

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA FYZIKY

Bakalářská práce

České Budějovice 2008

Marek Řezníček

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Využití systémové měřicí techniky ve strojírenství

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý

Autor: Marek Řezníček

Anotace:

Práce se zabývá problematikou měření ve strojírenství (délková a tvarová), jaké jsou kladeny nároky na tuto oblast, průběhy vybraných měření, kalibrace strojů a obecně kontrolou výrobků ve výrobních provozech.

Cílem bakalářské práce je přiblížit studentům praktické využití měřicí techniky ve strojírenství. Popsány jsou vybrané měřicí stroje a přístroje ve školních podmínkách a výrobní praxi, popřípadě možnosti jejich využití při studiu technických oborů na vysokých a průmyslových školách.

Abstrakt:

The thesis deals with the problems of measurement in mechanical engineering. It covers the demands in the field, the implementation of selected measurements, machine calibration and factory output quality control in general.

The aim of this thesis is to introduce the practical use of measurement techniques and measuring equipment used in mechanical engineering. Presented is the description of the selected measuring instruments and tools used in schools and in practice, eventually their use in the technical courses at universities and engineering schools.

Prohlášení:

Prohlašuji, že předloženou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedené (citované) literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum

Podpis

Poděkování:

Touto cestou děkuji svému konzultantovi Ing. Petru Krejzovi za odbornou pomoc při psaní bakalářské práce. Dále děkuji panu Václavu Novotnému, Janu Regentovi, Milanu Tarasovi a vedoucímu mé bakalářské práce PaedDr. Bedřichu Veselému za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce. Také bych chtěl poděkovat panu Luďku Vrškovi za umožnění přístupu k jednotlivým měřicím přístrojům.

Obsah:

1.	Z historie měření.....	8
2.	Teorie měření.....	14
2.1.	Základní pojmy měřicí techniky.....	14
2.2.	Uspořádání měření.....	16
2.3.	Chyby měření.....	18
3.	Školní měřicí přístroje.....	21
3.1.	Úlohy základní, délkové a měření tvarů a úchylek.....	21
3.2.	Úlohy mechanické.....	27
4.	Druhy měření ve strojírenství.....	39
4.1.	Měření výrobku ve výrobním provozu.....	40
4.1.1	Nástrojové kalibry.....	40
4.1.2	Posuvná a stojanová měřidla.....	43
4.1.3	Měření drsnosti povrchu dílenskými drsnoměry.....	45
4.2.	Měření výrobku v kontrolním středisku.....	46
4.2.1.	Laboratorní drsnoměr.....	47
4.2.2.	Laboratorní profiloměr.....	53
4.2.3.	souřadnicové měřicí stroje.....	58
4.2.3.1.	Princip sořadnicových měřících strojů.....	59
4.2.3.2.	Eclipse.....	68
4.2.3.3.	Prismo.....	69
4.2.3.4.	Contura a Accura.....	70
5.	Závěr.....	72
6.	Seznam použité literatury.....	73
7.	Přílohy.....	74

Úvod:

Práce má za cíl přiblížit studentům, zájímajícím se o strojírenství, měřicí technologie, které se nejčastěji používá ve výrobních provozech. Vybral jsem si toto téma, protože mne osobně zajímá technologický postup při kontrole výrobků a cesta výrobku od obráběcího stroje k zákazníkovi. Zaměřil jsem se na výrobní závod ČZ a.s. ve Strakonících - divize auto, protože jsem zde vykonával odbornou praxi pro střední i pro vysokou školu a pracuji zde jako brigádník.

Proces kontroly výrobků se neustále vyvíjí. Kladou se stále větší nároky na přesnost a rychlost měření, mění a upravují se normy. Ve své práci se zaměřím také na historický vývoj některých měřících přístrojů až k dnešním dostupným a běžně používaným přístrojům. Největší problém je udržet standard výroby, tj. vyrobit stejné dva kusy.

Víceméně je tato práce zaměřena jako ukázka technické kontroly v závodě ČZ a.s. ve Strakonících. Zaměřím se na měřicí přístroje používané ve výrobním procesu a technické kontrole. Můj poradce a konzultant je ing. Petr Krejza, zaměstnanec zastoupení firmy Carl Zeiss pro Českou republiku - oddělení průmyslová měřicí technika, která se zabývá výrobou, prodejem, poprodejní podporou průmyslové měřicí technik.

Pomocí měření se ve výrobním procesu ověřuje shoda znaků jakosti s požadavky výkresové dokumentace, podle obecně platných strojírenských norem (ČSN, EN, ISO, QS) platných v mezinárodním měřítku a zároveň norem, které si určují jednotliví zákazníci (QCI, Toyota, VDA). V případě zvláštních ustanovení a požadavků zákazníka se hovoří o „specifických požadavcích zákazníka“.

Problematika měření se zbývá širokou škálou zjišťování vlastností výrobků (i polotovarů), namátkově bychom mohli jmenovat: chemické složení materiálu fyzikální vlastnosti materiálu (pevnost materiálu, korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, agresivita vůči životnímu prostředí apod.). Jedním z nejdůležitějších typů měření je měření rozměrů, o kterém pojednává tato práce.

Základním předpokladem pro objektivní výsledky měření je dodržení požadovaných zásad, opět zde jmenujeme pouze ty, které výsledky měření ovlivňují zásadně.

Základní faktory ovlivňující výsledky rozměrových měření: teplota měřeného dílu i měřících prostředků, čistota, přesnost měřidla, upínání (stabilizace) měřeného dílu

i měřidla, kalibrace měřidel, vhodný výběr měřidel (jak z hlediska rozsahu, tak i z hlediska typu – např. pro měření průměry otvorů můžeme většinou volit mezi kalibrem a dutinoměrem), stabilita okolního prostředí (teplota, otřesy ...) a v neposlední řadě i metodika měření.

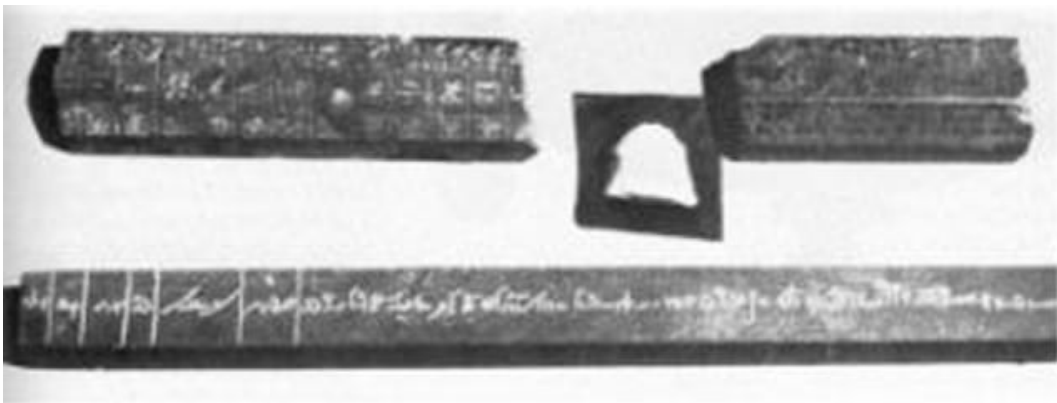
Metodika měření má na výsledky měření jeden z největších vlivů, proto je nutné přesně určit postup, kterým měření probíhá: fotonávodky, určení místa měření, použité snímače a nastavení měřících strojů, přesná definice snímačů a jejich použití.

Všechny tyto a mnohé jiné faktory mají podstatný vliv na dodržení standardů měření, které jsou nutné pro to, aby jednotlivá měřící pracoviště měla v rámci přesnosti měřidel u stejného dílu shodné výsledky. Neshodné výsledky mohou způsobovat nedorozumění mezi spolupracujícími společnostmi i ve vztahu „dodavatel – zákazník“.

1. Z historie měření

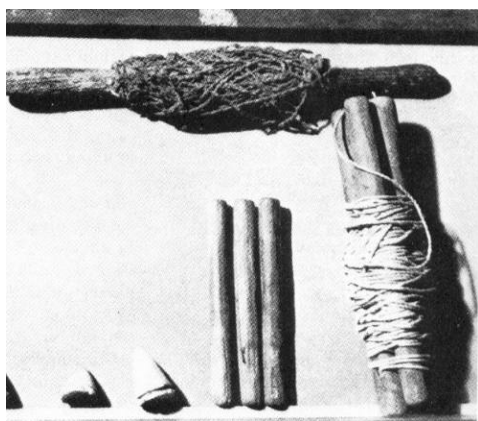
Od doby, co se na planetě Zemi vyskytl druh Homo sapiens a začal si budovat obydlí, bylo zapotřebí měření. Sice se jednalo o měření primitivní, ale bylo to měření. Spočívalo převážně v porovnávání s nějakým předmětem (větví, kamenem, atd.) a tento způsob se používá dodnes. Je jen vyspělejší, používají se předměty ze stabilních materiálů, často označené stupnicí.

Dá se říci, že mezi prvními národy, které vyvinuly první postupy měření, patřili staří Egypťané (přibližně 3000 let př. n. l.). Jejich měření délky a hmotnosti bylo na svou dobu dokonalé. Jako každý stavitel ani stavitelé pyramid se neobešli bez plánů a vyměřování. Do dnešní doby se zachovala celkem přesná pravítka z kamene a archeologové soudí, že existovala podobná, lacinější a častější pravítka dřevěná.

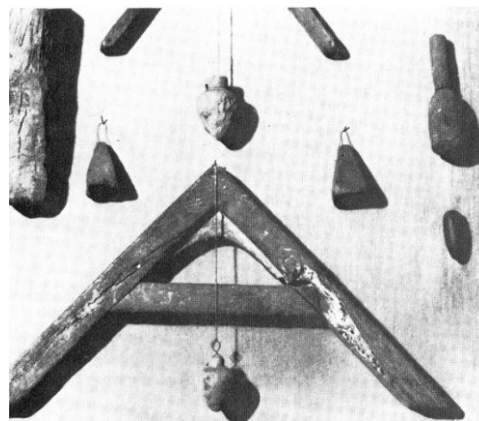


obr. 1 – egyptská kamenná pravítka

Znali i pásma na vyměřování - byla dřevěná s provazem z palmových vláken. Pro složitější měřičské práce používali stavitelé pyramid pravoúhlé trojúhelníky s olovnicí, které mimo jiné nahrazovaly dnešní vodováhy.

