

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Zabezpečování jakosti

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření úchylek rovinnosti na obráběcích strojích ve firmě TOS Kuřim OS a.s.

Autor: **Ondřej Dyk**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování za pomoc při řešení bakalářské práce

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Pospěchovi Ph.D. za cenné konzultace v průběhu jejího řešení. Velké díky patří také zaměstnancům firmy TOS Kuřim, kteří se se mnou ochotně podělili o informace, z nichž jsem těžil – jmenovitě panu Petru Kotasovi z odd. těžké mechaniky.

Děkuji také pedagogickým pracovníkům ZČU, kteří mi předali vědomosti, jež vytvořily základ, na němž jsem mohl svou práci postavit. V neposlední řadě patří poděkování také mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Dyk	Jméno Ondřej		
STUDIJNÍ OBOR	B2341 - Zabezpečování jakosti			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Pospěch, Ph.D.	Jméno Zdeněk		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Měření úchylek rovinnosti na obráběcích strojích ve firmě TOS Kuřim OS a.s.			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	61	TEXTOVÁ ČÁST	44	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS	Bakalářská práce rozebírá současnou metodiku měření rovinnosti dílců obráběcích strojů v TOS Kuřim-OS a.s., uvádí požadavky norem pro měření přímosti a rovinnosti, srovnává metody použité pro měření rovinnosti v jiných výrobních podnicích a přináší návrhy na zlepšení současné metodiky
KLÍČOVÁ SLOVA	rovinnost, přímost, TOS Kuřim, měření, autokolimátor, libela, obráběcí stroj

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Dyk	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	B2341 – Quality Control		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Pospěch, Ph.D.	Name Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Measurement of flatness on machine tools in TOS Kuřim OS a.s. company		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	61	TEXT PART	44	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis analyze actual method for measuring of flatness on workpieces of machine tools in TOS Kuřim-OS a.s. company, it introduces the requirements of the standards for measurement of straightness and flatness, it compares methods for measuring of flatness in various companies and as result it brings advices for improvement of current method
KEY WORDS	flatness, straightness, measuring, TOS Kuřim, autocollimator, digital level, machine tool

Obsah


1 ÚVOD	11
1.1 HISTORIE A SOUČASNOST TOS KUŘIM	11
1.2 ROVINNOST A PŘÍMOST	14
1.3 VÝZNAM DODRŽENÍ ÚCHYLEK ROVINNOSTI U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	14
1.4 TYPY VEDENÍ LINEÁRNÍCH OS	14
1.4.1 Kluzně-valivé vedení.....	15
1.4.2 Lineární valivé vedení	15
1.4.3 Hydrostatické vedení	15
1.5 TYPY FRÉZEK VYRÁBĚNÝCH V TOS KUŘIM	16
2 SOUČASNÝ STAV	17
2.1 ROVINNOST A PŘÍMOST VE VZTAHU K OBRÁBĚCÍM STROJŮM.....	17
2.2 DOSAHOVANÉ PŘÍMOSTI A ROVINNOSTI PLOCH.....	17
2.3 POUŽÍVANÉ MĚŘÍCÍ POSTUPY	18
2.3.1 Měření přímosti autokolimátorem.....	18
2.3.2 Měření přímosti digitální libelou.....	19
2.4 UKÁZKA MĚŘENÍ ROVINNOSTI NA MODELOVÉM PŘÍKLADU	19
2.4.1 Zhodnocení použité metody měření.....	23
3 NORMY PRO MĚŘENÍ ROVINNOSTI A PŘÍMOSTI	24
3.1 NORMY PRO MĚŘENÍ PŘÍMOSTI	24
3.2 NORMY PRO MĚŘENÍ ROVINNOSTI.....	24
3.3 NORMA PRO MĚŘENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	24
3.4 VÝVOJ NOREM PRO MĚŘENÍ ROVINNOSTI A PŘÍMOSTI	25
4 METODIKY MĚŘENÍ ROVINNOSTI	26
4.1. PŘÍMOST	26
4.1.1 Měření na souřadnicovém měřícím stroji.....	26
4.1.2 Měření úchylkoměrem od průměrného pravítka.....	26
4.1.3 Měření úchylkoměrem nebo základními měrkami od průměrné desky.....	27
4.1.4 Měření komparačním měřidlem s několika úchylkoměry	27
4.1.5 Měření mikroskopem od napnuté měřicí struny	27
4.1.6 Měření fotoelektrickým způsobem od světelného paprsku.....	28
4.1.7 Měření diferenciálně zapojenými hydrostatickými výškoměry	28
4.1.8 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a vodováhou	28
4.1.9 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a autokolimátorem	29
4.1.10 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a laserinterferometrem.....	29
4.1.11 Měření třibodovým měřícím můstkem a vodováhou	29
4.1.12 Kontrola vlasovým pravítkem.....	30
4.2 STRATEGIE URČENÍ ROVINNOSTI METODAMI MĚŘENÍ PŘÍMOSTI.....	30
4.2.1 Strategie extrahování pravouhloú mřížkou	30
4.2.2 Strategie extrahování polární mřížkou	30
4.2.3 Strategie extrahování trojúhelníkovou mřížkou.....	31
4.2.5 Strategie extrahování body.....	31
4.2.4 Strategie extrahování mřížkou Union Jack.....	31
4.3 ROVINNOST	31
4.3.1 Měření dvoubodovým můstkem a vodováhou	31
4.3.2 Měření na souřadnicovém měřícím stroji.....	32
4.3.3 Měření koncovými měrkami rovnoběžnými od průměrného pravítka.....	32
4.3.4 Měření úchylkoměrem od průměrného pravítka.....	32

4.3.5 Měření úchylkoměrem upnutým ve speciálním stojánku od základní roviny vytvořené třemi průměrnými pravítky a vodováhou.....	33
4.3.6 Měření komparačním měřidlem s několika úchylkoměry	33
4.3.7 Měření zaměřovacím dalekohledem vodováhou a se záměrným terčem	34
4.3.8 Měření zaměřovacím dalekohledem ve svislé poloze s pentagonálním hranolem a se záměrným terčem	34
4.3.10 Komparační měření rámem s úchylkoměry	34
4.3.13 Interferenční metoda kontroly planparalelní skleněnou deskou.....	35
4.3.15 Kontrola průměrnou deskou na barvu.....	35
4.4 NOVÉ METODY.....	35
4.4.1 Laserinterferometr.....	35
4.4.2 Laser Tracker	36
4.5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ROVINNOSTI	36
4.1 Metoda střední roviny	37
4.2 Metoda obalových rovin.....	38
5 POROVNÁNÍ ZPŮSOBŮ MĚŘENÍ.....	39
5.1 MĚŘENÍ ROVINNOSTI A PŘÍMOSTI V ČKD BLANSKO OS A.S.	39
5.2 MĚŘENÍ ROVINNOSTI A PŘÍMOSTI VE ŠKODA MACHINE TOOL.....	39
5.2.1 Měření autokolimátorem	39
5.2.2 Měření mikroskopem od napnuté struny.....	40
5.2.3 Měření pomocí elektronické libely TESA NIVELTRONIC	40
5.3 ROZVOJ MĚŘENÍ ROVINNOSTI	41
5.3.1 Efektivní využití softwarových nástrojů.....	41
5.3.2 Využití jiného měřícího zařízení	41
5.3.3 Rozvoj metrologického systému.....	42
6. ZÁVĚR.....	43
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
8. SEZNAM POUŽITÝCH INTERNETOVÝCH ZDROJŮ.....	44

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka / Symbol	Význam
TOS	Továrna Obráběcích Strojů
OS	Obráběcí stroje
ČSN	Česká technická norma
EN	European Standard
ISO	International Organization for Standardization

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK

Označení	Jednotka	Název veličiny
	[mm]	úchylka rovinnosti
L	[mm]	délka
Δ	[-]	rozdíl

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	-	Výkres sestavy k modelovému příkladu – stůl frézky FRFQ 350
Příloha 2	-	Výstup ze softwaru autokolimátoru Taylor Hobson
Příloha 3	-	Výstup z měření rovinnosti stolu frézky FRFQ 350

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 PŮVODNÍ LOGO KONCERNU TOS	12
OBR. 2 SOUČASNÁ PODOBA LOGA TOS KUŘIM-OS A.S.....	13
OBR. 3 ÚCHYLKA ROVINNOSTI.....	14
OBR. 4 DOKONČOVACÍ OBRÁBĚNÍ STOLU	20
OBR. 5 ČIŠTĚNÍ PLOCH, NA KTERÝCH PROBÍHÁ MĚŘENÍ.....	20
OBR. 6 MĚŘENÍ KRAJNÍCH LINIÍ STOLU POMOCÍ AUTOKOLIMÁTORU	21
OBR. 7 MĚŘENÍ PŘÍČNÝCH ŘEZŮ POMOCÍ DIGITÁLNÍ LIBELY.....	21
OBR. 8 DETAIL LIBELY NA MĚŘÍCÍM MŮSTKU.....	22
OBR. 9 VÝSLEDKY ZPRACOVANÉ DO FORMY GRAFU S VYZNAČENÝMI NEJVĚTŠÍMI ÚCHYLKAMI ROVINNOSTI	22
OBR. 10 TŘÍSOUŘADNICOVÝ MĚŘÍCÍ STROJ	26
OBR. 11 ÚCHYLKOMĚR A PŘÍMĚRNÉ PRAVÍTKO	26
OBR. 12 ÚCHYLKOMĚR A PŘÍMĚRNÁ DESKA.....	27
OBR. 13 KOMPARAČNÍ MĚŘIDLO S ÚCHYLKOMĚRY	27
OBR. 14 MĚŘÍCÍ MIKROSKOP A KALIBROVANÁ STRUNA	27
OBR. 15 LASER A ZÁMĚRNÝ TERČ	28
OBR. 16 HYDROSTATICKÉ VÝŠKOMĚRY	28

OBR. 17 VODOVÁHA NA MĚŘÍCÍM MŮSTKU	28
OBR. 18 AUTOKOLIMÁTOR A ODRAZOVÉ ZRCÁTKO	29
OBR. 19 LASERINTERFEROMETR A ODRAZOVÉ ZRCÁTKO	29
OBR. 20 TŘÍBODOVÝ MŮSTEK A VODOVÁHA.....	29
OBR. 21 VLASOVÉ PRAVÍTKO	30
OBR. 22 ČTVERCOVÁ SÍŤ	30
OBR. 23 KRUHOVÁ SÍŤ	30
OBR. 24 TROJÚHELNÍKOVÁ SÍŤ	31
OBR. 26 BODY	31
OBR. 25 MŘÍŽKA UNION JACK	31
OBR. 27 DVOUBODOVÝ MŮSTEK A VODOVÁHA	32
OBR. 28 MĚŘENÍ SOUŘADNICOVÝM MĚŘÍCÍM STROJEM.....	32
OBR. 29 MĚŘENÍ KONCOVÝMI MĚRKAMI OD PŘÍMĚRNÉHO PRAVÍTKA	32
OBR. 30 ÚCHYLKOMĚŘ A PŘÍMĚRNÉ PRAVÍTKO	32
OBR. 31 PŘÍMĚRNÁ PRAVÍTKA A VODOVÁHA	33
OBR. 32 KOMPARAČNÍ MĚŘIDLO S ÚCHYLKOMĚŘY	33
OBR. 33 ZAMĚŘOVACÍ DALEKOHLED S VODOVÁHOU A TERČI	34
OBR. 34 ZAMĚŘOVACÍ DALEKOHLED A ZÁMĚRNÉ TERČE.....	34
OBR. 35 RÁM S ÚCHYLKOMĚŘY.....	34
OBR. 36 INTERFERENČNÍ METODA.....	35
OBR. 37 TUŠÍROVACÍ METODA.....	35
OBR. 38 LASERINTERFEROMETR	35
OBR. 39 LASERTRACKER.....	36
OBR. 40 STŘEDNÍ ROVINA	37
OBR. 41 METODA NEJVYŠŠÍCH BODŮ	38
OBR. 42 METODA NEJNIŽŠÍCH BODŮ	38
OBR. 43 AUTOKOLIMÁTOR.....	40
OBR. 44 LIBELA NIVELTRONIC	40

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PŘEHLEDOVÁ TABULKA PŘEDEPSANÝCH ÚCHYLEK ROVINNOSTI PLOCH VEDENÍ 17	
TAB. 2 PŘEHLEDOVÁ TABULKA PŘEDEPSANÝCH ÚCHYLEK ROVINNOSTI UPÍNACÍCH PLOCH	17

1 Úvod

Tato práce vzniká v továrně TOS Kuřim pod vedením metrologů z oddělení tzv. těžké mechaniky, kde jsou obráběny a měřeny rozměrné mnohatusové díly obráběcích strojů. Tyto díly jsou následně předávány do montáže.

