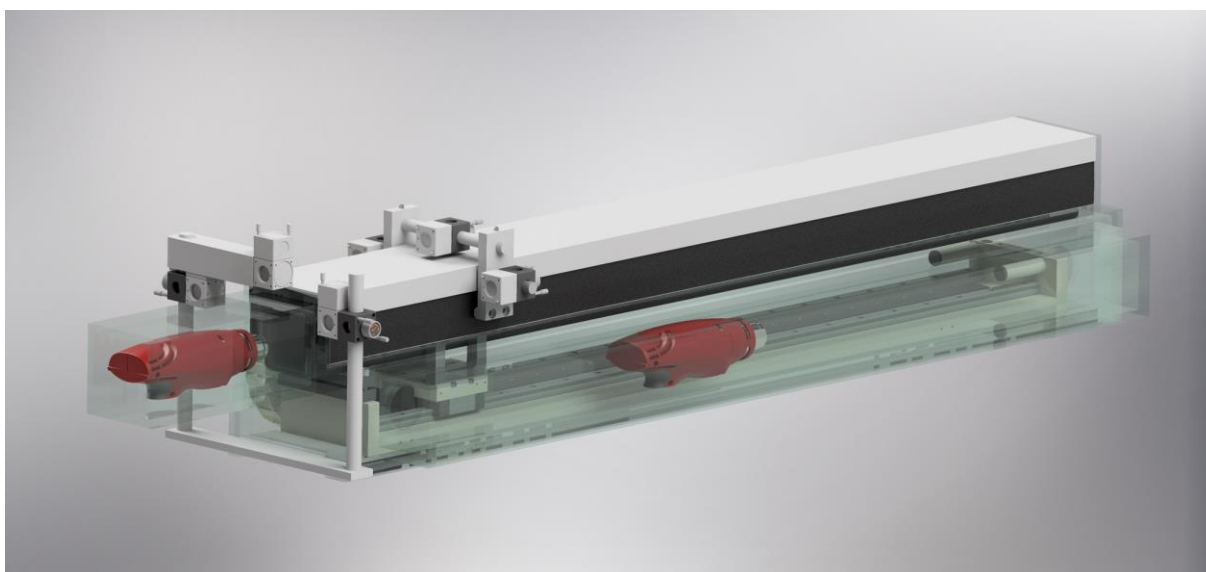




LINEÁRNÍ OSA S TEPLOTNÍM MANAGEMENTEM





Anotační list

INTERNÍ ID VÝSTUPU:	168902
PROJEKTOVÉ ID VÝSTUPU:	
TYP VÝSTUPU:	Funkční vzorek
Název česky:	Lineární osa s teplotním managementem
Název anglicky:	Linear axis with temperature management
Název projektu:	FSI-S-20-6335 - Technologie pro digitální dvojče výrobních systémů
Partner:	
Jméno(a) autora(ů):	ŠTĚPÁNEK, V.; HOLUB, M.; VETIŠKA, J.; BRADÁČ, F.; MAREK, J.
Kontaktní osoba:	
Datum:	1.2.2021
Klíčová slova česky:	geometrické chyby, lineární enkodéry, teplotní roztažnost, predikce
Klíčová slova anglicky:	geometric errors, linear encoders, thermal expansion, prediction
Anotace česky:	<p>Přesnost CNC obráběcího stroje je funkce mnoha geometrických chyb, které se vyskytují v kinematickém řetězci. Mezi 21 geometrických chyb tříosého stroje patří úhlové chyby rotace kolem pohybové osy (naklápění, klopení a natáčení), chyby přímostí, kolmostí os vůči sobě či chyby polohování. Právě chybě najetí do polohy v ose, označované EXX, EYY a EZZ, je věnován vytvořený funkční vzorek. V případě, že je obráběcí stroj vybaven přímým odměřováním polohy, má přesnost lineárního enkodéru významný vliv na chybu najetí do polohy v ose.</p>
Anotace anglicky:	<p>The accuracy of a CNC machine tool is a function of many geometric errors that occur in the kinematic chain. The 21 geometric errors of a three-axis machine include angular errors of rotation around the axis of motion (tilting, tilting and turning), errors of straightness, perpendicularity of axes to each other or positioning errors. It is the error of approach to the position in the axis, called EXX, EYY and EZZ, that is devoted to the created functional pattern. If the machine tool is equipped with direct position measurement, the accuracy of the linear encoder has a significant effect on the axis approach error.</p>
Umístění dokumentace:	
Číslo dokumentace:	