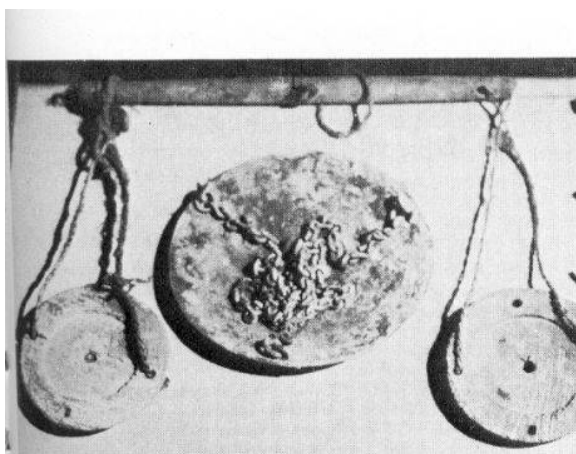


Obr. 2 – provazová měřidla



Obr. 3 – pravouhlé „vodováhy“

Také měření hmotnosti měli Egypťané velmi dobře promyšlené. Váha založená na nejjednodušším principu - principu rovníramenné páky: dvě stejně dlouhá ramena váhy mají na každém konci zavěšenou misku, na jednu se klade předmět, který má být zvážen, a na druhou závaží.



Obr. 4 – rovníramenné váhy

Váhy provázely Egypt po celou dobu jeho historie. K vyvažování břemen se užívala závaží z různých materiálů. Nejběžnějším byl kámen: čedič, žula, diorit, porfyr, syenit, vápenec, pískovec, krevel, hadec, atd. Kromě kamene se používalo k výrobě závaží i kovu: olova, bronzu, železa.



Obr. 5 – vyvažovací závaží

Dalším z vynálezů, který značně pomohl lidstvu, byly přesýpací hodiny. Tyto jsou typem hodin, využívajícím pro měření času pohyb písku v důsledku působení gravitace. Skládají se ze dvou skleněných baněk umístěných nad sebou a spojených úzkým hrdlem. Písek z horní baňky postupně přechází do spodní baňky. Jakmile uplyne měřený časový úsek (závisí na charakteru přesýpacích hodin), je horní baňka prázdná a hodiny se musí obrátit, aby mohl být měřen další úsek.



Obr. 6 – Přesýpací hodiny

Přesýpací hodiny byly jednou z mála spolehlivých metod měření času a jsou domněnky, že se používaly již v 11. století, kdy pomáhaly společně s magnetickým kompasem navigovat lodě.

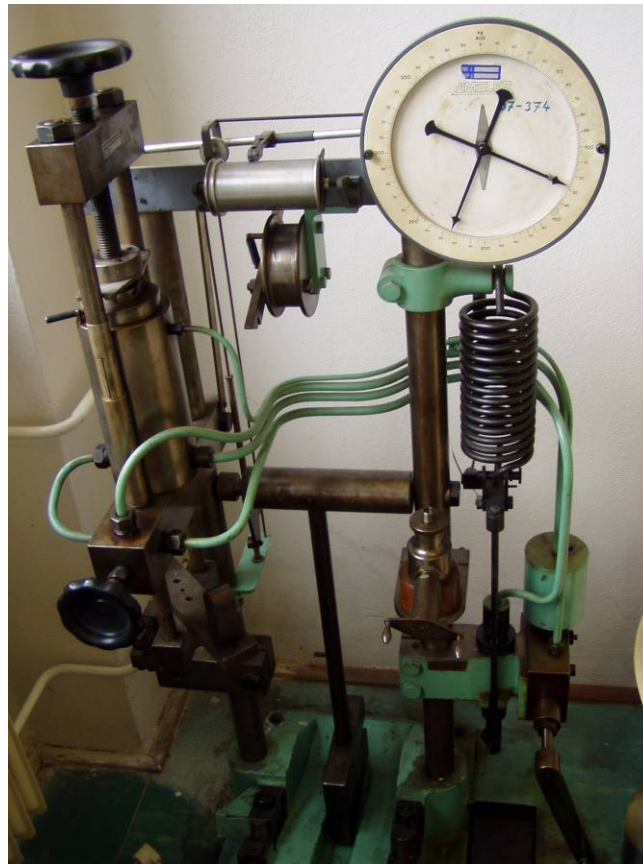
Nicméně důkazy o existenci přesýpacích hodin pocházejí až ze 14. století, díky obrazu z roku 1328 malíře Ambrogia Lorenzettiho. Nejstarší psaná zmínka pochází ze stejného období. Od 15. století se již přesýpací hodiny používaly v nejrůznějších odvětvích, na moři, v kostele, v průmyslu či v gastronomii. Byly prvním spolehlivým, znovu použitelným a poměrně přesným měřidlem času, avšak nedaly se použít jako spolehlivý základ k fyzikálním experimentům.

Až Galileo Galilei zavádí vědecký přístup k měření a jeho výrok: „Měřit vše, co je měřitelné a co není, měřitelným učinit,“ je dodnes velice výstižným a známým. Když se pokoušel v 16. století měřit přesný čas, který potřeboval k vypracování zákona pro zrychlení padajících těles, měla ho většina lidí za blázna a pošetilce. Pozdější výzkum potvrdil platnost jeho měření. Experimenty s padajícími tělesy (konkrétně s valíci se koulemi) byly zopakovány metodami popsanými Galileem a přesnost výsledků byla ve shodě s Galileovými zprávami. Pozdější výzkumy Galileových nepublikovaných pracovních zápisků z doby před rokem 1604 jasněji ukázaly reálnost experimentů a dokonce naznačily dílčí výsledky, které vedly k odvození zákona obsahujícího kvadrát času.

Galileo používal k měření času kyvadlo, u kterého si všiml, že kmity kyvadla vždy trvají stejný časový úsek, nezávisle na amplitudě výchylky. I když Galileo věřil, že rovnost periody je přesná, tento vztah platí pouze přibližně pro malé výchylky. Lze to však dobře využít k usměrňování hodinových impulsů, což si Galileo jako první uvědomil.

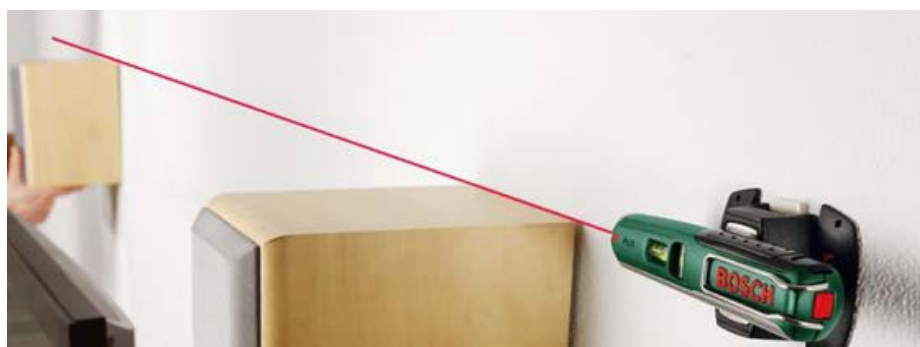
Až vědeckotechnická revoluce a hlavně objev způsobu výroby (přeměny) elektřiny způsobil rozmach ve všech oborech, tudíž i v měřicí technice. I když se přímo při měření elektřiny nevyužívá, byly s její pomocí vyrobeny měřicí přístroje.

Z doby nedávno minulé bych rád uvedl kombinovaný stroj Amsler na statické a dynamické zkoušky, na kterém lze provádět, ohybové zkoušky, tlakové zkoušky a měření vrubové houževnatosti materiálu rázovou zkouškou v ohybu pomocí Charpiho kyvadlového kladiva.



Obr. 7 – měřicí přístroj Amsler

V současné prakticky využívané měřicí technice jsou také velmi využívané laserové měřicí přístroje. Od laserových tužek, používaných jako vodováhy až po měření vzdálenosti, hustoty materiálu, atd.



Obr. 9 – laserové měřidlo

V dnešní době se jsou úplnou špičkou souřadnicové měřicí stroje, které jsou ve většině případů řízeny pomocí počítače a speciálně vyvinutého software. Pokud je třeba provádět průběžné kontroly přímo na pracovišti, používají se ruční měřicí přístroje.



Obr. 8 – portálové délkové měřidlo od firmy Zeiss

2. Teorie měření

2.1. Základní pojmy z měřicí techniky

Měření fyzikální veličiny je číselné vyjádření její hodnoty, tj. součin číselné hodnoty a příslušné jednotky.

Měřicí metoda se používá přímá nebo nepřímá. Přímá měřicí metoda vychází z definice měřené veličiny, nepřímá měřicí metoda vychází z určení funkční závislosti měřené veličiny na jiné fyzikální veličině.

Měřicí přístroj (měřicí zařízení) realizuje zjištění hodnoty měřené veličiny. Vstupní veličinou do měřicího přístroje je analogová měřená veličina, výstupní veličinou je analogový nebo číslicový signál. Jednoduchý měřicí přístroj tvoří konstrukční celek - např. skleněný teploměr, deformační tlakoměr apod. Měřicí zařízení je tvořeno měřicím řetězcem.

Měřicí řetězec je tvořen několika členy, které jsou spolu zapojeny do měřicího obvodu. Tyto členy získávají, upravují a přenášejí, popř. zpracovávají informace o měřených veličinách. Podle toho se také jednotlivé členy nazývají.

Čidla a snímače měřených veličin snímají jejich časový průběh a převádějí na jinou fyzikální veličinu, tzv. měronosnou veličinu - signál. Signály musí být v jednoznačné závislosti k měřené veličině a dobře zpracovatelné. Signály jsou spojitě a nespojitě.

Spojitý signál (analogový) se mění s časem spojitě a mírou velikosti měřené veličiny je amplituda signálu. Spojité signály se zpracovávají analogovými přístroji.

Nespojité signály se mění s časem nespojitě - přetržitě. Těmto signálům se říká též signály

diskrétní nebo číslicové. Diskrétní signál lze získat z analogového vzorkováním ve zvolených časových intervalech. Mírou velikosti měřené veličiny je amplituda v rozsahu od 0 do 100 %, šířka signálu je přitom konstantní. Nespojité signály lze také zpracovat přímo v číslicových přístrojích. Převod analogových signálů na číslicové provádějí analogově-číslkové převodníky na úměrný počet impulsů, popř. se převádějí přímo na číslicový údaj na počítadlech.