Ačkoliv rovinnost lze měřit na součástech obráběcích strojů téměř ve všech fázích výrobního procesu, tato práce je zaměřena pouze na měření rovinnosti u obrobků procházejících oddělením těžké mechaniky.

Ostatní možná měření rovinnosti, zejména při montáži, vstupní a výstupní kontrole nejsou předmětem této práce.

1.1 Historie a současnost TOS Kuřim

Obráběcí stroje jsou páteří strojírenské výroby. Od počátků průmyslu jsou základem, ze kterého vychází další stroje, nástroje, přípravky a všechny ostatní nezbytnosti pro strojírenskou výrobu. Obráběcí stroje nahradily lidskou práci, která byla namáhavá a neproduktivní. Stroj dokáže pracovat s velkou přesností, kterou lidskými smysly, řídicími naše ruce, nelze dosáhnout. Pracují také bez únavy a produktivita je neúměrně větší.

Na počátku průmyslové revoluce koncem 18. století byly právě stroje, které se začaly díky zdokonaleným postupům i efektivní organizaci práce masově rozšiřovat. Postupně se technika, vytvořená na rozličných strojích, vměstnala téměř do všech oblastí našich životů.

V době rozmachu průmyslu v Evropě i na území naší republiky se začala společnost značně industrializovat. Pracovní síly ze zemědělství, kterému bylo technickými prostředky značně ulehčeno o nároky na lidské zdroje, se začaly přesouvat do průmyslu. Na počátku 19. století, zejména po První světové válce, zažívá náš průmysl velkou renesanci a mnoho schopných českých podnikatelů a techniků, kteří jsou tradičně na území naší země vychováni, zakládalo strojírenské podniky. Mnoho z našich strojírenských podniků, založených v této době funguje dodnes a má velice dobré jméno po celém světě. K těmto podnikům patřila i tehdejší brněnská Zbrojovka, dnes Zbrojovka Brno. V poválečném období se chopila příležitosti a zavedla svou vlastní výrobu strojů, zejména soustruhů a frézek. Pro uspokojení velké poptávky po výrobcích Zbrojovky bylo rozhodnuto vybudovat novou továrnu určenou pro výrobu strojů. Tato se začala budovat v roce 1941 v Kuřimi, městě severně od Brna. První výrobní objekty byly dokončeny již v polovině roku 1942.

Nejvytíženější byla továrna ve svých počátcích, kdy zde bylo pro říšský vojenský průmysl zaměstnáno 4 250 stálých a s přihlédnutím k totálně nasazeným dělníkům až 15 000 zaměstnanců. Z důvodu sabotáží ve výrobě však byla produktivita velice malá a kolísala kolem jednotek až desítek procent z plánované produkce. Vzhledem k přítomnosti německé firmy Klöckner, vyrábějící v areálu továrny letecké motory, došlo také k bombardování americkým letectvem, jež mělo značně devastující účinky.

Po skončení Druhé světové války se továrna v Kuřimi osamostatňuje od nově zřízeného národního podniku Zbrojovka Brno a tvoří spolu se slévárnou Vaňkovka

samostatný subjekt - Spojené továrny na obráběcí stroje se sídlem v Praze. Tento krok byl významným milníkem pro další rychlý rozvoj továrny. Komunistická strana stanovila průmysl jako vlajkovou loď rozvoje naší země a na úkor jiných odvětví investice do průmyslových podniků stoupaly. V roce 1950 dochází ke zřízení národního podniku TOS Kuřim a počíná výstavba nové slévárny šedé litiny v areálu podniku, která byla dokončena v roce 1953.

V průběhu své dosavadní existence vyráběla továrna širokou škálu různých obráběcích strojů, například brusky, vyvrtávačky, vrtací stroje a jiné. Známa je však pro své velice zdařilé a úspěšné soustruhy SV18, frézky F3, F4 a F5, nástrojařské frézky FNK 25 nebo konzolové (typ FA) a portálové frézky (typ FP). Masová produkce těchto strojů stála na počátku úspěšné historie firmy. Například soustruhů SV 18 bylo jen mezi lety 1945 – 1957 vyrobeno 8 499 kusů.

O úspěšnosti a kvalitách tehdejší produkce hovoří i fakt, že továrna dodala například plně automatizovanou linku na obrábění ložiskových skříní švédské firmě SKF.

Ruku v ruce s vývojem strojního průmyslu se vyvíjel i průmysl elektrotechnický. Tato dvě odvětví, nerozdělitelně svázaná, dala za vznik programově řízeným obráběcím strojům. I továrna TOS Kuřim n.p. vycítila, že tímto směrem se bude do budoucna strojírenská výroba odvíjet a započala úspěšnou etapu ve vývoji a výrobě těchto strojů.

Vzhledem k využití potenciálu číslicově řízené techniky bylo nutno zajistit strojům perfektní mechanický základ. Došlo k využití nejpreciznějších technických prostředků, servopohonů, kuličkových šroubů a valivých lineárních vedení. V areálu podniku vzniklo nové pracoviště, specializované na výrobu kuličkových šroubů. Jako samostatná firma funguje tato výroba v továrním areálu dodnes.

Závod TOS Kuřim i všechny jeho pobočné závody, které časem přibývaly a ubývaly (TOS Lipník, TOS Olomouc, TOS Kunštát, Agrostroj Galanta a další), se zabývaly také výrobou příslušenství k obráběcím strojům. Za všechny uvedme například dělicí přístroje, otočné stoly nebo variátory.



Obr. 1 Původní logo koncernu TOS

Po politických změnách v počátku devadesátých let minulého století se závod rozdělil na řadu dílčích společností. Z osamostatněné výroby v areálu kuřimských strojíren vznikl TOS Kuřim a Slévárna Kuřim. V roce 1996 vznikla privatizací nová samostatná společnost

TOS Kuřim-KŠ s.r.o. (kuličkové šrouby), která je v současnosti ve vlastnictví švýcarské firmy OC Schweiz MaschinenBau AG.

Zbytek závodu TOS Kuřim se v roce 1996 přeměňuje na soukromý subjekt TOS Kuřim-OS s.r.o. V roce 2001 je továrna transformována na akciovou společnost TOS Kuřim-OS a.s. V roce 2005 se majoritním akcionářem stává brněnská obchodní společnost ALTA a.s. Do skupiny ALTA patří i další významné české strojírenské podniky Škoda Machine Tool a.s. a ČKD Blansko-OS a.s.

V současnosti se společnost zabývá téměř výhradně výrobou velkých víceosých číslicově řízených frézek a karuselů. Výroba probíhá zakázkově přesně podle představ a potřeb zákazníka.

Firma se orientuje na komplexní péči o zákazníky – dodávané stroje jsou společností i pozáručně spravovány a kontinuálně inovovány. Kromě českých firem jsou častými zákazníky zahraniční společnosti, například z Ruska či Indie.

Produkce TOS Kuřim nachází uplatnění zejména v těžkém strojírenství a energetice nebo ve zbrojním, leteckém, loďařském či důlním průmyslu.

Výrobní program sestává z univerzálních strojů a kompletních výrobních linek. Univerzální stroje, zejména velké frézky, jsou stroje pro pětiosé obrábění těžkých a rozměrných obrobků.

Univerzální stroje jsou vyráběny ve čtyřech konstrukčních provedeních:

- typ FS(Q) – obráběcí centra a ložové frézky
- typ FF(Q) – frézky a obráběcí centra s posuvným stojanem
- typ FRF(Q) – frézky a obráběcí centra s posuvným portálem
- typ FU(Q) – frézky a obráběcí centra se stojanem posuvným po samostatném loži

Všechny stroje jsou vybaveny příslušenstvím dle požadavků zákazníka – různými typy obráběcích hlav a jejich automatickými výměníky či nástrojovými zásobníky. Pro řízení stroje jsou používány systémy Siemens a Heidenhain.

Druhým tradičním produktem jsou výrobní linky a jednoúčelové stroje. V současnosti je tato výroba zaměřena zejména na automobilový průmysl.

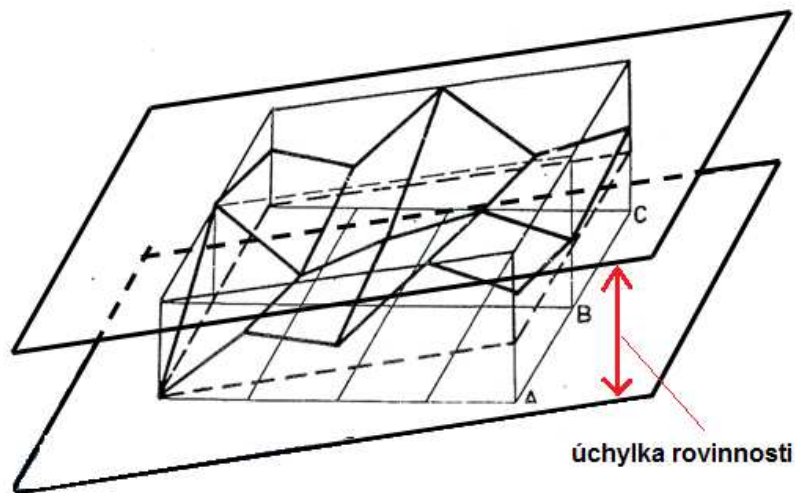


Obr. 2 Současná podoba loga TOS Kuřim-OS a.s.

1.2 Rovinnost a přímost

U obráběcích strojů jsou významné tzv. funkční plochy, tj. plochy, jejichž funkce má dopad na výslednou kvalitu stroje jako celku. Tyto plochy je třeba kontrolovat a přesvědčit se o jejich geometrických vlastnostech včetně rovinnosti, kterou měříme.

Rovinnost je geometrickou vlastností plochy. Vyjadřuje vzdálenost dvou extrémálních bodů profilu plochy. Pokud je nejvyšším (resp. nejnižším) bodem profilu vedena obalová rovina a současně nejnižším (resp. nejvyšším) bodem rovina s ní rovnoběžná, rozumíme jejich vzdálenost jako hodnotu rovinnosti plochy. Udává se v mikrometrech [μm] a označuje se symbolem ve tvaru kosodélníka.



Obr. 3 Úchylka rovinnosti

1.3 Význam dodržení úchylek rovinnosti u obráběcích strojů

Přesnost obrobku vyrobeného na stroji závisí na přesnosti stroje samotného. Do kvality výroby se promítají všechny negativní vlivy, které se na stroji vyskytují a jež se synergicky podporují. Jedním z nejpodstatnějších parametrů, které je třeba při výrobě dodržet je odpovídající hodnota rovinnosti kontaktních ploch, které umožňují lineární pohyb jednotlivých částí stroje vůči sobě.

1.4 Typy vedení lineárních os

Na většině strojů vyráběných v závodě je třeba zajišťovat tři samostatné lineární pohyby. Tyto pohyby jsou zajišťovány speciálními technickými prostředky, nazývanými vedení lineárních os.

Tato vedení mohou být realizována více způsoby. Konstrukteři kuřimského závodu využívají kluzně valivé lineární vedení, lineární valivé vedení a vedení hydrostatické.

1.4.1 Kluzně-valivé vedení

Kluzně valivé lineární vedení funguje na principu kontaktního pohybu dvou ploch. Jedna z těchto ploch je opatřena materiálem s nízkým součinitelem tření, který zajišťuje snadný pohyb součástí vůči sobě. Správnou pozici součástí vůči sobě zajišťují na jedné ploše lišty, proti nimž je na druhé ploše blok s valivými elementy.