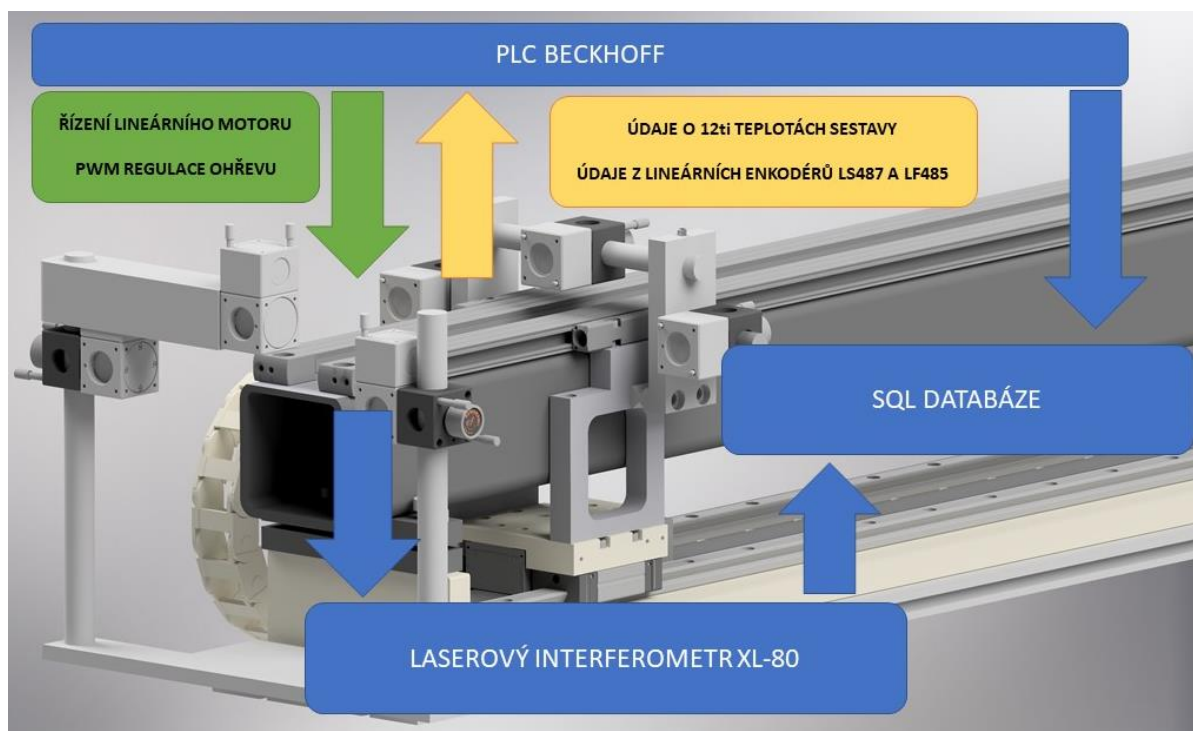


Obsah

1	Technický popis	4
2	Technické parametry	5
3	Popis využití	5
4	Provedené testy	5
5	Umístění	6
6	Dokumentace	7
7	Seznam obrázků	9

1 Technický popis

Na pevné hliníkové základně je umístěn lineární motor Beckhoff AL 2403, který v sestavě slouží k vytvoření lineárního translačního pohybu. Na jezdcí motoru je umístěna konzola, která je přímo spojena s jezdcí lineárních enkodérů. Druhá část kinematického řetězce je tvořena ocelovým čtvercovým profilem $\square 80 \times 1400$ mm, na kterém jsou umístěny lineární enkodéry LS487 a LF485 o měřicím rozsahu 1200 mm od firmy Heidenhain. Čtvercový profil je na jedné straně pevně spojen se základovým tělesem, na straně druhé je umožněn pohyb ve směru pohybové osy pro eliminaci pnutí a úhlových deformací profilu. Čtvercový profil je osazen na pevné straně zdrojem teplého vzduchu pro vytváření teplotního gradientu a měření odezvy lineárního enkodéru na změny teploty. Pro řízení sestavy byl použit systém Beckhoff, který umožňuje řízení lineární osy či odměřování polohy pravítek LF487 a LF 485 za pomoci dvojice servo driverů AX5203 a AX5103. Teplotní mapa je vytvořena pomocí 11 teplotních čidel PT100 pomocí terminálů EL3202-0020 a řízení teploty čtvercového profilu, teploty okolí a teploty přiváděného vzduchu je zprostředkováno pomocí čtveřice PID¹ regulátorů. Celé řízení je programováno v prostředí TwinCAT3 včetně HMI² pro ovládání ručního pohybu, testů a řízení teploty. Celé programové řešení uzavírá zápis žádaných dat do SQL databáze za pomoci modulu TF6420 - TwinCAT 3 Database Server.