Měřicí a funkční převodníky - převádějí měronosný signál na unifikovaný signál. Funkční převodníky jsou např. převodníky napětí-proud, nelineární a elektricko-pneumatické. Měřicí kanály jsou členy pro přenos informace - vodiče pro přenos

elektrického signálu a impulsní potrubí pro přenos pneumatického a hydraulického signálu. Pro bezdrátový přenos elektrického signálu slouží vysílací a přijímací systémy (modemy).

Vyhodnocovací přístroje slouží ke zpracování signálu. Patří sem ukazovací a zapisovací přístroje, tiskárny, digigrafy, měřící magnetofony, měřící a informační systémy apod. Z hlediska použité metody zpracování signálu rozeznáváme přístroje výchylkové, kompenzační a integrační.

Výchylkové přístroje udávají velikost signálu na základě rovnováhy sil nebo momentů. Kompenzační přístroje využívají samostatného zdroje kompenzační veličiny, úměrné měřené veličině. Výhodou kompenzačních přístrojů je to, že snímač není zatěžován. Integrační přístroje (nazývané též měřice) sčítají hodnotu měřené veličiny v pravidelných časových intervalech, popř. průběžně.

Řídicí systémy včetně řídicích počítačů patří mezi členy pro využití informace v automaticky řízených obvodech. Inteligentní měřící systémy obsahují obvody pro zpracování signálu z čidla a přenos přes rozhraní do sběrníkových sítí.

2.2. Uspořádání měření

K získání objektivních hodnot měřených veličin je nutno zachovat určitý pracovní postup nejen při vlastním měření, ale především při jeho přípravě, při vyhodnocování měření a při rozboru chyb.

Příprava měření je nejdůležitější etapou experimentu, protože musí zajistit zdárný průběh vlastního měření a zajistit, aby experimentátor byl plně poučen o záměrech experimentu a o postupu měřičských prací. Přitom musí být zvoleno vhodné měřicí zařízení a správné uspořádání měření. Při přípravě měření je nutno provést podrobný rozbor měřeného problému především s ohledem na účel měření, a to v těchto fázích:

a) volba druhu a počtu měřených veličin z hlediska jejich důležitosti a potřeby,

b) volba přesnosti měření z hlediska potřeby (podle zásady: "Měřit pouze tak přesně, jak potřebujeme a ne tak, jak jsme schopni"),

c) volba měřicí metody z hlediska požadované přesnosti a zpracování naměřených hodnot,

d) volba konfigurace měřicího řetězce z hlediska předchozích požadavků a účelu měření,

e) volba měřících míst a správného zabudování snímačů a jejich příslušenství z hlediska jejich přístupnosti,

f) volba ochrany měřicího zařízení proti působení rušivých vlivů vnějšího prostředí (např. magnetického pole, elektrického pole, vlhkosti a teploty okolního prostředí, otřesy, atd.)

g) předběžný rozbor chyb měření z hlediska dovolených chyb měřených veličin a z toho vyplývajících požadavků na výslednou přesnost, popř. nejistot měření.

Jednotlivé fáze přípravy měření navzájem spolu souvisejí a ovlivňují se. Aby bylo možno takový podrobný rozbor měřického problému provést a vyslovit správné závěry, je třeba znát fyzikální podstatu a funkci jednotlivých členů měřicího řetězce, jejich vlastnosti statické a dynamické, měřicí metody a systémy.

Vlastní měření

K úspěšnému průběhu vlastního měření je třeba zajistit bezporuchovou činnost všech členů

měřicího řetězce včetně indikace naměřených veličin a i z hlediska zvoleného způsobu zpracování výsledků měření.

Zpracování výsledků měření

Abychom určili nejpravděpodobnější hodnoty měřených veličin je třeba naměřené hodnoty vhodným způsobem zpracovat i z hlediska rozboru vyskytujících se chyb, popř. určit nejistoty měření. V případě nepřímých měření je třeba určit analytické aproximace funkčních závislostí vhodnými matematicko-statistickými metodami.

2.3. Chyby měření

V praxi nejsou žádná měření, žádná měřicí metoda ani žádný přístroj absolutně přesné. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím procesu vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou sledované veličiny. Výsledek měření se tak vždy pohybuje v jistém „tolerančním poli“ kolem skutečné hodnoty, ale téměř nikdy nenastává ideální ztotožnění obou hodnot. Přiblížení se k nulové velikosti odchylky vytváří velké potíže i u realizace etalonů. Výsledný rozdíl mezi oběma hodnotami je někdy tvořen i velmi složitou kombinací dílčích faktorů. Dosud bylo zvykem při vyhodnocování souborů naměřených hodnot pracovat s chybami. Nově je vyhodnocování prováděno prostřednictvím vyjádření nejistot měření. Uvádím zde základy teorie chyb.

Chyby se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách. Podle jejich působení lze chyby rozdělit na systematické, náhodné a hrubé. Podle svého zdroje se rozdělují na chyby přístroje, metody, pozorování a vyhodnocení.

Jako chyba absolutní Δy se označuje rozdíl mezi hodnotou naměřenou y_m a skutečnou x_s .

Podělíme-li absolutní chybu skutečnou hodnotou, dostaneme poměrné vyjádření chyby, tj. chybu relativní δx . Platí tedy

$$\Delta y = y_m - x_s \quad (1.1)$$

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{x_s} = \frac{y_m - x_s}{x_s} \quad (1.2)$$

Systematické chyby jsou při stálých podmínkách také stálé co do velikosti i znaménka a svým působením systematicky ovlivňují výsledek měření. Ke stanovení jejich velikosti postačí zpravidla vztah (1.1). Z hlediska uživatele měřicí techniky jsou systematické chyby sympatické tím, že je lze z velké části určit a jejich vliv je možné zmenšit, např. pomocí korekcí, kompenzací apod. Takto se zpravidla podaří odstranit podstatnou část jejich negativního vlivu na měření, ale zůstane ještě zbytek, který lze označit jako nevyločené (nevylučitelné) systematické chyby.

Náhodné chyby působí zcela nahodile, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko. Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaných měření s použitím statistických metod, odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem

rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi velmi často jde o rozdělení normální – Gaussovo, které se používá ve většině aplikací. Výsledek měření, stanovený ze souboru opakovaných měření realizovaných za stejných podmínek, je reprezentován aritmetickým průměrem získaným při n opakováních z hodnot $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$, tj.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1.3)$$

Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru s , méně často směrodatná odchylka aritmetického průměru $S_{\bar{y}}$, získané ze vztahů

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta_{yi}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (1.4)$$

$$S_{\bar{y}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}} \quad (1.5)$$

Obě směrodatné odchylky patřičným způsobem blíže charakterizují chování náhodných chyb.

Hrubé chyby jsou z předchozího pohledu zcela nevyzpytatelné. Měření zatížené hrubou chybou znehodnotí celý experiment, a proto naměřené hodnoty, které výrazně „vybočují z řady“, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyby, se vyloučí z dalšího zpracování. Omezit riziko jejich výskytu lze důsledným dodržováním příslušných měřicích postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy.

Výsledná chyba měření je vyjadřována jako součet systematické a náhodné složky, což lze zapsat

$$\Delta_x = e + \varepsilon \quad (1.6)$$

a její maximální hodnotu je možné odhadnout jako

$$\Delta y_{\max} = (\bar{y} - y_s) + 2s \quad (1.7)$$

kde

$e = \bar{y} - y_s$ systematická složka

$\varepsilon = s$, popř. $\varepsilon = 2s$ náhodná složka

Součinitel rozšíření směrodatné odchylky souvisí s pravděpodobností pokrytí intervalu a typem rozdělení. Dvojka u Gaussova rozdělení přísluší často užívané 95% pravděpodobnosti.

Přesnost přístroje je definována jako schopnost udávat za stanovených podmínek pravou hodnotu měřené veličiny. Pravou hodnotou měřené veličiny přitom rozumíme hodnotu, která charakterizuje veličinu dokonale definovanou za podmínek existujících v okamžiku jejího zjištění. Chyby přístrojů jsou způsobeny nedokonalostmi použitých měřících prostředků, které mohou vznikat ve výrobě, montáži, popř. i opotřebením. Svou roli sehrává i změna charakteristik a parametrů přístroje v čase (stárnutí).

Třída přesnosti T_p měřícího přístroje vyjadřuje maximální relativní chybu přístroje vztahenou na rozpětí přístroje

$$T_p = \frac{\Delta y_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} * 100 \quad (1.8)$$

kde

Δy_{\max} maximální přípustná absolutní chyba přístroje,
 $y_{\max} - y_{\min}$ měřící rozpětí přístroje.

Vypočtená třída přesnosti se zaokrouhlila směrem nahoru na nejbližší hodnotu upravené řady R5, tedy: 4 -2,5 -1,6 - 1,0 - 0,6 - 0,4 - 0,25 - 0,16 - 0,1 - atd.

Dalším zdrojem chyb je nevhodná instalace nebo uložení (ustavení) přístroje na pracovním místě, stole apod. Chyby metody mají svůj původ v nedokonalosti, či zjednodušení použité měřící metody.

Chyby pozorování, nebo spíše pozorovatele, jsou do měření vnášeny jako chyby osobní, zapříčiněné buď nedokonalostí smyslů pozorovatele, nebo jeho nesoustředěností. Chyby, mající svůj původ ve vyhodnocení, jsou časté jako výpočtové, vznikající v důsledku aplikování přibližných vztahů, zjednodušení, ale také použitím linearizace, interpolace, extrapolace, zaokrouhlování, nedostatečným vyčíslením konstant apod.