V Kuřimském závodě jsou tato vedení realizována pomocí umělých kluzných hmot, kterými je oblepena jedna z ploch. Druhá plocha je opatřena kaleným přesně broušeným plechem. Směrové vedení obou ploch zajišťují kalené lišty vlepené na jedné z ploch a valivými bloky na ploše protilehlé.

Jako kluzný materiál je nejčastěji využívána umělá hmota Turcite®-B, nalepená na daných plochách epoxidovým tmelem.

1.4.2 Lineární valivé vedení

Lineární valivé vedení funguje na principu styku valivých elementů s rovinnou plochou. Tvar a uspořádání valivých elementů zajišťuje speciální pouzdro (hnízdo, tank či vozík), které je nasazené na vodících lištách (kolejnicích). Spojení těchto elementů je realizováno obvykle jako předepnuté. Hnízda vytváří na lišty tlak a vymezují tak vůle, které jsou u těchto vedení nežádoucím jevem.

Valivé elementy, které najdeme v pouzdrech, mohou být válečky, jehličky nebo kuličky.

Tento typ lineárního vedení funguje bez vůlí, má dobrou tuhost a přesnost. Naproti tomu problémy způsobuje malá schopnost tlumit vibrace a sklon k opotřebením vlivem částic vnikajících mezi jednotlivé části systému.

Lineární valivé vedení je normalizovaná součást, která je nakupována dle katalogových parametrů u externího specializovaného výrobce. Typ se volí dle požadovaného konstrukčního dynamického a statického zatížení vedení v provozu.

Valivé vedení se montuje na konstrukčně určenou rovinnou plochu obráběcího stroje. Spojení je obvykle šroubové. Při nedodržení úchylek rovinnosti těchto ploch hrozí zkroucení lišt a křížení drah vozíků, které mají dānu poměrně přísnou toleranci odchylky rovnoběžnosti. Tento jev může mít za následek zvýšené opotřebením vedení, jeho nadměrné zahřívání a zbytečnou ztrátu výkonu stroje, která je spotřebována na překonání rostoucího tření nepohyblivého vozíku.

V TOS Kuřim jsou lineární valivá vedení hojně využívána vzhledem k dobrým vlastnostem a příznivé ceně. Konkrétně se jedná o produkty německé firmy Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG prodávané pod značkou INA.

1.4.3 Hydrostatické vedení

Další možností lineárního vedení je hydrostatické vedení. Toto vedení funguje na principu vytvoření velice tenkého filmu kapaliny mezi dvěma kluznými plochami.

K vytvoření filmu dochází přívodem provozní kapaliny pod tlakem do místa styku kluzných ploch.

Toto vedení je používáno především u velice těžkých strojů. Součinitel tření je zde minimální, kolem 0,0001, vykazuje výborné tlumící schopnosti. Film zůstává mezi plochami i za klidu stroje a ke kontaktu vzájemně se pohybujících ploch tak nikdy nedojde. Tento fakt zaručuje minimální opotřebení součástí vedení.

Nevýhodou tohoto typu vedení jsou velké náklady na provoz – čerpání, čištění a rozvod procesní kapaliny a také velké nároky na přesnost výroby. Pokud není dodržena požadovaná rovinnost ploch, mezi nimiž má být vytvořen hydrostatický film, dochází ke ztrátě tlaku procesní kapaliny, nestejnomyšlosti tloušťky filmu a tím i k nepřesnostem v samotném vedení.

1.5 Typy frézek vyráběných v TOS Kuřim

Obecně můžeme určit nejčastěji vyráběné typy frézek z kuřimského závodu, kde každá je konstrukčně odlišná.

- a) Typ FRF – portálová frézka s posuvným portálem a pevným příčnickem. Zde pohyb v ose X koná portál, který se pohybuje po vedeních na samotném stole obráběcího stroje. Pohyby v ose Y zajišťují příčné saně, pohybující se po vedení upevněném na portále. V saních se pohybuje vřeteník, který vykonává pohyb v ose X na vedeních upevněných na příčných saních.
- b) Typ FRU – portálová frézka s posuvným portálem, kde portál se pohybuje po samostatných ložích. Ostatní dva pohyby jsou zajišťovány obdobně jako u typu FRF.
- c) Typ FRP – portálová frézka s pevným portálem, kde pohyb o ose X koná upínací stůl. Pohyb vřeteníku v ose Y a Z je zajištěn obdobně jako u typů FRF a FRU.
- d) Typ FUQ – horizontální obráběcí centrum s pevným rámem

2 Současný stav

2.1 Rovinnost a přímost ve vztahu k obráběcím strojům

Nedílnou součástí výroby rovinných ploch a i celé výroby všech komponentů obráběcího stroje je ověřování dosažení shody s požadavky danými výkresovou dokumentací. Ověřování se provádí měřením, které vykonává určený pracovník z oddělení řízení kvality s patřičnými zkušenostmi.

Tato práce je zpracovávána na základě poznatků a informací získaných na oddělení těžké mechaniky, konkrétně od pracovníků zabezpečujících kvalitu výroby na tomto úseku.

Na úseku těžké mechaniky jsou obráběny rozměrné a těžké součásti – řádově v rozměrech jednotek až desítek metrů a o hmotnostech několika tun. Malé součásti jsou obvykle vyráběny v kooperaci s externími firmami.

Zmíněné velké součásti, jsou nejčastěji součásti rámu stroje, na kterém najdeme plochy významné pro budoucí pohyb celku. Význam těchto ploch byl vysvětlen v kapitole 1.2. Tyto plochy vyžadují extrémní péči při obrábění. Měření rovinnosti a přímosti je v současnosti na oddělení těžké mechaniky téměř na denním pořádku.

2.2 Dosahované přímosti a rovinnosti ploch

Obrábění rovinných ploch na strojích velikostí produkční řady TOS Kuřim vyžaduje zkušený přístup s využitím kvalitních strojů a nástrojů. Dosažení tolerancí rovinnosti a přímosti předepsaných výkresovou dokumentací je nutnou podmínkou pro dosažení optimální funkce finálního výrobku – stroje.

Dosahovaná i požadovaná přesnost ploch, je dána jejich délkou. Stroje, na kterých se součásti obrábějí, mají také jen určitou toleranci, se kterou jsou schopné dosahovat požadovaných výsledků. Obecně můžeme požadavky a dosahované úchyly přímosti a rovinnosti ploch charakterizovat následovně.

Plochy lineárních vedení strojů

L (délka součásti)	do 6m	6 – 10m	nad 10m (do 20m)
Dovolená úchylka	0,01mm	0,02mm	0,03mm

Tab. 1 Přehledová tabulka předepsaných úchytek rovinnosti ploch vedení

Rovinné plochy upínacích ploch (desek a stolů)

L (délka součásti)	do 2m	2- 4m
Dovolená úchylka	0,04mm	0,08mm

Tab. 2 Přehledová tabulka předepsaných úchytek rovinnosti upínacích ploch

2.3 Používané měřicí postupy

Opakované měření stejné součásti není příliš časté, neboť stroje jsou vyráběny a kompletovány podle přání zákazníků. Přesto lze říci, že měřené součásti jsou často podobné a liší se jen v detailech provedení a rozměrech.

Všechna měření se odehrávají za využití zkušeností pracovníků provádějících měření. Měřicí postupy jsou univerzální, aplikovatelné na celou škálu různých součástí. Tyto postupy nejsou vedeny v písemné dokumentaci a jsou předávány pouze ústně.

Měřená součást je měřena buď na určeném místě, kde je podlaha upravena speciálně pro měřicí stanoviště. To zabraňuje přenosu negativních vlivů (vibrací apod.) do měřených kusů a tím vnášení chyb do měření.

Pokud je součást upnuta na stroji a předpokládá se její další obrábění, je tato měřena přímo na stroji z důvodu nemožnosti opětovného upnutí do stejné pozice, což by vyžadovalo další náklady při nastavování stroje a ustavování výrobku.

Ať už je součást upnuta na stroji, nebo přenesena na měřicí pracoviště je třeba ošetřit měřenou plochu. Při měření na stroji je součást hrubě očištěna od třísek. Pokud je součást přenášena na měřicí stanoviště, jsou třísky odstraněny před manipulací. Následně je plocha zbavena i malých a mikroskopických nečistot pomocí polárních rozpouštědel (obvykle aceton). Čistění je třeba opakovat tak dlouho, dokud není plocha zbavena všech nečistot.

Po očištění povrchu je přistoupeno k samotnému měření součásti.

Pro měření úchylek rovinnosti jsou na oddělení těžké mechaniky používány téměř výhradně metody pro určení přímosti, jejichž aplikací na plochu lze určit úchylky rovinnosti.

2.3.1 Měření přímosti autokolimátorem

Přímost je možné měřit pomocí autokolimátoru. Autokolimátor je propojen s počítačem, který obsluhuje jeden pracovník. Druhý pracovník postupně v krocích posouvá po měřené ploše odrazové zrcátko, od kterého se odráží paprsky zpět do autokolimátoru. Jednotka autokolimátoru vyhodnocuje získané údaje a posílá je do počítače. Zde vzniká tabulka naměřených hodnot i graf pro optimální zobrazení profilu dané plochy. Zaznamenávají jsou úchylky výškové v μm a úhlové ve vteřinách stupně.

Výsledek je vyhodnocen a konzultován s konstruktérem a obsluhou obráběcího stroje. Pokud je to nutné, obrábí se znovu s využitím naměřených hodnot pro nastavení stroje.

Autokolimátor je zařízení, jež je schopné vysílat rovnoběžné světelné paprsky. Tyto paprsky se odráží na odrazovém zrcátku a vracejí se do autokolimátoru. Pokud není zrcátko v přesně kolmé pozici vůči odráženým paprskům, přicházejí paprsky zpět do kolimátoru pod určitým úhlem. Tento úhel je vyhodnocen a převeden na délkovou úchylku.

Ve firmě TOS Kuřim je konkrétně používán přístroj firmy Taylor Hobson typ DA 400. K autokolimátoru přísluší software pro vyhodnocování úchylek přímosti.

2.3.2 Měření přímosti digitální libelou

Další možností měření přímosti je využití digitální libely s magnetickými prizmatickými základnami. Tato je postavená na broušené měřicí základně. Délka základny je volena dle rozměrů měřeného obrobku a k dispozici jsou 100, 150, 200, 333 a 500 mm základny.

Libela se ustaví na měřenou součást a nechá se „uklidnit“. Postupně je libela posouvána s krokem daným délkou základny po celé délce součásti. Na každém úseku je naměřená hodnota zaznamenána. Záznam je proveden ručně na pracovní list papíru.

Pokud je to možné, provádí se měření v mřížce, tedy podél po krocích délky základny na šířce rozdělené na pásy téže či jiné délky. Tímto postupem získáme mřížku, která rovnoměrně pokrývá celý měřený povrch. Takto je možné měřit ale jen některé součásti - typicky upínací stoly a desky. Například spodní plochy stolů, kde vlastní rovina je tvořena dvěma úzkými pásy, mezi nimiž je neobrobená výztuž stolu tímto způsobem měřit nelze. Zde jsou změřeny jen úchyly bodů na obou plochách vůči sobě.

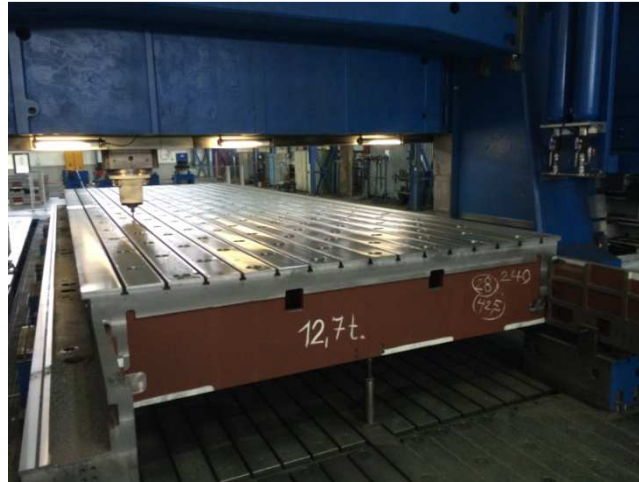
Zaznamenané hodnoty jsou překresleny do spojnicového grafu na milimetrovém papíře. Získané hodnoty v přehledné grafické formě jsou konzultovány s konstruktérem a obsluhou obráběcího stroje. Pokud to je nutné, obrábí se opětovně. Naměřené hodnoty jsou použity pro nastavení obráběcího stroje. Po dokončení obrábění je měření provedeno znovu. Pokud již součást vyhovuje požadavkům z výkresové dokumentace, je vše v pořádku a součást může pokračovat v cestě výrobním procesem. Pokud ne, obrábí se tak dlouho, dokud tomu tak není.