Obr. 1 Schéma řízení měřicí soustavy

¹ PID - Proportional Integral Derivative – Proporcionálně Integrovačně Derivační regulátor

² HMI – Human Machine Interface – rozhraní mezi strojem a uživatelem

2 Technické parametry

Technická specifikace lineární osy s teplotním managementem

Napájecí napětí	1x230V AC / 50Hz
Tlak pneumatického systému	0,6 MPa
Spotřeba vzduchu	14-20l/min
Řídicí PLC	Beckhoff (AX5203, AX5103, EL3202-0020)
Měřicí rozsah	1000 mm
Rozsah pracovních teplot	T= 0-50 °C
Použité lineární enkodéry	LS487, LF485
Maximální rychlost polohování	$V_{max} = 100$ mm/s

Technická specifikace enkodérů LS487 a LF485

Typ pravítka	<i>LF 485</i>	<i>LS 487</i>
Materiál substrátu	Nerezová ocel	Sklo
Teplotní koeficient	$\alpha=10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$\alpha=8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Typ mřížky	SUPRADUR	DIADUR
Přesnost mřížky	$\pm 5 \mu\text{m}, \pm 3 \mu\text{m}$	$\pm 5 \mu\text{m}, \pm 3 \mu\text{m}$
Měřená délka	1220 mm	1220 mm
Celková délka	1358 mm	1358 mm
Perioda signálu	4 μm	20 μm
Rozhraní	1 V _{pp}	1 V _{pp}
Rychlost pohybu	≤ 60 m/min	≤ 120 m/min
Rozsah pracovní teploty	0-50 °C	0-50 °C
Stupeň krytí dle ČSN EN 60529	IP64	IP64
Doporučený průtok vzduchu	7-10 l/min	7-10 l/min

3 Popis využití

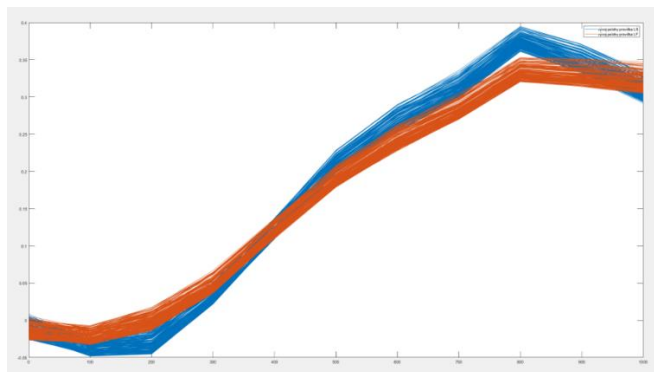
Linární osa s teplotním managementem slouží pro simulaci teplotního zatěžování lineárních enkodérů. Série měření umožňuje vytvoření modelu teplotního chování lineárního enkodéru. Tento model lze následně aplikovat do řídicího systému CNC stroje a kompenzovat chybu přesnosti polohování, která vzniká vlivem teplotního gradientu na prvky přímého lineárního odměřování.

Implementovaný systém řízení lineárního motoru umožňuje různé varianty testů kombinováním polohovacích a zahřívacích cyklů nezávisle na sobě. Implementovaný NC systém je plně kompatibilní s laserovým systémem Renishaw XL-80. Je tedy možné jako referenční hodnoty polohy použít výsledky ze systému CARTO.