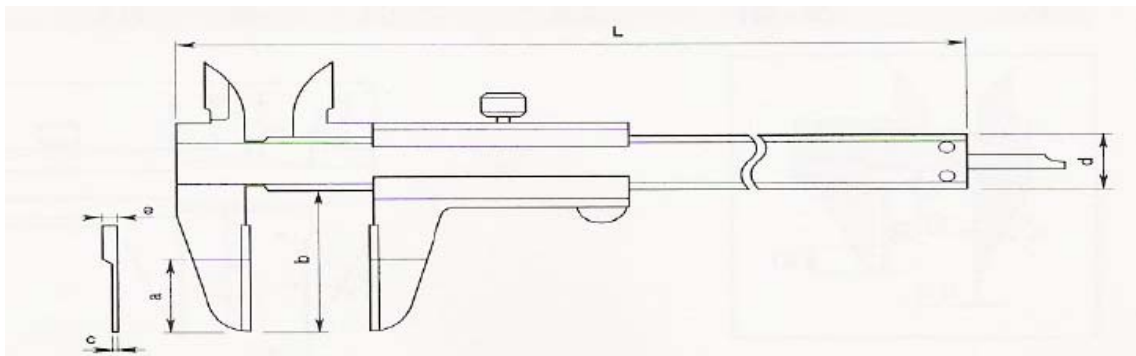
3. Školní měřicí přístroje

V laboratořích Jihočeské univerzity jsem studoval používané měřicí přístroje pro technickou výchovu. Studenti se zde učí zacházet s jednotlivými přístroji a používat je pro praktická měření od základních měřidel (posuvka) až po měření únavy materiálu.

Probíhají zde základní statické a dynamické zkoušky, rázová zkouška vrubové houževnatosti Sharpiho kladivem (Práce – [J/mm²], Wohlerova zkouška únavy (mez únavy). Většina měření je porovnávací (komparační), to znamená, že porovnáваме výsledek s etalonem (kalibrační měrka, kalibr).

3.1. Úlohy základní, délkové a měření tvarů a úchylek

a. kontrola posuvného měřidla



Obr. 10 – technický náčrt oboustranného posuvky s hloubkoměrem

Posuvná měřidla (dále jen posuvky) jsou délková, průměrová, popřípadě hloubková měřidla s rovnoběžnými rovinnými měřícími plochami (kleštinami). Skládají se z hlavního (pevného) měřítka (dále jen pravítka) s milimetrovou stupnicí a pomocného (posuvného) měřítka s noniem. Přesnost měření je dána noniovou diferencí. Kontrola probíhá v několika krocích v závislosti na typu posuvky.

Hlavní je kontrola přímosti ramen. Aby měření bylo spolehlivé, musí být ramena rovnoběžná a musí na sebe přesně dosedat. Tato kontrola se nejčastěji provádí vlasovým úhelníkem.

Dále se kontroluje přesnost měřítka a to tak, že se mezi ramena vkládají koncové měrky o různých velikostech a odečítá se hodnota na pravítku. Tato hodnota se poté porovná s vloženou koncovou měrkou a určuje se rozptyl.

Kontrola hloubkoměru je téměř totožná jako kontroly přesnosti měřítka.

U oboustranných posuvek je třeba kontrolovat sekundární kleštiny, kterými se měří hlavně vnitřní velikosti otvorů. Opět se proměřuje několik kalibračních měrek různých velikostí a jejich známá hodnota se porovnává s hodnotou na pravítku.

b. měření hmotnosti

Používají se laboratorní váhy. Tyto váhy pracují na principu páky. U rovnoramenných vah působí tíha závaží, tedy objektu se známou hmotností v jednom bodě páky, na závěs, umístěný ve vzdálenosti l od středu páky. Těleso, případně množství látky, u kterého stanovujeme jeho hmotnost, je umístěno na opačné straně páky ve stejné vzdálenosti l od středu páky.



Obr. 11 – laboratorní váhy

c. kontrola třmenového mikrometru

Třmenový mikrometr slouží k přesnějšímu určení rozměru než posuvkou. Jak jeho název napovídá, lze s ním měřit v řádech mikrometrů. Nevýhodou je menší rozsah.

Princip je založen na přeměně úhlových pohybu na pohyby lineární pomocí šroubové dvojice. Vřetena mikrometrických šroubů mají stoupání 0,5 mm. Na pevné válcové části, po níž se při otáčení posouvá oběžný bubínek, jsou dvě stupnice, oddělené osovou čarou a to horní s dělením milimetrovým, dolní ukazuje jejich polovinu. Otočíme-li vřetenem a tím současně bubínkem jednou dokola, posune se hrana bubínku, na jehož zešikmené části je stupnice s 50-ti

dílky o 0,5 mm. Pootočí-li se bubínek o 1 dílek jeho stupnice, otočili jsme vřetenem šroubu o 1/50 milimetru t.j. o 0,01 mm. Vřeteno mikrometrického šroubu je opatřeno brzdou se zvukovým znamením (řehtačkou), jejímž úkolem je dát znamení, že nastal dotyk s měřeným předmětem a upozornit, že další otáčení může poškodit mikrometr, nebo měřený předmět.

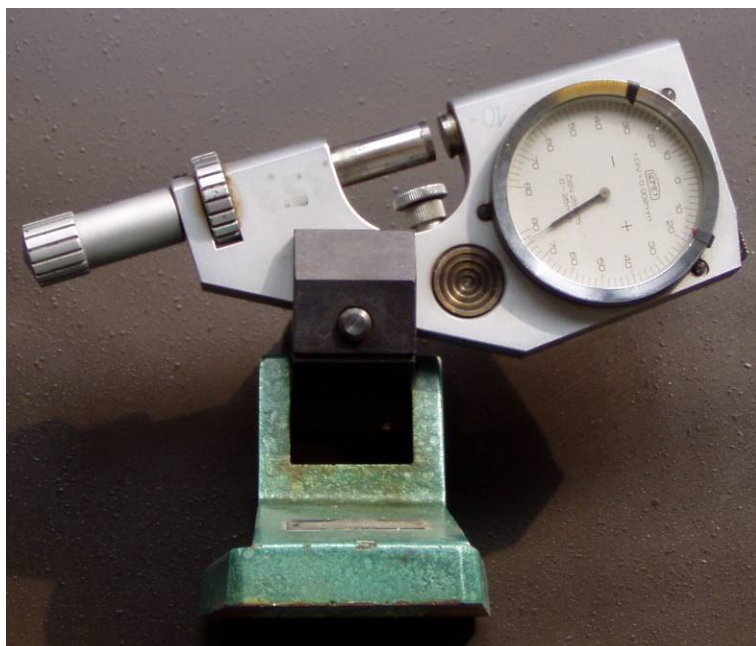


Obr. 13 – třmenový mikrometr

Kontrola třmenového mikrometru se provádí opět kalibračními koncovými měrkami, které se umísťují mezi ramena, a porovnává se jejich skutečná velikost s naměřenou velikostí.

d. měření passametrem

Passametr je komparační měřidlo, které měří s přesností na mikrometry. Princip spočívá v tom, že se mezi ramena umístí těleso o známé velikosti, nastaví se nulový bod na úchylkoměru, známé těleso se vyjme a vloží se neznámé. Podle výchylky úchylkoměru určíme, o kolik se měřené těleso liší od známého.



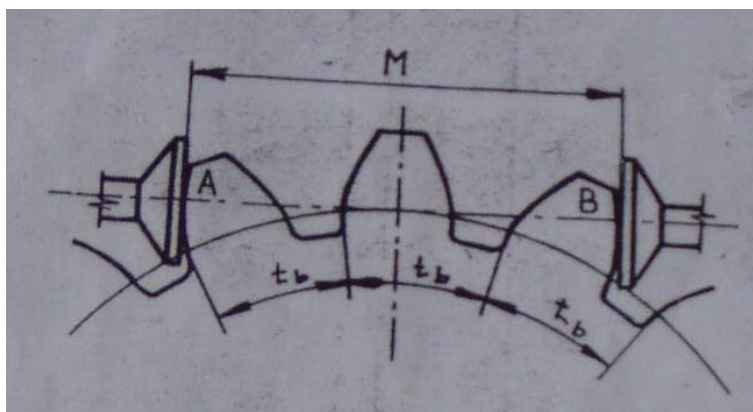
Obr. 14 – Passametr

e. měření ozubených kol přes zuby

Toto měření se provádí talířkovým mikrometrem. Měří se tak čelní ozubená kola, kde se zjišťují tloušťky zubů a rozteče. Měří se rozměr přes zuby, tečně k roztečné kružnici (míra M na obr. 16)



Obr. 15 – talířkový mikrometr



Obr. 16 – náčrt měření rozteče zubů

f. měření profilprojektorem

Projekční přístroje zvané profilprojektory jsou optické přístroje, které promítají zvětšený obrys kontrolovaného předmětu na matnici. Zvětšení bývá nejčastěji 10, 20, 50 a 100 násobné. Podmínkou správného měření je přesné dodržení hodnot zvětšení po celé ploše matnice. Přesnost měření bývá až 1%. Velikost zorného pole je dána rozměry matnice a použitým zvětšením.



Obr. 17 – profilprojektor Hauser

g. měření na optimetru Zeiss 0,2 mikrometr

Optimetry patří k vysoce přesným přístrojům pro délková měření. Používají se hlavně při kontrole jiných měřidel, kalibračních měrek apod..

Principem je mechaniko-optický převod. Světelné paprsky ze zdroje procházejí soustavou čoček, hranolů, zrcadel a skleněných destiček. Odrážejí se od zrcadla, které je nakláněno pohybem dotykového kolíku měřidla. Obraz stupnice z jedné destičky se promítá na stínítku, nebo je pozorován okulárem. Podle rozměru měřeného předmětu, se v zorném poli posouvá stupnice proti pevné značce.

Optimetry jsou komparační měřidla. Základní hodnotu je nutno nastavit vynulováním stupnice podle normálu (kalibrační měrky vyšší přesnosti). Pak se zjišťují odchylky rozměru měřeného předmětu od nastavené základní hodnoty.