Používá se elektronická libela MINILEVEL NT švýcarského výrobce WYLER AG. Disponuje dvěma rozsahy měření na 0.01mm (resp. 2arcsec) a 0.001mm (resp. 0.2arcsec). Má interní zdroj napájení, což značně usnadňuje manipulaci. K libele je zakoupen software Levelsoft PRO od výrobce libely.

Principiálně funguje digitální libela tak, že uvnitř je umístěno kyvadélko, jež je zavěšeno na závěsu s minimálním třením. Toto kyvadélko, podobně jako olovnice, směřuje vlivem gravitace svisle dolů. Naproti tomu těleso libely může zaujímat jakoukoliv polohu. Rozdíl mezi polohou kyvadélka a polohou tělesa libely je elektronicky snímán a převáděn na číselnou hodnotu.

2.4 Ukázka měření rovinnosti na modelovém příkladu

K demonstraci principu měření rovinnosti byl vybrán stůl frézky FRFQ 350 o rozměru měřené upínací plochy 10000 x 3500mm. Požadovaná rovinnost plochy je dle výkresové dokumentace 0,07mm. Výkres sestavy stolu je obsažen v příloze 1.



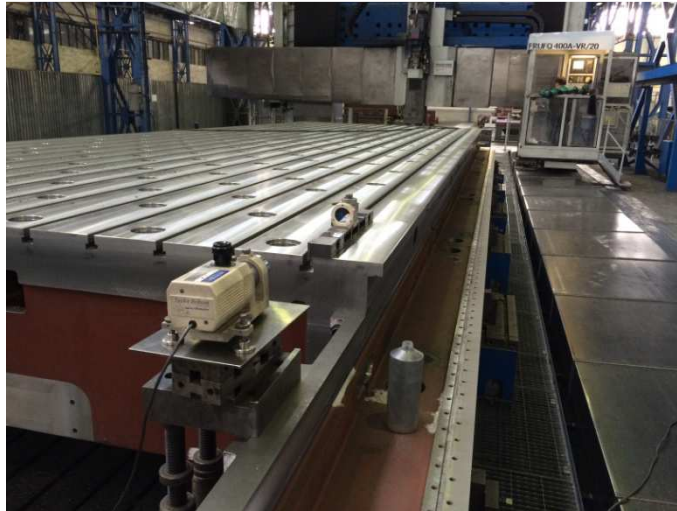
Obr. 4 Dokončovací obrábění stolu

Prvním krokem po obrobení plochy bylo vyčištění těch částí dílu, kde probíhalo měření. Čištění bylo provedeno acetonem pomocí světlého kusu látky, na němž je na první pohled patrné, zda je již plocha čistá či nikoliv.



Obr. 5 Čištění ploch, na kterých probíhá měření

Samotné měření začalo určením přímosti krajních linií stolu. Tyto byly určeny autokolimátorem, kdy posouváním odrazového zrcátka ustaveného na měřícím můstku byly získány hodnoty úchylek přímosti v jednotlivých bodech přímky. Byla použita základna 500 mm dlouhá, určující délku kroku. Data z autokolimátoru byla vyhodnocena v počítači pomocí softwaru na vyhodnocování přímosti a převedena na graf a přehlednou tabulku. Kompletní výstup z programu dodávaného s autokolimátorem je v příloze 2.

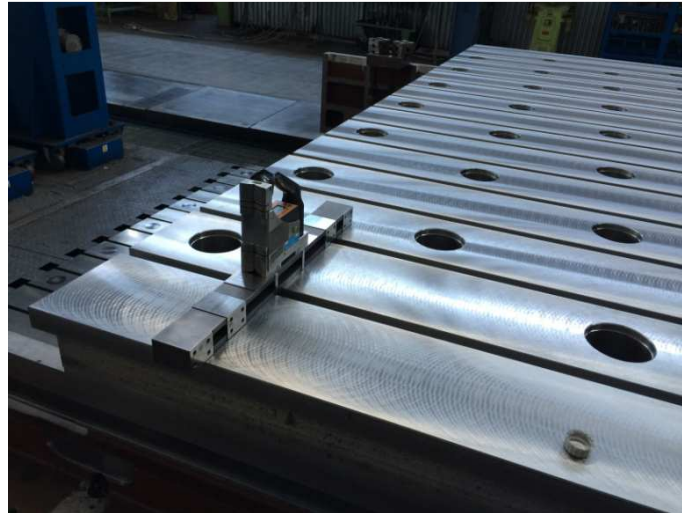


Obr. 6 Měření krajních linií stolu pomocí autokolimátoru

Změřené krajní linie stolu byly považovány za referenční. V dalším kroku měření bylo od těchto referenčních linií pomocí digitální libely vedeno 5 řezů. Libelou byla měřena přímmost v daných pěti řezech s krokem 500 mm.



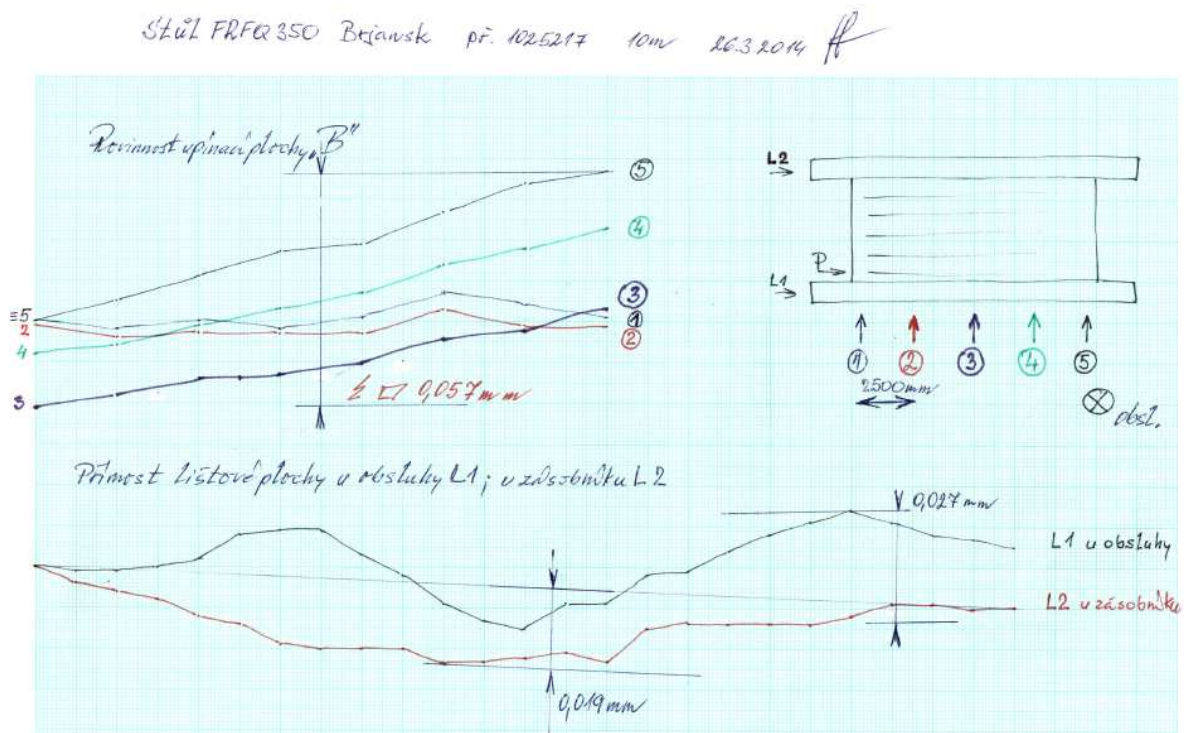
Obr. 7 Měření příčných řezů pomocí digitální libely



Obr. 8 Detail libely na měřícím můstku

Úchylky naměřené v jednotlivých bodech pomocí autokolimátoru i digitální libely byly zaznamenávány na pracovní list papíru. Po ukončení měření byly hodnoty zpracovány do grafické podoby, jež tvoří přílohu 2. Hodnoty byly vynášeny ručně na milimetrový papír a pospojovány do jednotlivých linií spojnicového grafu. Byla určena maximální a minimální hodnota úchylek řezů, jejichž největší rozdíl je hodnotou hledané maximální úchytky rovinnosti.

Maximální úchytky rovinnosti stolu byla stanovena na 0,057 mm. Vzhledem k rovinnosti požadované výkresovou dokumentací – 0,07 mm tato součást vyhověla.



Obr. 9 Výsledky zpracované do formy grafu s vyznačenými největšími úchytkami rovinnosti

2.4.1 Zhodnocení použité metody měření

Nejedná se o zcela standardní měření rovinnosti, neboť pro současné měření rovinnosti a přímosti boční plochy stolu byl použit zvláštní postup kombinace měření autokolimátorem a digitální libelou. Pro měření pouze rovinnosti stolu by byl použit měřicí postup pouze s digitální libelou.

Kombinace měřidel u tohoto měření není zcela optimální a to vzhledem k navázání řezů autokolimátorem a libelou do jednotné sítě. Autokolimátor se nastavuje k měřenému dílci a po změření jednoho krajního řezu se přesouvá k druhému kraji. Při přesunutí není zajištěna stejná pozice autokolimátoru a tím ani absolutní poloha počátečního bodu řezu vůči řezu na druhé straně. Při měření přímosti boční linie není toto na závadu. Při spojování linií vytvořených autokolimátorem však tyto řezy začínají a končí jinde, než kudy prochází řez změřený libelou.

Standardně, pokud je měřena jen rovinnost stolu, se měří pomocí digitální libely v obdélníkové síti, kterážto metoda je v pořádku. Jako alternativu lze také doporučit měření celé plochy autokolimátorem v síti unionjack (viz. kapitola 4.2) – zde je ovšem problém v absenci modulu pro měření rovinnosti v příslušném softwaru měřidla.

3 Normy pro měření rovinnosti a přímosti

3.1 Normy pro měření přímosti

V oblasti měření přímosti aplikovatelném na zkoumaný problém jsou aktuálně v České republice platné normy převzaté z norem evropských potažmo mezinárodních pod signaturou ČSN EN ISO 12780-1 a ČSN EN ISO 12780-2.

ČSN EN ISO 12780-1 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímost – Část 1: Slovník a parametry přímosti

Tato část normy obsahuje základní termíny používané v oblasti měření přímosti. Definuje parametry, které získáváme při měření přímosti.

ČSN EN ISO 12780-2 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímost – Část 2: Operátory specifikace

Druhá část normy specifikuje podmínky měření a základní možnosti získaných dat. Předkládá možný použitelný matematický aparát pro vyhodnocování dat z měření.

3.2 Normy pro měření rovinnosti

Pro měření rovinnosti jsou aktuálně platné normy ze stejné řady jako pro přímost. Jedná se o normy ČSN EN ISO 12781-1 a ČSN EN ISO 12781-2.

ČSN EN ISO 12781-1 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Rovinnost – Část 1: Slovník a parametry přímosti

V první části normy jsou stejně jako u přímosti k nalezení základní termíny užívané v oblasti měření rovinnosti a v specifikované měřené parametry.

ČSN EN ISO 12781-2 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Rovinnost – Část 2: Operátory specifikace

V druhé části analogicky s normou pro přímost nalezneme podmínky měření a možnosti získaných dat. Příloha B této normy obsahuje návrhy možných strategií extrakce měřených hodnot. Tyto strategie budou zmíněny v následující kapitole.

3.3 Norma pro měření obráběcích strojů

Komplexní norma měření geometrických parametrů obráběcích strojů *ČSN ISO 230-1 Zásady zkoušek obráběcích strojů – Část 1: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za kvazistatických podmínek*, je v mnoha ohledech podrobnější než výše zmíněné normy a poskytuje množství metod použitelných při měření přímosti a rovinnosti jak jednotlivých dílů, tak celých obráběcích strojů. Lze zde nalézt konkrétní a podrobné informace pro měření charakteristických částí a dílů obráběcích strojů.