4 Provedené testy

Ověření vlivu teploty okolí na poziční odezvu lineárního enkodéru

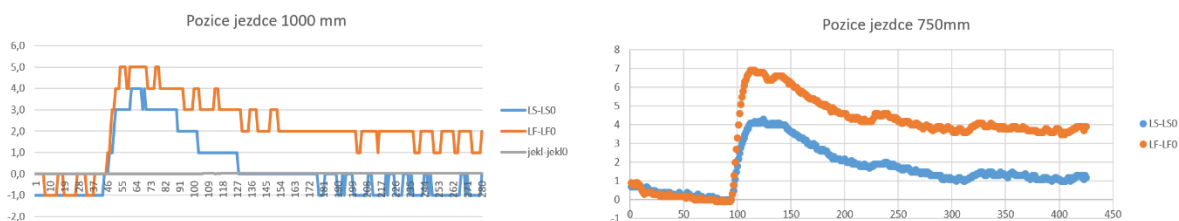
Počátečním experimentem s pravítky LS487 a LF485 bylo ověření projevu změny teploty okolí na poziční odchylce. Pro tyto účely bylo užito klimatizované komory, ve které byla pozvolna snižována teplota okolí z $T_{okoli} = 26 \gg 23$ °C. Při tomto testu byly získány křivky, které potvrzují projev rozdílu teplotních roztažností jednotlivých stupnic a samozřejmě závislost odměřované hodnoty pozice v závislosti na teplotě okolí. Osa X v grafu níže určuje pozici pravítka v rozmezí 0-1000 mm. Na ose Y jsou vyneseny grafy jednotlivých pravítek. Lze pozorovat teplotní drift hodnoty a také větší rozptyl hodnot v krajních oblastech.



Obr. 2 Rozdíl teplotního driftu pravítek LS487 (skleněná stupnice) a LF485 (ocelová stupnice)

Ověření vlivu teploty vzduchu vstupujícího do pravítek

Dalším testem byl projev teploty vzduchu vstupujícího do pravítek. Tento test byl proveden na základě myšlenky, že vzduch přicházející z kompresorovny může být závislý ročním období (léto/zima). Experiment probíhal za konstantní teploty okolí. Nejprve proběhlo ustálení za přívodu vzduchu o teplotě 22 °C a následně se do pravítek zprava začal přivádět vzduch ohřátý na 45 °C při zachování doporučeného průtoku 7-10 l/min. Přívod teplého vzduchu se projevil téměř skokově ihned po začátku procesu ohřevu. Po začátku ohřevu bylo dosaženo maximální odchylky, která se dále v čase stabilizovala a snižovala. S největší pravděpodobností je tento průběh způsoben vytvořením velkého teplotního gradientu na začátku stupnice. Konec stupnice se na počátku testu prudce ohřeje a roztáhne, což způsobí skokový nárůst roztažení konce stupnice, postupným prohříváním stupnice a těla pravítka od konce dochází k ohřátí a natažení větší části stupnice či těla a snižování skokového nárůstu odchylky. Tento jev potvrzuje i porovnání poloh 1000 mm a 750 mm.

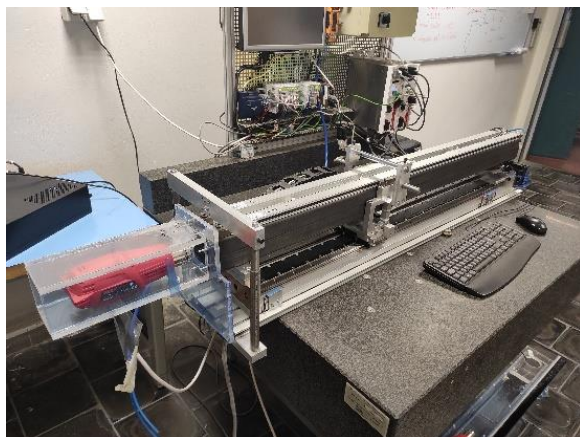


Obr. 3 Průběh měřené hodnoty polohy při ohřevu konce pravítka temperovaným vzduchem

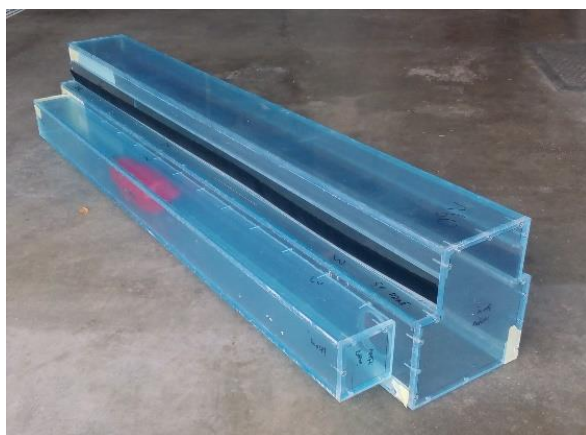
5 Umístění

Lineární osa s teplotním managementem je umístěna v laboratořích ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky. Navrhované řešení spadá do dlouhodobého interního výzkumného záměru řešeného na odboru výrobních strojů na ÚVSSR a je součástí dizertační práce pod názvem „Problematika teplotní kompenzace lineárního enkodéru obráběcího centra“. Dále předložené téma spadá do aktuálně řešené oblasti „Self-Optimizing Machining Systems“ pod organizací CIRP (THE INTERNATIONAL ACADEMY FOR PRODUCTION ENGINEERING, www.cirp.net).