Obr. – 18 Optimetr Zeiss

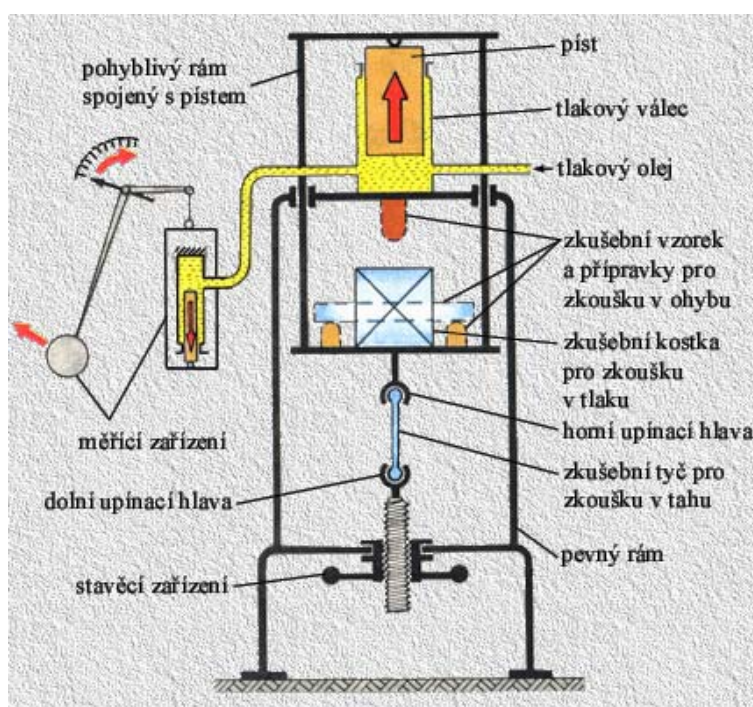
3.2. Úlohy mechanické

a. statická zkouška tahem

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevností. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu.

Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek).

Na obrázku 19 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřícího a registračního (na obr. není zakresleno) zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se koná na zkušební kostce nebo válečku, položeném na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu se pokládá zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřící zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřícího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím.

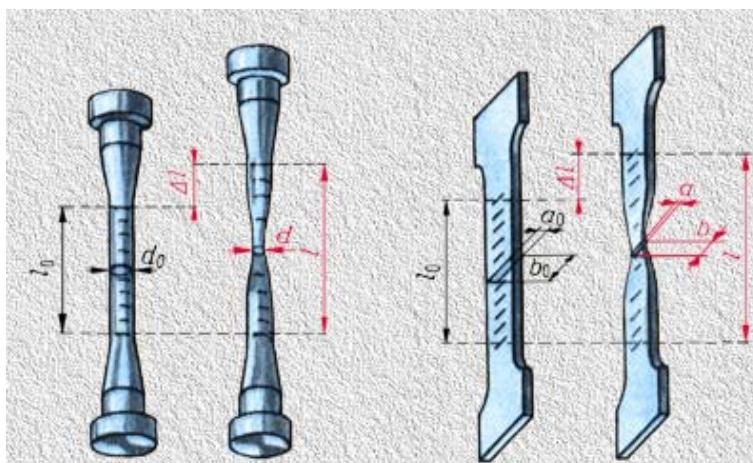


Obr. 19 - Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem

Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zařízení zatížení v jednotkách síly, tj. v Newtonech [N].

Zkoušky pevnosti:

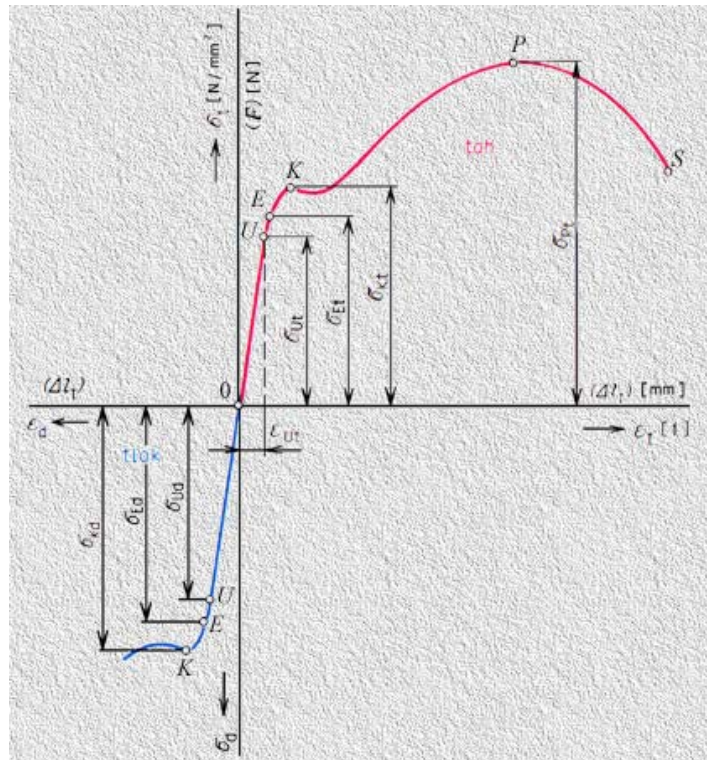
Zkouška tahem (trhací) - ČSN 42 0310 - je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány (obr. 20). Vlastní měřená délka l_0 závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče $10 d_0$ a u tyče krátké $5 d_0$ (d_0 =průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu.



Obr. 20 – Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Rozeznáváme napětí normálové σ a napětí tečné τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli stadiu zkoušky nazýváme skutečným napětím. Běžně však používáme hodnoty smluvních napětí, protože neuvažujeme změnu průřezu tyče a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0 .

Trhací stroje kreslí v průběhu trhací zkoušky na milimetrový papír, upnutý na buben registračního přístroje, pracovní diagram (obr. 21), udávající závislost poměrného prodloužení ε na napětí σ (nebo změny délky l na zatěžující síle F). V pružnosti a pevnosti má význam jen diagram ε - σ .



Obr. 21 – Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké uhlíkové oceli

Z diagramu vidíme, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U . Napětí σ_U , odpovídající bodu U , nazýváme mez úměrnosti a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon).

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod E je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí σ_E odpovídající bodu E je mez pružnosti a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí σ_{Kt} odpovídající bodu K označujeme jako mez kluzu v tahu a definujeme je jako nejmenší napětí, při

němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí.

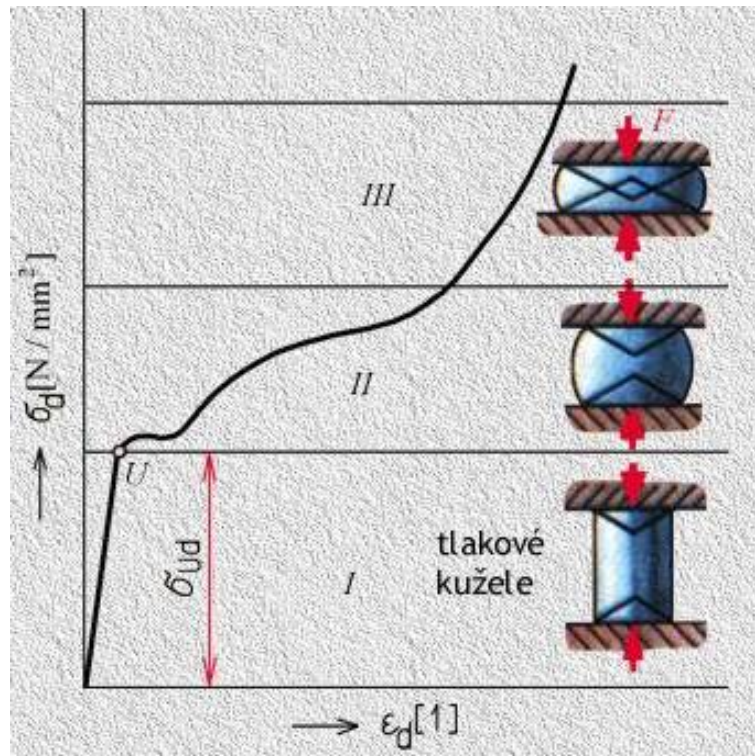
V technické praxi se za mez pružnosti bere napětí způsobující první trvalou deformaci. Je to smluvní hodnota pro trvalou deformaci zkušební tyče 0,005 % původní měřené délky l_0 . Označujeme ji $\sigma_{Et 0.005}$, krátce $\sigma_{0.005}$. Zjišťování této meze je velmi obtížné a zdlouhavé.



Obr. 22 – trhací stroj pro zkoušku tahem

b. statická zkouška tlakem

Je používána méně často (např. u ložiskových kovů, litiny, vrstvených tvrzených hmot, keramických látek, stavebních hmot, apod.) U ocelí nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné. Zkušební tělesa mívají obvykle tvar válečku o průměru od 10 do 30 mm. Výška válečku h se při hrubých zkouškách rovná průměru d , při přesných měřeních volíme výšku $h=(2,5 \text{ až } 3)d$. Zkušební tělesa z kamene, betonu, dřeva apod. mají tvar krychle.



Obr. 23 – Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové oceli

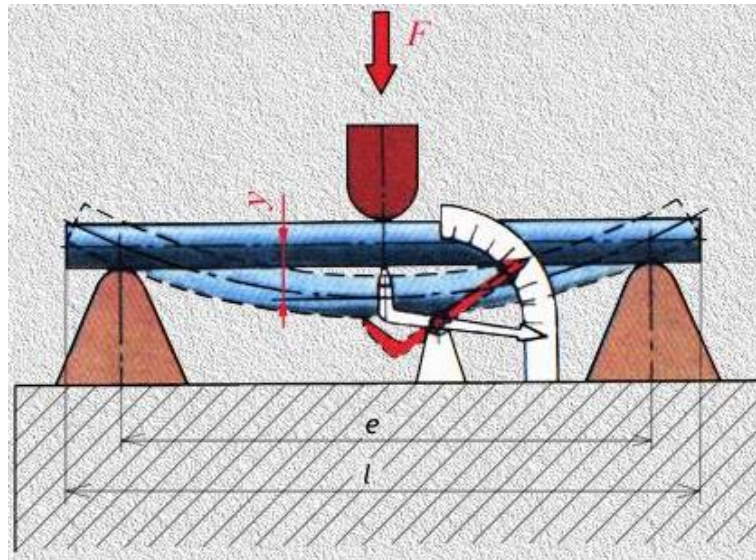
Průběh tlakové deformace zkušebního válečku z houževnatého materiálu (měkké oceli) je na obr 23. V prvním údobí zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává tlaku a tvoří se tzv. tlakové kužele. V druhém údobí hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se jeví v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci.