Zvláštní kapitola se věnuje ověřování geometrických charakteristik přímosti a rovinnosti jednotlivých částí sestaveného obráběcího stroje a zahrnuje:

- a) Měření přímosti založená na principu měření vzdálenosti: metoda s pravítkem, metoda s napnutou strunou a mikroskopem a metoda s vyrovnávacím dalekohledem
- b) Měření přímosti založené na měření úhlů: metoda s libelou, autokolimační metoda, metoda s laserinterferometrem, sekvenční tříbodová metoda (metrologický vozík a číselníkový úchylkoměr)
- c) Měření rovinnosti pomocí průměrné desky případně průměrné desky a snímače lineárního posunutí, dále měření pomocí pravítka nebo pravítek či soustavou pravítek, vodováhy a číselníkového úchylkoměru také měření jen pomocí přesné libely
- d) Měření rovinnosti pomocí optických metod: autokolimační metoda, metoda s použitím optického úhelníku, metoda s využitím vyrovnávacího laseru nebo laserinterferometrická metoda

K jednotlivým metodám norma uvádí jejich možnou aplikaci na konkrétní prvky stroje: vedení, stoly nebo jiné plochy.

3.4 Vývoj norem pro měření rovinnosti a přímosti

Původní normy pro měření přímosti a rovinnosti pod označením *ČSN 01 4421 Měření úchylek přímosti a ČSN 01 4422 Měření úchylek rovinnosti* byly vydány v roce 1982. Tyto v současnosti neplatné normy na rozdíl od současně používaných udávají ucelený přehled použitelných měřících metod – obsahují kompletní popis jednotlivých metod od seřízení a nastavení měřícího zařízení přes provedení samotného měření (i při nestandardních situacích) a vyhodnocování výsledků včetně stanovení chyb jednotlivých měření.

Norma také obsahuje základní možnosti pro stanovení úchylek rovinnosti jednotlivými metodami – grafickými a matematickými. K jednotlivým metodám uvádí výpočetní pozadí a konkrétní podrobné postupy při stanovování výsledků. Najdeme zde také vyobrazení možných výsledků a jejich rozbor – jak který výsledek vzniká a proč.

Oproti současným normám jsou pro řešení práce staré normy velmi užitečné. V zájmu řešení práce byly tyto normy využity z důvodu snadnějšího pochopení zkoumané problematiky.

Nevýhodou starých norem je, že metody v nich uvedené jsou často již přežité a v dnešní době nepoužitelné. Hlavní nosnou metodou pro vyhodnocování rovinnosti v těchto normách je grafická metoda, která je dnes již prakticky nepoužitelná. Nejenže její použití je pomalé, ale je také omezeno počtem vyhodnocovaných bodů. Obecně lze říci, že grafická metoda je využitelná do sítě 5 x 5 řezů. Nad tuto hodnotu je již množství získaných bodů značně náročné na zpracování. Moderní metody jsou založeny výhradně na využití matematických metod, které jsou prováděny výpočetní technikou, jež byla v době vzniku norem ve svých počátcích. Nové normy zřejmě vzhledem k rychlému rozvoji v oblasti metrologie postupy neuvádějí vůbec a předchází tak svému rychlému zastarání.

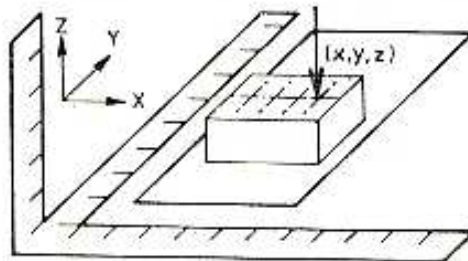
4 Metodiky měření rovinnosti

Pro měření různých součástí jsou používány odlišné metodiky. Těchto metodik je poměrně velké množství a jejich rozbor není předmětem této práce. Přesto je třeba uvést alespoň základní přehled nejpoužívanějších metod. K tomuto účelu dobře poslouží zrušené normy ČSN 01 4422 pro měření rovinnosti a ČSN 014421 pro měření přímosti, z nichž jsou převzaty obrázky k této kapitole.

Vybrány jsou pouze postupy, jež najdou uplatnění i v dnešní době. Metody vyložené zastaralé a dnes již nepoužívané zanedbáváme.

4.1. Přímost

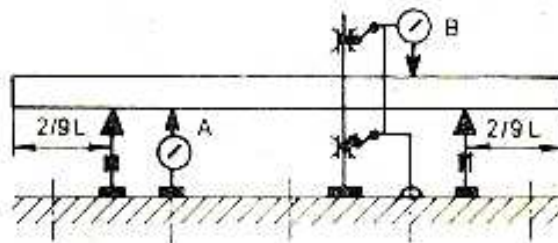
4.1.1 Měření na souřadnicovém měřicím stroji



Obr. 10 Třísouřadnicový měřicí stroj

Dotek souřadnicového stroje pojíždí po součásti a stroj vyhodnocuje absolutní rozdíly výškové polohy od základny stroje.

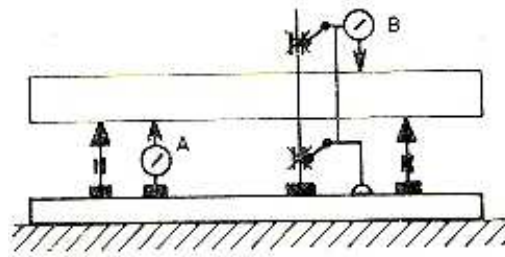
4.1.2 Měření úchylkoměrem od průměrného pravítka



Obr. 11 Úchylkoměr a průměrné pravítko

Základnou stojánku s upnutým úchylkoměrem pojíždíme po měřené ploše. Dotek úchylkoměru je v kontaktu s průměrným pravítkem ustaveným na dvou stejných podporách. V určených bodech měříme relativní úchylku od prvního (nulového) bodu měřeného profilu.

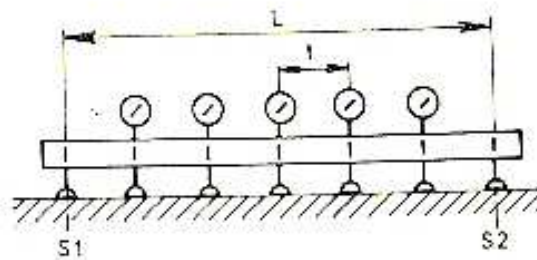
4.1.3 Měření úchylkoměrem nebo základními měrkami od průměrné desky



Obr. 12 Úchylkoměr a průměrná deska

Základnou stojánku s upnutým úchylkoměrem pojíždíme po měřené ploše. Dotek úchylkoměru je v kontaktu s průměrnou deskou ustavenou na dvou podporách (např. dvě stejné koncové měrky). V určených bodech měříme relativní úchylku od prvního (nulového) bodu měřeného profilu.

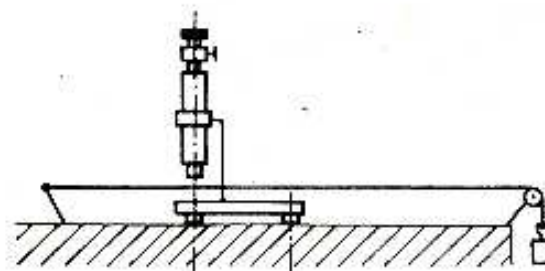
4.1.4 Měření komparačním měřidlem s několika úchylkoměry



Obr. 13 Komparační měřidlo s úchylkoměry

Komparační přístroj je nejprve nastaven pomocí desky známé přímosti, kdy při položení přístroje na tuto desku jsou úchylkoměry vynulovány. Následně je komparační přístroj položen na měřenou součást a odečteny hodnoty, jež odpovídají úchylkám od nulové čáry (spojnice nulových bodů dotyků).

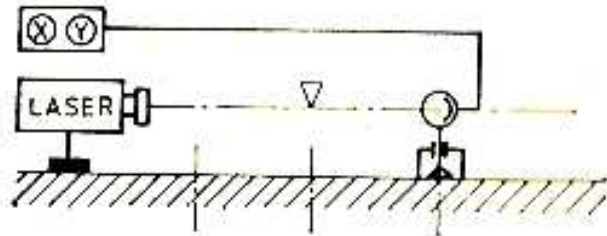
4.1.5 Měření mikroskopem od napnuté měřící struny



Obr. 14 Měřící mikroskop a kalibrovaná struna

Nad strunu napnutou v ose měřené součásti nebo v rovině měřené plochy se umístí mikroskop na měřícím můstku. Ten je posouván rovnoběžně se strunou a pomocí mikroskopu jsou vyhodnocovány úchyly polohy nitkového kříže od struny.

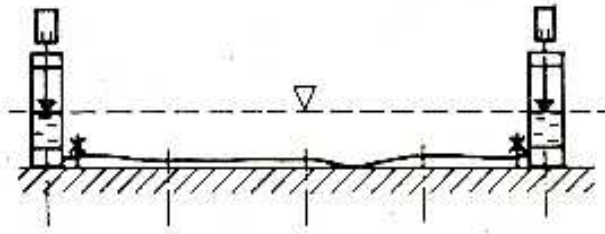
4.1.6 Měření fotoelektrickým způsobem od světelného paprsku



Obr. 15 Laser a záměrný terč

Optická osa laseru se nastaví rovnoběžně s měřeným profilem. Posouváním záměrného terče po měřené ploše se mění jeho poloha a vyhodnocuje odchylka středu terče od světelného bodu.

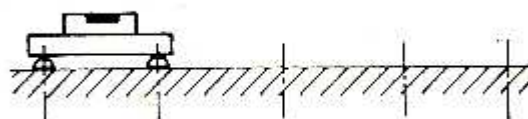
4.1.7 Měření diferenciálně zapojenými hydrostatickými výškoměry



Obr. 16 Hydrostatické výškoměry

Pomocí dvou stejných spojených nádob naplněných kapalinou sledujeme změny výšky hladiny pohyblivé nádoby. Výška hladiny je sledována hloubkoměrem nebo přímo na stupnici hydrostatického výškoměru. Rozdíl hladin mezi jednotlivými nádobami je hodnotou odchylky od nulové polohy určené pevnou nádobou.

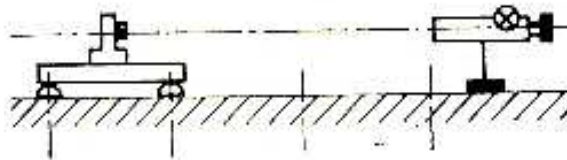
4.1.8 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a vodováhou



Obr. 17 Vodováha na měřícím můstku

Vodováha je umístěna (pevně) na měřícím můstku známé délky. Ten je postupně posouván s určitým krokem a hodnoty sklonu v těchto krocích jsou zaznamenávány. Graficky je vyhodnocen tvar profilu a označena největší úchyłka (rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou).

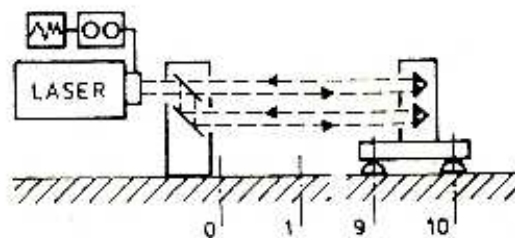
4.1.9 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a autokolimátorem



Obr. 18 Autokolimátor a odrazové zrcátko

Pevně umístěný autokolimátor vysílá svazek rovnoběžných světelných paprsků na odrazové zrcátko ustavené na měřícím můstku posouváném po krocích. Pokud toto není v přesně kolmé poloze vůči svazku paprsků, dojde k odrazu pod určitým úhlem. Tento úhel je vyhodnocen a převeden na úchyłku rovinnosti.