6 Dokumentace



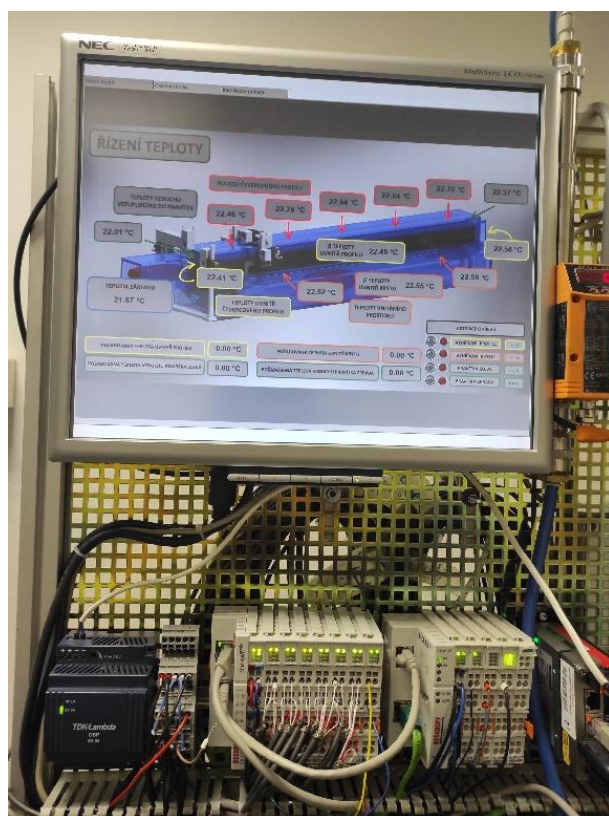
Obr. 4 Měřicí stanice s horkovzdušným ohřevem čtvercového profilu zleva



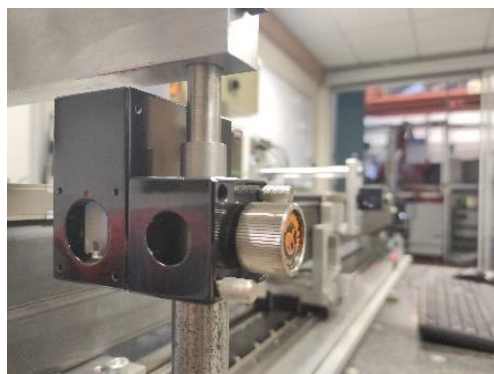
Obr. 6 Kryt měřicí stanice s možností simulace změny okolního prostředí



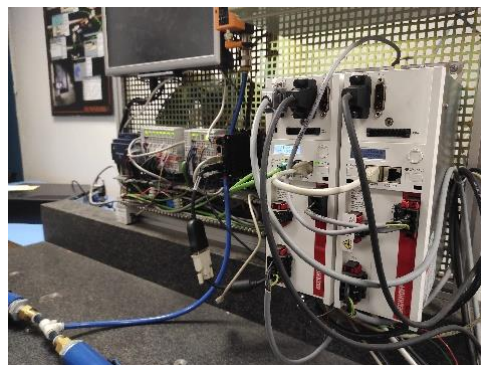
Obr. 5 Sestava laserového interferometru XL-80



Obr. 7 Řídicí PLC Beckhoff vč. ukázky HMI pro řízení ohřevu v průběhu testu



Obr. 8 Detail sestavy lineární optiky interferometru



Obr. 9 Měníče AX5203 a AX5103 pro řízení pohybu a odečítání pozice z enkodérů LS487 a LF485



7 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma řízení měřicí soustavy	4
Obr. 2 Rozdíl teplotního driftu pravítek LS487 (skleněná stupnice) a LF485 (ocelová stupnice)	6
Obr. 3 Průběh měřené hodnoty polohy při ohřevu konce pravítka temperovaným vzduchem.....	6
Obr. 4 Měřicí stanice s horkovzdušným ohřevem čtvercového profilu zleva	7
Obr. 5 Sestava laserového interferometru XL-80.....	7
Obr. 6 Kryt měřicí stanice s možností simulace změny okolního prostředí	7
Obr. 7 Řídící PLC Beckhoff vč. ukázky HMI pro řízení ohřevu v průběhu testu	8
Obr. 8 Detail sestavy lineární optiky interferometru	8
Obr. 9 Měníče AX5203 a AX5103 pro řízení pohybu a odečítání pozice z enkodérů LS487 a LF485	8