Jakmile se tlakové kužele k sobě přiblíží (třetí údobí), vzrůstá odpor proti stlačování a křivka stlačení má opět strmý průběh. Této třetí fáze se obvykle u tlakových zkoušek nedosahuje. U křehkého materiálu nastává rozdrčení (lom) bez plastické deformace.

c. statická zkouška ohybem

Tuto zkoušku používáme u materiálů křehkých, hlavně u litých materiálů, např. litiny. U materiálů houževnatých k porušení tyče nedojde. Při zkoušce ohybem se zjišťuje také největší průhyb v okamžiku porušení, který charakterizuje tvárnost (houževnatost) materiálu.

Rozměry zkušebních tyčí, které mají obvykle kruhový průřez, jsou stanoveny normou ČSN 42 0361.



Obr. 24 – zkouška ohybem

Zkušební tyč je uložena na podpěrách, jejich vzdálenost l závisí na průměru tyče d . Uprostřed tyče působí zatěžující síla. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Při postupně rostoucím zatížení odměřujeme průhyb tyče y až do okamžiku, kdy se tyč přelomí, nebo se trvale neprohne.

Zkouškou zjistíme pevnost v ohybu, to je napětí, při němž se tyč přelomí. Průhyb při lomu y_p je absolutní prohnutí při lomu zkušební tyče namáhané na ohyb, měřené uprostřed podpěr ve směru působící síly. Z výsledků zkoušky určíme i poměrný průhyb φ v procentech (2.1) a napětí na mezi pevnosti v Mpa (2.2).

$$\varphi = \frac{y}{l} * 100\% \quad (2.1)$$

$$\sigma_{Po} = \frac{M_{0max}}{W_0} [Mpa] \quad (2.2)$$

kde M_{0max} je ohybový moment při maximální zatěžující síle F_{max} a l je vzdálenost podpěr.

$$M_{0max} = \frac{F_{max} * l}{4} [N * m] \quad (2.3)$$

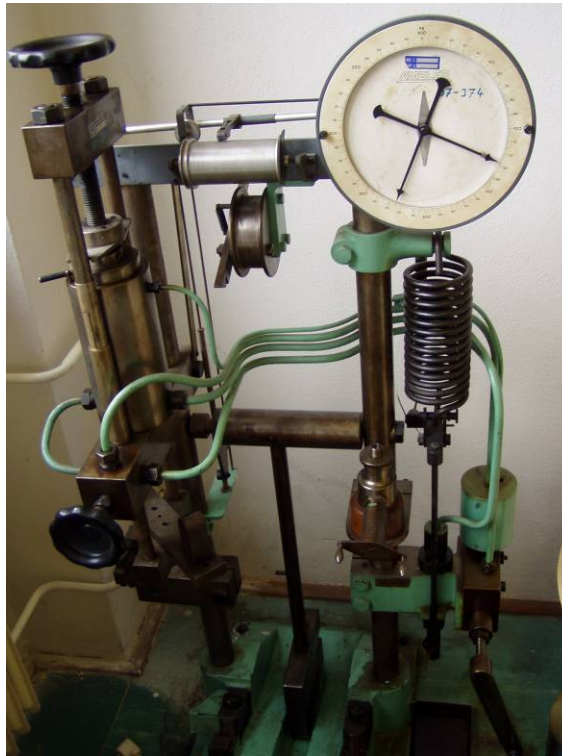
Modul průřezu W_0 má hodnoty:

$$\text{pro kruhový průřez:} \quad W_0 = \frac{\pi d^3 \cdot 1}{32} = \frac{1}{10} d^3 [m^3] \quad (2.4)$$

$$\text{pro čtvercový průřez:} \quad W_0 = \frac{a^3}{6} [m^3] \quad (2.5)$$

$$\text{Pro obdélníkový průřez: } W_0 = \frac{bh^2}{6} [m^3] \quad (2.6)$$

Pro zkoušky tlakem, ohybem a stříhem je možné použít univerzální stroj Amsler, umístěný na katedře technické výchovy na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích.



Obr. 25 – univerzální stroj Amsler

d. zkoušení tvrdosti kladívkem Poldi

Tvrdot je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Zkoušky tvrdosti je možné pokládat mezi nejrozšířenější způsoby zkoušení materiálu vůbec, m.j. pro jejich jednoduchost a rychlost provedení a prakticky bez znehodnocení hotových součástí (v případě Poldiho tvrdoměru i na součástech libovolných rozměrů a umístění).

Za nejdůležitější z používaných zkoušek tvrdosti je možné pokládat metody:

- vrypovou
- vtiskovou
- odrazovou

Podle druhu a velikosti použité síly se zkoušky tvrdosti dělí na:

- statické

- dynamické

Mezi nejrozšířenější dynamické tvrdoměry (pro dynamické zkoušky tvrdosti) patří „Poldiho kladívko“ (kladívko Poldiny huti).



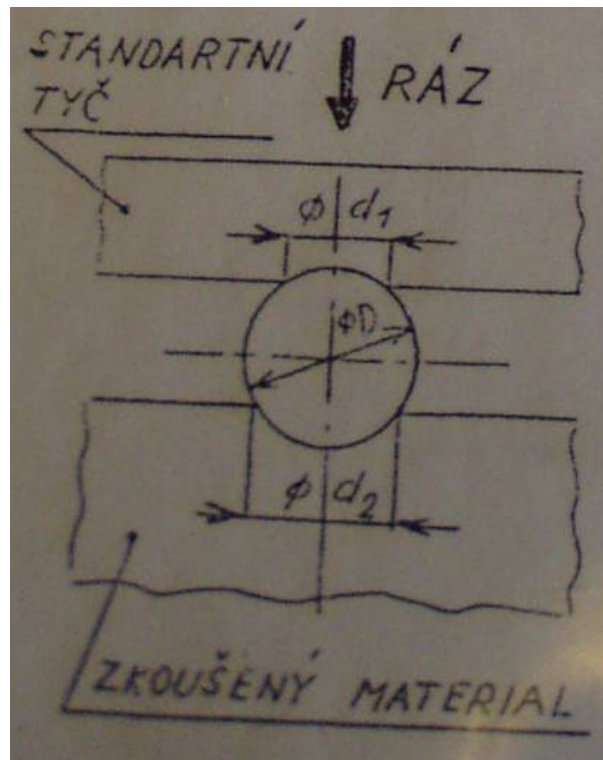
Obr. 26 – Poldiho kladívko, standardní tyč a lupa s pravítkem



Obr. 27 – měření průměru otisku

Princip zkoušky spočívá v tom, že při úderu (rázu) kladiva na razník tvrdoměru dochází současně k vtisku kuličky jak do zkoušeného materiálu, tak i do standardní tyče o známé tvrdosti (pevnosti), která je do tvrdoměru zasunuta. Z průměrů příslušných vtisků d_1 a d_2 (obr. 28) je možné z tabulek

rychle určit hledanou tvrdost HB (podle Brinella). U některých materiálů obsahují tabulky příslušnou pevnost (napětí na mezi pevnosti v tahu)



Obr. 28 – účinek kuličky na materiál

e. měření vrubové houževnatosti

Protože v praxi jsou strojní součásti jen zřídka zatěžovány výhradně stálými či zvolna a plynule se měnícími silami, které charakterizují statické namáhání, provádí se vrubová zkouška houževnatosti. Častěji rostou zatěžovací síly skokem, nebo se opakovaně mění – jde o namáhání dynamické, jednak o rázové, nebo o cyklické. Při dynamickém namáhání dochází často k náhlým poruchám soudržnosti, i když zatěžující síly nedosahují statické pevnosti materiálu.

Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.

K určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejímž měřítkem je práce (energie) spotřebovaná na porušení zkušebního tělesa, slouží dynamické zkoušky rázem. Mohou se uskutečnit v tahu, tlaku, ohybu a kroucení. Rázová zkouška v ohybu má z rázových zkoušek největší význam. Používá se zejména u ocelí.

Práce potřebná k přeražení tyče by se měla vztahovat na deformovaný objem tyče. Jeho přesné vymezení je však nemožné. Proto se u zkoušky Charpyho kyvadlovým kladivem (obr. 29.) vztahuje spotřebovaná práce na nejmenší průřez zkušební tyče v místě vrubu. Tato hodnota se nazývá vrubová houževnatost R .

$$R = \frac{Ar}{S_0} [J * cm^{-2}] \quad (2.7)$$

Ar – nárazová práce potřebná k přeražení tyče v [J]

S_0 – průřez zkušební tyče v místě vrubu v [cm³]



Obr. 29 – Charpyho kyvadlové kladivo

Na rameni o délce 50 cm je připevněno závaží o hmotnosti 5 kg. Po uvolnění pojistky se závaží začne pohybovat po kružnici dolů, kde v místě největší hybnosti narazí na zkoušený předmět silou 50Nm. Podle vykonané práce (na stupnici) se určí houževnatost materiálu. Čím je materiál křehčí, tím menší práce je potřeba k jeho přeražení.

f. měření únavy materiálu

Souvisí s předchozím bodem a provádí se na stroji, kam se umístí kulatina z testovaného materiálu. Na koncích se upne do otočných hlavic, které s předmětem otáčejí, a v prostředku je namáhán proměnnou silou. Tím, že se předmět otáčí, mění se směr působení síly a tím se simuluje neustálé ohýbání předmětu. Provádí se, dokud se předmět trvale nepoškodí, nebo nezlomí.