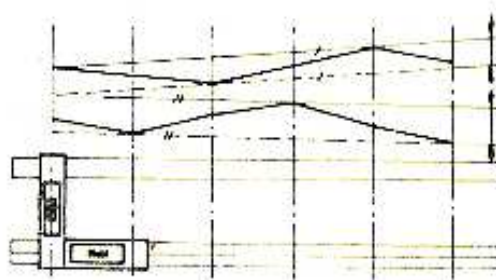
4.1.10 Měření dvoubodovým měřícím můstkem a laserinterferometrem



Obr. 19 Laserinterferometr a odrazové zrcátko

Princip měření je obdobný jako u metody 4.1.9.

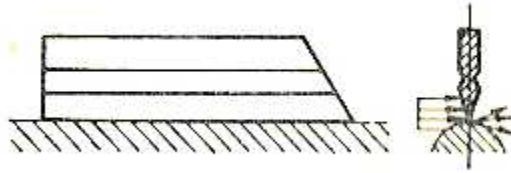
4.1.11 Měření třibodovým měřícím můstkem a vodováhou



Obr. 20 Třibodový můstek a vodováha

Princip měření je obdobný jako u měření dvoubodovým můstkem (4.1.8). Zde je měřena úchylka ve dvou na sebe kolmých osách.

4.1.12 Kontrola vlasovým pravítkem



Obr. 21 Vlasové pravítko

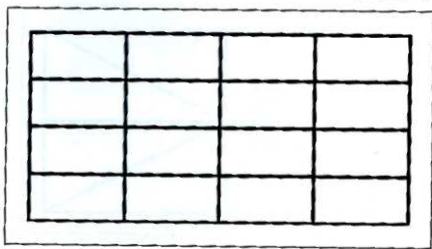
Nejedná se o měření v pravém slova smyslu. Jde pouze o kontrolu, jíž může pracovník vyhodnotit na základě zkušeností. Hrana vlasového pravítka je přikládána na měřený povrch a pozorována proti světlu. Ohyb paprsků světla na hraně pravítka zlepšuje možnost odhadu velikosti světelné štěrbin. Podle její velikosti odhadujeme případné nedostatky v přímosti.

4.2 Strategie určení rovinnosti metodami měření přímosti

Při využití metod měření přímosti pro měření rovinnosti jsou měřicí postupy na ploše aplikovány v mřížce. Tím se plocha pokryje sítí, jíž tvoří dostatečné množství bodů pro aproximaci celkové rovinnosti plochy.

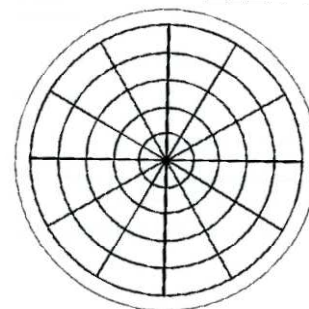
Nejpoužívanější (a doporučené i normou ČSN EN ISO 12780-2) jsou následující měřicí strategie.

4.2.1 Strategie extrahování pravoúhlou mřížkou



Obr. 22 Čtvercová síť

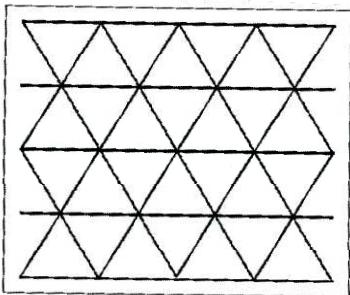
4.2.2 Strategie extrahování polární mřížkou



Obr. 23 Kruhová síť

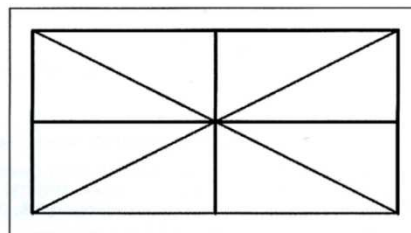
Tato metoda je použita pro měření kruhových profilů.

4.2.3 Strategie extrahování trojúhelníkovou mřížkou



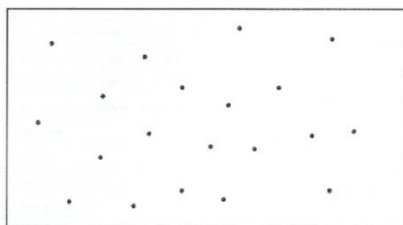
Obr. 24 Trojúhelníková síť

4.2.4 Strategie extrahování mřížkou Union Jack



Obr. 25 Mřížka union jack

4.2.5 Strategie extrahování body

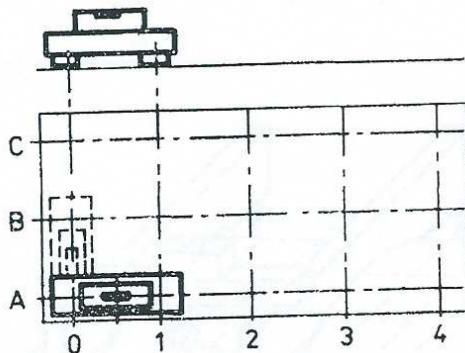


Obr. 26 Body

Tato metoda připadá v úvahu při použití tušírovací metody (4.3.15) měření rovinnosti.

4.3 Rovinnost

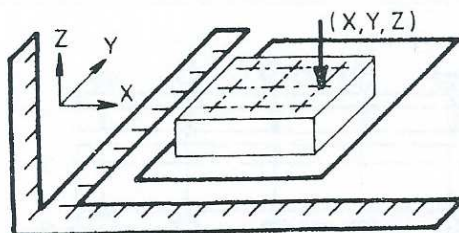
4.3.1 Měření dvoubodovým můstkem a vodováhou



Obr. 27 Dvoubodový můstek a vodováha

Měří se vodováhou na měřicím můstku v síti tvořené podélnými a příčnými řezy.

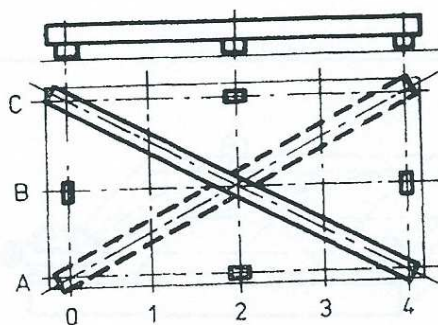
4.3.2 Měření na souřadnicovém měřícím stroji



Obr. 28 Měření souřadnicovým měřícím strojem

Dotek souřadnicového stroje pojíždí po součásti a stroj vyhodnocuje absolutní rozdíly výškové polohy od základny stroje.

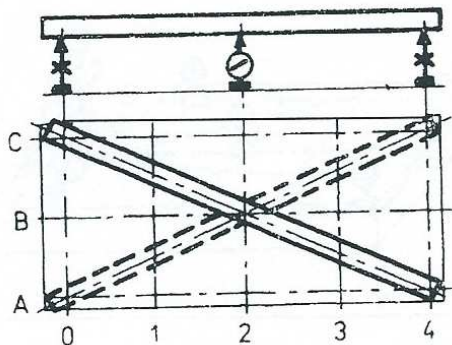
4.3.3 Měření koncovými měrkami rovnoběžnými od průměrného pravítka



Obr. 29 Měření koncovými měrkami od průměrného pravítka

Průměrné pravítko se na krajích podloží stejně vysokými koncovými měrkami. Pod prostřední část pravítka se vloží koncová měrka takové velikosti, aby se horní plochou dotýkala spodní plochy pravítka. Rozdíl velikosti měrky na kraji a měrky uprostřed udává úchylku rovinnosti daného řezu.

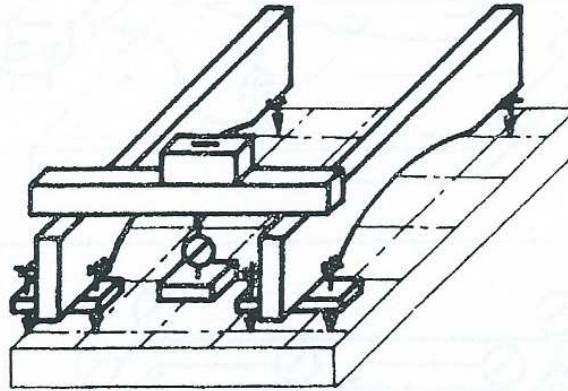
4.3.4 Měření úchylkoměrem od průměrného pravítka



Obr. 30 Úchylkoměr a průměrné pravítko

Pravítko na dvou stavitelných podporách se nastaví tak, aby uprostřed úchylkoměr ukazoval nulu. Následně pojíždíme úchylkoměrem podle pravítka a stanovujeme úchylku rovinnosti v jednotlivých bodech řezu. Měříme v úhlopříčných, podélných a příčných řezech.

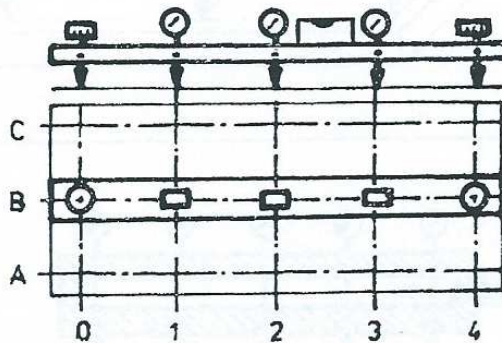
4.3.5 Měření úchylkoměrem upnutým ve speciálním stojánku od základní roviny vytvořené třemi příměrnými pravítky a vodováhou



Obr. 31 Příměrná pravítka a vodováha

Pravítka jsou na ploše nastavena pomocí vodováhy, jejíž bublinka se při pohybu pravítek vůči sobě nesmí měnit. Posouváním úchylkoměru ve speciálním stojánku sledujeme a zapisujeme změny vzdálenosti plochy od plochy příměrného pravítka. Tyto hodnoty jsou vyhodnoceny a je určena největší úchylka rovinnosti.

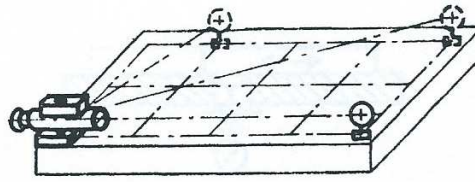
4.3.6 Měření komparačním měřidlem s několika úchylkoměry



Obr. 32 Komparační měřidlo s úchylkoměry

Přístroj je nastaven na přesné příměrné desce. Měříme v síti tvořené podélnými a příčnými řezy. Po přiložení přístroje na měřenou plochu se na jedné straně pomocí mikrometrických hlavic nastaví nula a na druhé je nastavení provedeno dle vodováhy do vodorovné polohy. Nenulová hodnota na mikrometrické hlavici a hodnoty na úchylkoměrech jsou zaznamenány a vyhodnoceny.

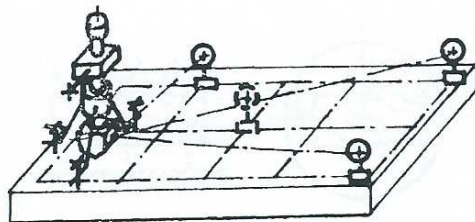
4.3.7 Měření zaměřovacím dalekohledem vodováhou a se záměrným terčem



Obr. 33 Zaměřovací dalekohled s vodováhou a terčí

Dalekohled je nastaven pomocí vodováhy do vodorovné polohy. V síti podélných a příčných řezů pohybujeme záměrným terčem a zaznamenáváme odchylky od polohy záměrného kříže dalekohledu.

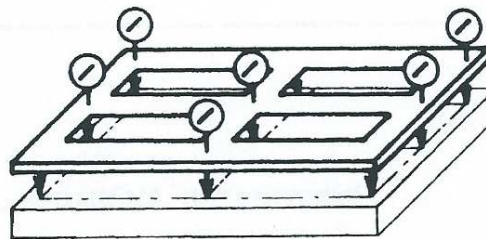
4.3.8 Měření zaměřovacím dalekohledem ve svislé poloze s pentagonálním hranolem a se záměrným terčem



Obr. 34 Zaměřovací dalekohled a záměrné terče

Měření probíhá v síti příčných a podélných řezů. Na plochu umístíme tři terče, ve stejné vzdálenosti od základny. Ustaví se dalekohled tak, aby obrazy všech tří značek ležely při otočení hranolu přibližně v oblasti nulové hodnoty záměrného kříže dalekohledu. Následně provedeme měření ostatních bodů sítě pomocí přesuvného záměrného terče.