Toto je zkouška, která je nejnáročnější na čas, protože než se předmět trvale poškodí, mohou uběhnout i dny. Počítá se počet cyklů (ohybů), které proběhly.

g. určení drsnosti mikroskopem Comparex

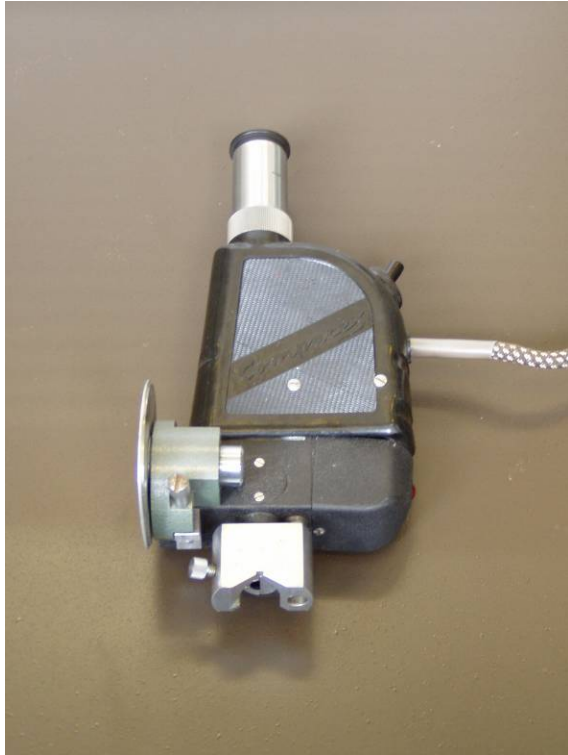
Drsnost povrchu se určuje podle druhu, vzhledu a hloubky stop, které na povrchu součásti zanechá nástroj po obrábění. Povrch součásti se porovnává s povrchem vzorku ze vzorkovnice, který je opracován na stejném typu stroje a to kvalitativně pomocí zraku, nebo hmatu. Pro zvýšení přesnosti, zejména u povrchů s málo znatelnými stopami po nástroji se také používá subjektivního pozorování pomocí mikroskopu Comparex, který umožňuje použití dvou způsobů osvětlení zkoumaného povrchu. Ve strojírenství se používají drsnoměry, které jsou popsány v kapitole 4.1. a 4.2..

Obecně se jeví povrch zkoumaného materiálu jako drsnost, vlnitost, trhlinky apod. Rozeznáváme drsnost:

- podélnou – ve směru řezu
- příčnou – v směru nástroje, tj. kolmo na směr řezu – profil obrobeného povrchu.

Drsnost povrchu je určena hodnotou R_a v μm , která představuje největší hodnotu střední aritmetické výšky nerovnosti (profilu).

Měření se provádí porovnáváním vzorku současně s originálem ze vzorkovnice pod mikroskopem.



Obr. 30 – drsnoměr Comporex

4. Druhy měření ve strojírenství.

Ve strojírenství se setkáváme s mnoha měřidly a měřicími přístroji, od nejjednodušších kalibrů až k optickým měřicím přístrojům. V následujících kapitolách se budu zabývat jednotlivými přístroji a jejich použitím v pracovním procesu.

Základní dělení kontrol je vstupní, mezioperační a výstupní.

Vstupní kontrola je kontrola dílů nakupovaných pro výrobu. Je namátková a převážně vizuální

Výstupní kontrola je kontrola hotových výrobků určených k expedici – namátková, rozměrová i vizuální.

Mezioperační kontrola je popsána níže.

Postup a četnost kontroly výrobku:

- a. Ihned po opracování se provádí kontrola a měření operačními měřidly (kalibry, posuvky, dílenské drsnoměry, výškoměry, atd.) a vizuální kontrola. Je to nejčastější měření.
- b. Následuje důkladné měření výrobku v kontrolním měřicím středisku. Toto měření je důkladnější a provádí se v závislosti na předepsaném technologickém postupu a na možnostech laboratoře (např. 1x za směnu, 3x za směnu, 1x za den, atd.).
- c. Jako poslední operace se provádí výstupní namátková kontrola v rámci balení a expedici.

4.1. Měření výrobku ve výrobním provozu

Do této kategorie patří nástrojové kalibry, posuvná měřítka a stojanová měřidla. Záleží především na typu výrobku, který se měří.

4.1.1. Nástrojové kalibry (etalony)

Nástrojové kalibry jsou nejrozšířenější porovnávací měřidla v každé dílně a používají se jako základní měření na hrubé zjištění shodnosti dílů ihned po výrobě. Zpravidla když se vyrobí první kus na začátku směny, musí se celý kompletně zkontrolovat podle kontrolního postupu. Jako první je kontrola obsluhou obráběcího stroje a provádí se právě kalibry, nebo jinými operačními měřidly (posuvka, mikrometr, atd.)

Kalibr je měrná součást, která má na svých koncích porovnávací elementy (průměr, závit, hloubku, atd.) Jeden z těchto konců má správnou velikost či tvar a druhý je lehce nad toleranci. Správný konec bývá označen modře, nebo bez označení, špatný bývá označen červenou barvou.

Takovýchto kalibrů je celá řada. Já zde uvedu příklady těch nejzákladnějších.

Na obrázku 31 je znázorněn kalibr průměru otvoru. Červený konec se nesmí vejít do otvoru, konec bez označení naopak musí a nesmí mít příliš velkou vůli. Tím vymezí velikost průměru. Kdyby byl otvor nad toleranci, projde skrz konec označený červeně, kdyby byl naopak pod toleranci, neprojde ani jeden.

Všechny kalibry jsou samozřejmě pravidelně kalibrovány.



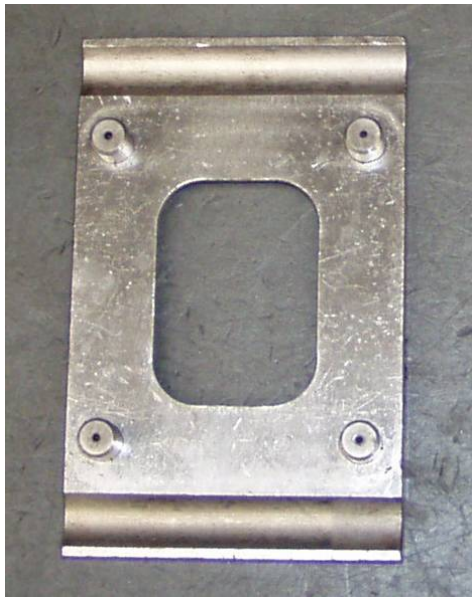
Obr. 31 – válcový kalibr - trn

Na obrázku 32 vidíme závitový kalibr. Také zde je na jednom konci správný závit, na druhém je závit buď jiného typu, nebo stoupání, nebo velikosti, atd.



Obr. 32 – závitový kalibr

Obrázky 33 a 34 znázorňují rozměrové kalibry, kterými se kontrolují rozteče mezi jednotlivými otvory ve výrobku.

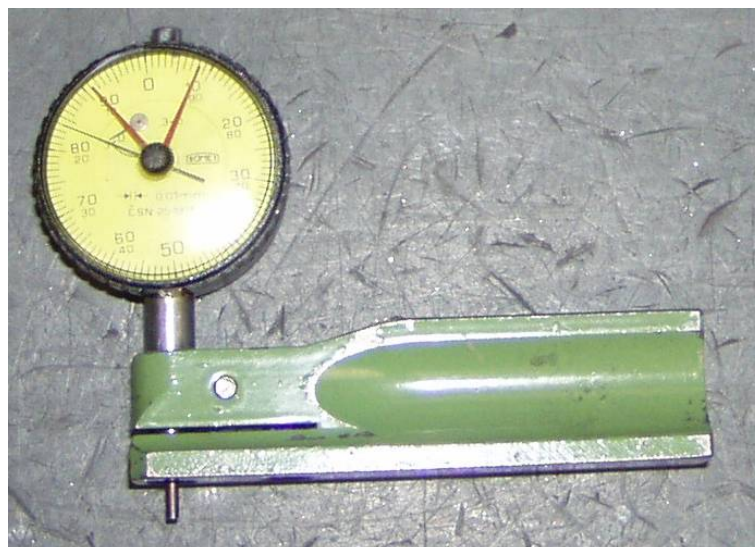
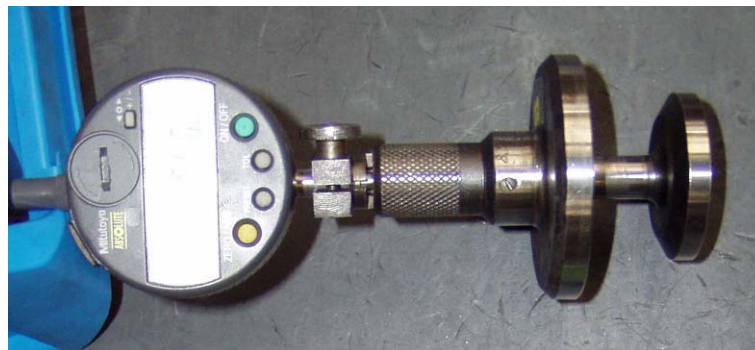


Obr. 33 – čtvercový roztečový kalibr



Obr. 34 – kruhový roztečový kalibr

Na obrázku 35 je hloubkové mezní měřidlo, kterým se měří rozdíly dvou rovin na výrobku, je to jedno z nejpřesnějších měření, které provádí obsluha obráběcího stroje. Přesnost se pohybuje v setinách až tisícínách milimetru. Obr. 36 představuje podobné měřidlo jen je analogové a pro jiné průměry a hloubky.



4.1.2. Posuvná a stojanová měřidla

Základním posuvným měřidlem je posuvné měřítko, převážně s přesností 0,02 mm. Posuvka by neměla chybět u žádného obráběcího stroje, v žádné dílně, prostě nikde, kde se něco vyrábí a obrábí. Existuje několik druhů posuvek, lišící se v rozsahu, přesnosti, zobrazování hodnot a určení. Součástí posuvky také bývá hloubkoměr a doteky na měření průměrů. Na obrázku 37 je zobrazena klasická posuvka s hloubkoměrem, s doteky na měření průměrů, s přesností 0,02 mm a s digitálním zobrazováním hodnot. Na obrázku 38 je posuvka s větším rozsahem, bez hloubkoměru a s doteky na měření průměrů.



Obr. 37 – digitální posuvka



Obr. 38 – posuvka většího rozsahu

Dalším měřidlem používaným přímo na dílně a na pracovišti je stojanové měřidlo, jinak též výškoměr (obr. 39). Tento přístroj měří, jak už název napovídá, výšku součástí, buď od nulové plochy, nebo od jiného libovolného bodu, který si uživatel nastaví. Má v sobě zabudován počítač, který přepočítává hodnoty podle uživatelského nastavení. Měří s délkovou nejistotou podle vztahu $MPEE = \pm 1,8 + L/600 \mu\text{m}$, což je víceméně zbytečné, protože v podmínkách, které jsou na dílně, se musí počítat se značnou chybou měření, kvůli otřesům, nečistotám a ostatním chybovým elementům. Otázkou nejistot měření se detailněji zabývá norma ISO 10360.



Obr. 39 – digitální výškoměr

Výškoměry jsou také analogové, kde se používá místo počítače analogové měřidlo. Je to vlastně číselníkový úchylkoměr, který je připevněn na vertikálně posuvné rameno se stupnicí.