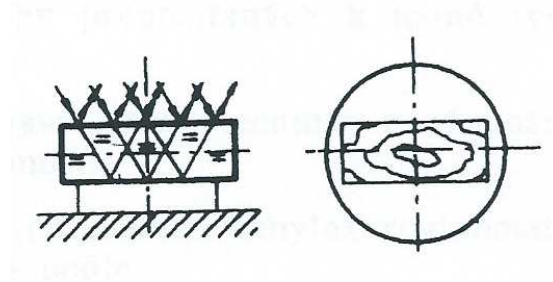
4.3.10 Komparační měření rámem s úchylkoměry



Obr. 35 Rám s úchylkoměry

Rám opatřený třemi stavitelnými podporami se doplní ve vhodných bodech úchylkoměry. Relativní nula se nastaví na přesné průměrné desce. Rám s úchylkoměry se přiloží na kontrolovanou plochu a rozdíl mezi dvěma extrémními hodnotami je považován za úchylku rovinnosti.

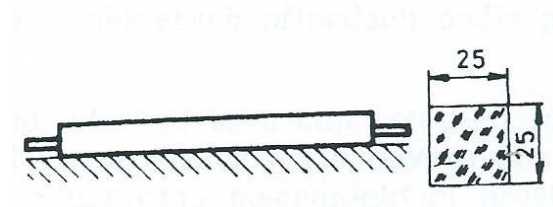
4.3.13 Interferenční metoda kontroly planparalelní skleněnou deskou



Obr. 36 Interferenční metoda

Metoda je založená na změně lomu světla po odrazu od obrobené plochy. Je-li plocha rovná, jsou viditelné interferenční čáry rovnoběžné. Nerovnost plochy způsobí jejich zakřivení.

4.3.15 Kontrola příměrnou deskou na barvu

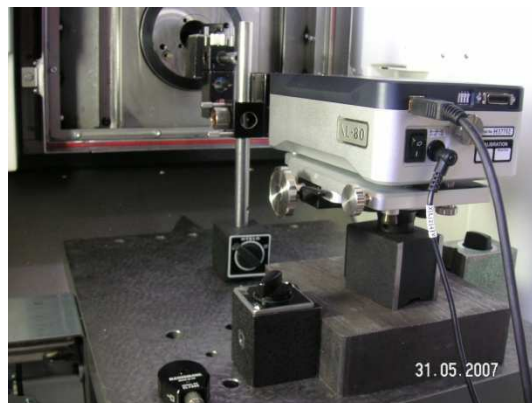


Obr. 37 Tuširovací metoda

Kontrola příměrnou deskou na barvu, neboli tušírování je metodou kontrolní – nedává absolutní výsledky. Očištěná plocha se položí na příměrnou desku s nanesenou velice tenkou vrstvou barvy. Krouživými pohyby je barva přenesena na kontrolovanou plochu. Plocha s dobrou rovinností bude rovnoměrně zabarvená po celé ploše.

4.4 Nové metody

4.4.1. Laserinterferometr



Obr. 38 Laserinterferometr (převzato z www.renishaw.de)

Jedná se o jednu z nejpřesnějších současných metod pro měření délek a změn rychlosti. Zdroj světla v podobě laserového paprsku je vyslán k měřenému objektu, zde se odrazí a vrací se zpět do přístroje. Zde jsou počítány vlnové délky odražených paprsků. Z toho je určena změna polohy či odchylka od žádané polohy měřené součásti.

4.4.2 Laser Tracker



Obr. 39 Lasertracker (převzato z www.hch-betz.de)

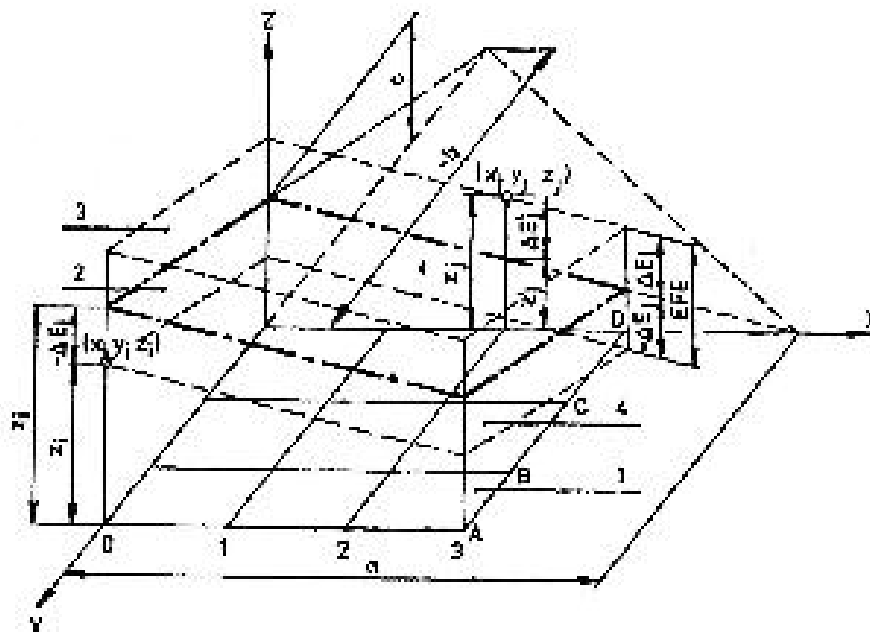
Nová metoda použitelná nejen pro měření rovinnosti je Laser Tracker. Tato metoda je založená na určení pozice optického záměrného terče. Používá se zejména pro měření rozměrných a tvarově složitých dílců (svařence apod.). Laserový paprsek sleduje záměrný terč a vyhodnocuje jeho aktuální pozici. Ve vybraných místech je pozice zaznamenána a konfrontována s výkresovou dokumentací. O to se stará software, který porovná skutečnou polohu s požadovanou a případně vyhodnotí úchylku měřené veličiny.

Měřicí dosah přístroje je až 70 m a přesnost od 10 μm , která klesá přibližně o 0.5 $\mu\text{m}/\text{m}$.

4.5 Vyhodnocení výsledků měření rovinnosti

Pro vyhodnocení úchylek rovinnosti lze obecně použít dvě skupiny metod. Metody matematické – tj. metodu střední roviny a metodu obalových rovin nebo metody grafické. Grafické metody jsou dnes již zastaralé a vzhledem k velkým možnostem zpracování matematických výpočtů pomocí počítače téměř nepoužívané.

4.1 Metoda střední roviny



Obr. 40 Střední rovina

- 1 – základní rovina souřadného systému
- 2 – střední rovina množiny změřených bodů
- 3 – horní tečná rovina množiny změřených bodů
- 4 – dolní tečná rovina množiny změřených bodů

x_i, y_i, z_i – souřadnice změřených bodů a jejich vzdálenost od střední roviny

ΔE_i – úchyly rovinnosti změřených bodů plochy od střední roviny

ΔE – celková úchylka rovinnosti měřené plochy

Základem pro výpočet je vypracovaná tabulka, obsahující souřadnice změřených bodů plochy. Provedením matematických operací získáme hodnoty $x_i^2, y_i^2, x_i * y_i, x_i * z_i$ a jejich součty. Tyto hodnoty jsou dosazeny do složité soustavy determinantů a je vypočtena rovnice střední roviny a její vzdálenost od základní roviny souřadnicového systému. Dále se určí vzdálenost změřených bodů od střední roviny.

Celková úchylka rovinnosti plochy se určí z rovnice $EFE = |\Delta E_{imax}| + |\Delta E_{jmin}|$. Kde $|\Delta E_{imax}|$ je hodnota vzdálenosti nejvyššího bodu od střední roviny a $|\Delta E_{jmin}|$ je hodnota vzdálenosti nejnižšího bodu od střední roviny.

Tato metoda je v současnosti nepoužívanější a je implementována ve většině výpočetních softwarů pro měření rovinnosti. Uživatel pouze zadává změřené hodnoty do programu a zbytek je vyhodnocen samotným během programu.

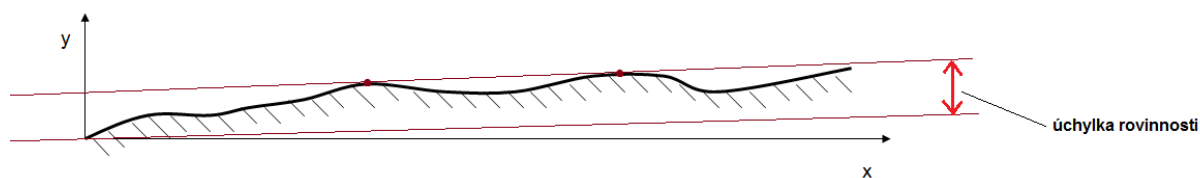
4.2 Metoda obalových rovin

1. Získání hodnot měření

2. Grafické zpracování hodnot do grafu. Při ruční práci by bylo obtížné vykreslovat prostorový spojnicový graf. Využívá se proto schématu vícenásobného spojnicového grafu, kde jednotlivé řezy (měřené přímky) utvoří samostatné grafy. Tyto se překrývají a jasně vymezují maximální a minimální hodnoty.

3. Vyhodnocení grafického záznamu. Držíme se poučky aby „nejvyšší hodnota byla vždy nejnižší“. Následují dva kroky na extrakci hodnoty rovinnosti z grafu. Pro zjednodušení uveďme metodu na příkladu přímky, tedy pro měření přímosti. Obdobně však lze postupovat i v případě rovinnosti, jen místo dvou bodů proložených přímkou prokládáme tři body rovinnou.

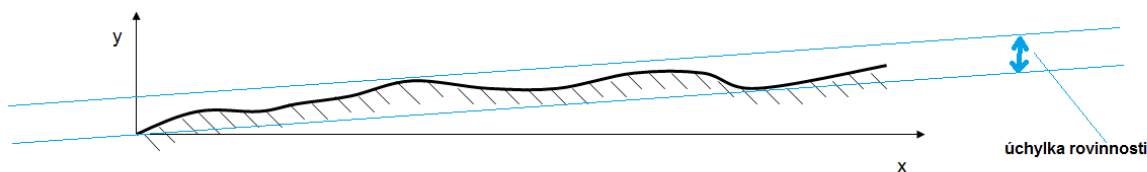
a) úchylka dle dvou nejvyšších bodů profilu



Obr. 41 Metoda nejvyšších bodů

Dvěma nejvyššími body profilu vedeme obalovou přímkou (rovinu). Nejnižším bodem profilu vedeme přímkou (rovinu) rovnoběžnou s obalovou přímkou (rovinou). Vzdálenost obou přímek (rovin) je hledanou úchylkou přímosti (rovinnosti).

b) úchylka dle dvou nejnižších bodů profilu



Obr. 42 Metoda nejnižších bodů

Dvěma nejnižšími body profilu vedeme obalovou přímkou (rovinu). Nejvyšším bodem profilu vedeme přímkou (rovinu) rovnoběžnou s obalovou přímkou (rovinou). Vzdálenost obou přímek (rovin) je hledanou úchylkou přímosti (rovinnosti).

Z kroků *a* a *b* vybereme menší hodnotu, jež nám udává hledanou přímost daného profilu.

5 Porovnání způsobů měření

Každý výrobní podnik si uchovává svou specifickou metodu na měření rovinnosti a přímosti. Tyto informace málokterá firma dobrovolně zveřejňuje. Srovnání jednotlivých metodik v různých výrobních podnicích je však poměrně zajímavé. TOS Kuřim OS a.s. je součástí skupiny ALTA, v jejímž portfoliu najdeme další významné české podniky zabývající se výrobou obráběcích strojů, nebo podobnou výrobou. Pro potřeby této práce se podařilo získat informace o metodikách používaných v těchto podnicích.

Díky této skutečnosti lze srovnat používané metodiky v TOS Kuřim, ČKD Blansko a Škoda MACHINE TOOL.

5.1 Měření rovinnosti a přímosti v ČKD Blansko OS a.s.

ČKD Blansko společně s TOS Kuřim dnes tvoří prakticky jednu firmu. Výroba i montáž probíhají společně a proto i měřicí postupy jsou prováděny obdobným způsobem tak jak je uvedeno výše v kapitole 2.

5.2 Měření rovinnosti a přímosti ve Škoda MACHINE TOOL

Nosným výrobním programem firmy Škoda MACHINE TOOL je výroba vodorovných vyvrtávaček a hrotových soustruhů. Podobně jako v TOS Kuřim probíhá v této výrobě měření velkých částí těchto strojů – jsou to zejména lože a stojany vyvrtávaček.

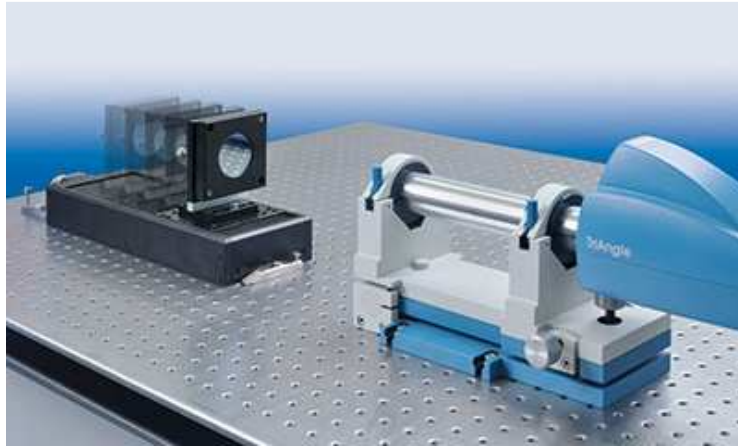
Rozlišujeme dva druhy měření – měření geometrických vlastností jednotlivých kusů a měření těchto vlastností na sestaveném stroji. Stejně jako v tématu práce bude v této kapitole nahlíženo jen na měření jednotlivých dílců strojů.

Pro měření přímosti a rovinnosti jsou používány následující metody.

5.2.1 Měření autokolimátorem

Tato metoda je analogická s metodou používanou ve firmě TOS Kuřim s několika drobnými odlišnostmi. Autokolimátor je ustaven a vyrovnán pomocí libel na samotném měřeném kusu. Odrazové zrcátko je upevněno na měřicím můstku dlouhém 500mm. Při měření se odrazové zrcátko posouvá směrem k autokolimátoru s krokem 500mm. Hodnoty v jednotlivých krocích jsou zapisovány. Autokolimátor používaný v ŠMT je pouze optický, bez digitálního vyhodnocení dat.

Vyhodnocení probíhá ve formě vypracování grafu na milimetrovém papíře.



Obr. 43 Autokolimátor (ilustrační foto, převzato z www.trioptics.com)

5.2.2 Měření mikroskopem od napnuté struny

Měření mikroskopem s přesností 2 μm , kalibrovaným drátem (strunou) 0,2 – 0,4 mm napnutým mezi držáky 91-EMM 0290 se závažím začíná připevněním držáků na lože a napnutím struny. Drát je v koncových polohách cca 100 mm od konce vyrovnán tak, aby odchylka byla na obou koncích stejná. Měří se s krokem 500 mm odchylka od bočního vedení lože. Měření se provádí třikrát a je vyhodnocena průměrná hodnota z těchto tří měření. Výsledné odchylky jsou vyhodnoceny ve formě grafu na milimetrovém papíře.

Touto metodou je měřena jen přímota bočních vodících ploch stroj. Podobně jako ŠKODA MACHINE TOOL tuto metodu používají i v TOS Kuřim.

5.2.3 Měření pomocí elektronické libely TESA NIVELTRONIC

Libela je postavená na měřené ploše na granitové podložce 500 mm dlouhé. Posouváním s krokem 500 mm jsou získávány odchylky přímoty a zaznamenány. Měření probíhá na všech drahách lože ve dvou kolmých směrech, čímž je vytvořena síť pro aproximaci rovinnosti lože.

Naměřené hodnoty jsou vyhodnoceny v podobě grafu na milimetrovém papíře, nebo pomocí aplikace vytvořené v prostředí MS Excel.



Obr. 44 Libela NIVELTRONIC

5.3 Rozvoj měření rovinnosti

Jedním z cílů práce je navržení možností rozvoje měření rovinnosti s důrazem na úsporu času při tomto měření a případné zjednodušení těchto měření pro obsluhu.

Současná metodika s ručním záznamem některých hodnot a jejich ručním vyhodnocením grafickou metodou skýtá mnohá úskalí. Kromě velké časové náročnosti této metody je zde také limit v přesnosti daný velikostí milimetrového papíru, tloušťkou použité tužky a podobně.

Možná doporučení se týkají tří oblastí, ve kterých je potenciál zefektivnění postupů.

5.3.1 Efektivní využití softwarových nástrojů

Postup používaný aktuálně k měření rovinnosti kombinuje dvě měřidla, která jsou obě digitální a umožňují propojení s počítačem. Data lze importovat přímo do počítače bez nutnosti jejich ručního záznamu. Tímto se odstraní možnost chyby lidského faktoru při dvojnásobném přenosu hodnot – z měřidla na pracovní list papíru a posléze do konečného grafu.

U autokolimátoru je toto využíváno a data jsou sbírána a vyhodnocována pomocí softwaru od firmy Taylor Hobson. Tento software umožňuje pouze vyhodnocování přímosti. Možnost zefektivnění měření pomocí autokolimátoru spočívá v dokoupení příslušného programového modulu do stávajícího programu pro vyhodnocování rovinnosti. Rovinnost by pak byla měřena pouze autokolimátorem, kterým by se měřili podélné, příčné a uhlopříčné řezy, které by software automaticky vyhodnotil a určil úchylku rovinnosti měřené plochy.

K digitální libele náleží software Levelsoft PRO od firmy WYLER. Tento software je používán pro měření rovinnosti stolů a desek. Jeho užití však není příliš časté zřejmě z důvodu zažití současné „ruční“ metody. Vzhledem k možnostem softwaru není nutné provádět ruční záznam měřených hodnot a veškerá data zpracovávat pouze elektronickou cestou.

Pro komplexnější možnosti využití digitální libely je možné zakoupit od výrobce měřidla (WYLER) software MTsoft, který umožňuje mimo měření a vyhodnocování přímosti a rovinnosti také měření vedení, rotačních elementů a kruhových ploch. Tento software by také mohl být, vzhledem ke svojí všestrannosti, efektivně využit při montáži stroje.

5.3.2 Využití jiného měřicího zařízení

Pro měření rovinnosti lze využít zcela jiné měřicí přístroje, než s jakými je toto měření doposud prováděno. Z nejmodernějších zařízení lze využít například Laser Tracker, jež je popsán v kapitole 4.4.2 nebo laserinterferometr popsáný v kapitole 4.4.1. Obě tyto metody jsou vysoce produktivní a využívají softwarových nástrojů pro rychlé a pohodlné vyhodnocování výsledků měření. Přesnost obou metod je pro požadavky měření dostatečná.

Lasertracker má továrna víceméně k dispozici a to u partnerské firmy INTEMAC v areálu firmy. Jedná se o přístroj LEICA AT 901-MR, jehož měřicí dosah je 50 m a přesnost 0,4 μm a klesá o 0,3 $\mu\text{m}/\text{m}$. Přesnost i dosah měřicího zařízení je pro většinu prováděných měření dostačující. Není však přesnější než současné metody. Přínosem by tato metoda byla

s ohledem na komfortnost měření a úsporu času. Přístroj byl použit pro několik měření, a to jak rovinnosti, tak pro komplexní měření zkušebních obrobků. Vzhledem k tomu, že na měření si ho musí firma pronajmout včetně obsluhy, není ve výrobě k běžnému měření používán.

5.3.3 Rozvoj metrologického systému

K samotnému průběhu měření náleží také možnost jeho opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Firma je certifikačním orgánem označena jako splňující požadavky normy ISO řady 9000. Do jejích náležitostí spadá i zavedený a fungující měrový řád. Proto jako velký nedostatek metrologického systému byla shledána absence měřících postupů v písemné podobě. Veškeré know-how je tak spojeno s konkrétními osobami. Vytvoření jasných a závazných měřících postupů komplikuje fakt, že měření se velmi zřídka opakují. Jednotlivé obrobky jsou téměř vždy unikátní. V širším měřítku se však jedná o typově shodné díly (lože, portál apod.) byť se v detailech odlišují. Je zde tedy možnost vytvoření postupů aplikovatelných obecně na různé typy dílců.

Ze srovnání metodik měření rovinnosti plyne, že Škoda MACHINE TOOL takové postupy má i když je její produkce srovnatelná s produkcí TOS Kuřim. Jejich existenci umožňuje právě jejich obecnost.

Tyto postupy jsou nejenom důležitou součástí uchování interního know-how továrny a jednotnosti při provádění měření, ale jsou také požadavkem normy ČSN EN ISO 10012:2003 (Metrologický certifikační systém).

Z hlediska zjednodušení komunikace a zefektivnění měření lze do budoucna doporučit zpracování jednotných metodických postupů pro měření napříč výrobními podniky skupiny ALTA. Takový záměr již v minulosti patrně existoval, podle dostupných informací však nebyl nikdy realizován a procesy k jeho znovuoživení neprobíhají.

6. Závěr

Cílem práce bylo podrobně rozebrat současnou metodiku používanou pro měření rovinnosti ve firmě TOS Kuřim a představit všeobecně používané postupy a postupy doporučené normami. Z další části vyplynuly rozdíly v metodikách použitých v ostatních výrobních podnicích skupiny ALTA.

Z rozboru metodiky vyplynulo, že současné metodiky jsou značně nejednotné a liší se od měřeného kusu. Jako nápravné opatření bylo navrženo zpracování závazných vnitropodnikových metodik, nebo metodik pro všechny výrobní podniky ve skupině.

Vylepšení metodiky lze také spatřovat v ucelenějším a efektivnějším využití digitálních měřidel napojených na výpočetní techniku jak bylo navrženo v páté kapitole, čímž lze měření urychlit a usnadnit.

Pro mě byla práce přínosem zejména díky možnosti nahlédnutí do technické praxe v zajímavém prostředí významné české strojírenské firmy.

7. Seznam použité literatury

- [1] MLČOCH, Lubomír a Ivan SLIMÁK. *Řízení kvality a strojírenská metrologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-223-87.
- [2] Kolektiv nakladatelství Diderot. *Všeobecná encyklopedie, 1. – 8. svazek*. 1. vydání. Praha: DIDEROT, 1999. 422 stran, ISBN 80-902555-2-3
- [3] ZVONEČEK, František. *Dílenská metrologie - přednášky*. Plzeň, 2010.
- [4] ČSN 01 4421. *Měření úchylek přímosti*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1983.
- [5] ČSN 01 4422. *Měření úchylek rovinnosti*. Praha 10: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1982.
- [6] ČSN ISO 230-1. *Zásady zkoušek obráběcích strojů: Část 1: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za kvazistatických podmínek*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] ČSN EN ISO 12780-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímost: Část 1: Slovník a parametry přímosti*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [8] ČSN EN ISO 12780-2. *ČSN EN ISO 12780-2 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímost: Část 2: Operátory specifikace*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [9] ČSN EN ISO 12781-1. *ČSN EN ISO 12781-1 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Rovinnost: Část 1: Slovník a parametry přímosti*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [10] ČSN EN ISO 12781-2. *ČSN EN ISO 12781-1 Geometrické specifikace produktu (GPS) – Rovinnost: Část 2: Operátory specifikace*. Praha: ÚNMZ, 2011.

8. Seznam použitých internetových zdrojů

- [1] TOS Kuřim-OS a.s. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: www.tos-kurim.cz
- [2] Škoda MACHINE TOOL a.s. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: www.skodamt.com
- [3] ČKD Blansko-OS a.s. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://www.ckd-blansko.cz>
- [4] WYLER AG: Minilevel NT. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: http://www.wylerag.com/pages_eng/e4_31.html
- [5] Taylor Hobson: Autocollimator. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://www.taylor-hobson.com/products/25/110.html>
- [6] Renishaw: Laserinterferometer. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: www.renishaw.de
- [7] Heinrich Betz KG: 3D Laser Tracker. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://www.hch-betz.de/de/leistungen/3D-messung.php>
- [8] Trioptics: Measurement Applications. [online]. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://www.trioptics.com/triangle/application.php>