Obr. 40 – výškoměr s číselníkovým úchylkoměrem

4.1.3. Měření drsnosti povrchu dílenskými drsnoměry

Jelikož kontrolní měrové středisko kontroluje všechny druhy výrobků na divizi, není možné, aby kontrolovalo každý výrobek, který potřebuje kupříkladu seřizovač na nastavení stroje. Proto jsou na výrobní lince k dispozici dílenské drsnoměry, na kterých může seřizovač provádět měření. Nicméně tyto drsnoměry mohou být ovlivněny mnoha chybami, se kterými se musí počítat a výsledky jsou tudíž jen informativní. Zpravidla funguje postup, že do určité hodnoty drsnosti je výrobek v pořádku a pouze pokud by se blížil maximální, nebo minimální povolené drsnosti, je tento poslán na přesnější proměření do laboratoře. Na obrázcích 41 a 42 jsou dva typy těchto drsnoměrů. Popisem těchto strojů se budu zabývat v následujících kapitolách.



Obr. 41 a 42 – dílenské drsnoměry

4.2. Měření výrobku v kontrolním středisku

Do kontrolního měřicího střediska se dávají kusy ke kontrole v těchto případech:

- a. začíná pracovat nová směna a odevzdává první vyrobený kus k celkové kontrole
- b. sběr dílů pro statistické řízení pracovního procesu - SPC
- c. z pravidla několikrát za směnu je nutné provést celkovou kontrolu
- d. obráběcí stroj se seřizoval, měnil se nástroj, nastavoval se jiný typ výrobku, atd.

- e. obsluze obráběcího stroje nejdou do výrobku kalibry, či se jinak výrobek nezdá správně opracován

V kontrolním měřicím středisku se provádí komplexní měření výrobku podle kontrolních postupů vydaných technologi. V následujících kapitolách se seznámíme s měřicími přístroji, které se zde používají. Laboratoř je neustále klimatizovaná, udržuje se zde teplota v rozmezí od 19°C do 22°C a nízká hladina prachu, což značně snižuje chybu měření. Všechny přístroje musí být umístěny na podložce, která tlumí rázy a otřesy z okolí.

4.2.1. Laboratorní drsnoměr



Obr. 43 – profiloměr (nahore) a drsnoměr (dole) Mahr

Tento drsnoměr je téměř totožný s těmi, které jsem představil v předcházející kapitole. Liší se pouze opakovatelností měření, z důvodu stabilnějšího prostředí. Také spojení s počítačem umožňuje celou řadu způsobů měření. Na obrázku 43 vidíme laboratorní měřidlo Mahr, které lze použít jako drsnoměr a profiloměr zároveň. Zatím se budu zabývat drsnoměrem.



Obr. 44 – drsnoměr měřící drsnost dělicí roviny

Drsnoměry se používají pro měření drsnosti opracovaných ploch výrobků, kde je potřeba udržovat předepsanou drsnost kvůli dalšímu použití výrobku (dělicí roviny, otvory, atd.).

Princip drsnoměru spočívá v měření přímočarého úseku na požadované ploše při současném pohybu osy x a z. Osa x je pouze posuvná, osa z je měřicí. Obě osy jsou poháněny v případě drsnoměru se jedná o obyčejný stejnosměrný motor v ose X, osa Z není nijak poháněna - zde je pouze induktivní odměřovací systém. Rozlišovací schopnost induct. systému závisí na použitém měřicím rozsahu:

$\pm 25 \mu\text{m}$: $50 \mu\text{m} / 102,538 \approx 0.5 \text{ nm}$

$\pm 250 \mu\text{m}$: $500 \mu\text{m} / 102,538 \approx 5 \text{ nm}$

$\pm 2500 \mu\text{m}$: $5000 \mu\text{m} / 102,538 \approx 50 \text{ nm}$

Rameno v ose x má dvě rychlosti a to rychlý posuv pro nastavení výchozí polohy a pomalý automatický posuv pro měření. Vlastní výchylka se měří induktivním odměřovacím systémem. Měří se zvlnění přímky. Pro získání objektivnějšího výsledku se provádí více náměrů, ze kterých se vyhodnocuje nejhorší náměr. Vlastní měření se provádí rameny, která se skládají z dutokeramického dřívku a kovového doteku. Tyto doteky jsou z hliníku, špička je z diamantu s vrcholovým úhlem 90° , nebo 60° . Důležité je zmínit i vrcholový rádius, který činí $2 \mu\text{m}$ Tyto hroty se používají kvůli jejich minimálnímu až zanedbatelnému odírání (stárnutí). Na druhou stranu se s nimi musí pracovat opatrně, protože dutý keramický dřívek je velmi křehký. Měřicí rozsah těchto drsnoměrů je rozdílný. Čím větší měřicí rameno, tím je k dispozici větší rozsah. U nejkratšího ramena je to $\pm 250 \mu\text{m}$, u nejdelšího $\pm 750 \mu\text{m}$.

Požadavky na měření drsnosti udává norma ISO 4287.

Norma ISO 4287 používá následující terminologii:

- Skutečný povrch – odděluje těleso od svého okolí
- Dotyková metoda řezu – měřicí technická metoda k dvourozměrnému zachycení povrchu. Posuvové zařízení pohybuje snímacím systémem konstantní rychlostí horizontálně přes povrch. (ISO 3274)
- Sejmutý profil – je dotykovou metodou řezu zachycený obalový profil skutečného povrchu. Obsahuje nejdůležitější tvarové odchylky: úchylný tvaru, vlnitost a drsnost. (ISO 3274, DIN 4760)

- Snímaná dráha l_t – je dráha, kterou snímací systém projede pro zachycení snímaného profilu. Je to součet dráhy rozběhu, celkové měřicí dráhy l_n a dráhy doběhu.
- Mezní vlnová délka λ_c – určuje, které vlnové délky budou přiřazeny drsnosti a které vlnitosti.
- Jednotlivá měřicí dráha l_r drsnosti – je částí snímané dráhy l_t , s délkou mezní vlnové dráhy λ_c . Jednotlivá měřicí dráha l_p , případně l_w pro P profil nebo W profil je rovna měřené dráze a je vztažnou drahou pro vyhodnocení.
- Celková měřicí dráha l_n – je ten díl snímané dráhy, který bude vyhodnocen. Ve standardním případě vyhodnocení drsnosti obsahuje 5 za sebou jdoucích jednotlivých měřících drah l_r .
- Rovnoběžná dráha – slouží k zákmitu filtru.
- Doběhová dráha – slouží k výkmitu filtru.

Norma ISO 4287 definuje následující parametry měření:

- **P_t – hloubka profilu** (ISO 4287) – součet výšky nejvyšší špičky profilu a hloubky nejhlubší prohlubně P profilu uvnitř měřené dráhy. Délku vztažné dráhy je třeba uvést.
- P profil – vzniká z dotýkaného profilu:
 - a. odstraněním jmenovitého tvaru metodou nejmenšího součtu čtverců odchylek na čáře uvedeného tvaru, například regresní přímky
 - b. oddělením velmi krátkých vlnových délek, které nejsou vzaty do vyhodnocení, pomocí profilového filtru
- **Filtry profilu** (ISO 11562) – dělí rovinu na dlouhovlnné a krátkovlnné podíly. Filtr profilu λ_c definuje přechod z drsnosti k vlnitosti.
- Střední čára – vzniká u fázově korektního filtru, přičemž pro každé místo profilu je vytvořena vyvážená střední hodnota.
- Váhová funkce – udává pro každé místo profilu, s jakým hodnotícím faktorem sousední profilové body vcházejí do vytváření střední hodnoty.

- R-profil (profil drsnosti) – je odchylka primárního profilu od střední čáry profilového filtru λ_C . Při znázornění profilu drsnosti je střední čára nulovou čarou.
- **Hloubka vlny W_t** (ISO 4287) – je součtem výšky největší špičky profilu a hloubky nejhlubší prohlubně W-profilu uvnitř měřené dráhy. Délku měřené dráhy l_n je třeba udat.
- W-profil – je střední čára, která je vytvořena profilovým filtrem λ_C z P-profilu. V tom nejsou obsaženy dlouhovlnné podíly, které jsou přiřazeny tvaru.
- **R_a, R_q – střední hodnoty** (ISO 4287, ASME B46.1)
 - R_a – Střední hodnota drsnosti – aritmetická střední hodnota všech částí hodnot profilu drsnosti.
 - R_q – kvadratická střední hodnota všech hodnot profilu drsnosti.
- **R_p hloubka hlazení, R_v**
 - R_p – je výška největší špičky profilu drsnosti uvnitř jednotlivé měřící dráhy. Dle starší definice se pro střední hodnotu z více jednotlivých měřících drah používá také označení R_{pm} . R_v – je hloubka největší prohlubně R-profilu uvnitř jednotlivé měřící dráhy. Pro R_v byla také použita zkratka R_m . Součet $R_p + R_v$ je jednotlivá hloubka drsnosti R_{zi} .
-
- **R_z, R_{max} Hloubka drsnosti** (ISO 4287, ASME B46.1)
 - Jednotlivá hloubka drsnosti R_{zi} – je součtem výšky největší špičky profilu a hloubky největší prohlubně profilu drsnosti uvnitř jednotlivé měřící dráhy. Hloubka drsnosti R_z – je aritmetická střední hodnota z jednotlivých hloubek drsnosti R_{zi} za sebou následujících jednotlivých měřících drah.
 - Maximální hloubka drsnosti R_{max} – je největší jednotlivá hloubka drsnosti uvnitř celkové měřící dráhy.
- **R_{3z} základní hloubka drsnosti** (dle podnikové normy DB N 31007)

- Jednotlivá hloubka drsnosti R_{3zi} je kolmá vzdálenost v pořadí třetí vysoké špičky profilu od pořadí třetí hluboké prohlubně profilu drsnosti uvnitř jedné jednotlivé měřicí dráhy.
- Základní hloubka drsnosti R_{3z} je střední hodnota z jednotlivých hloubek drsnosti R_{3zi} z pěti za sebou následujících jednotlivých měřicích drah l_r .

Existují ještě další parametry a normy, ale ty už nejsou tak potřebné a udávají se jen, pokud si je zákazník, nebo komise přeje naměřit.

Kalibrace:

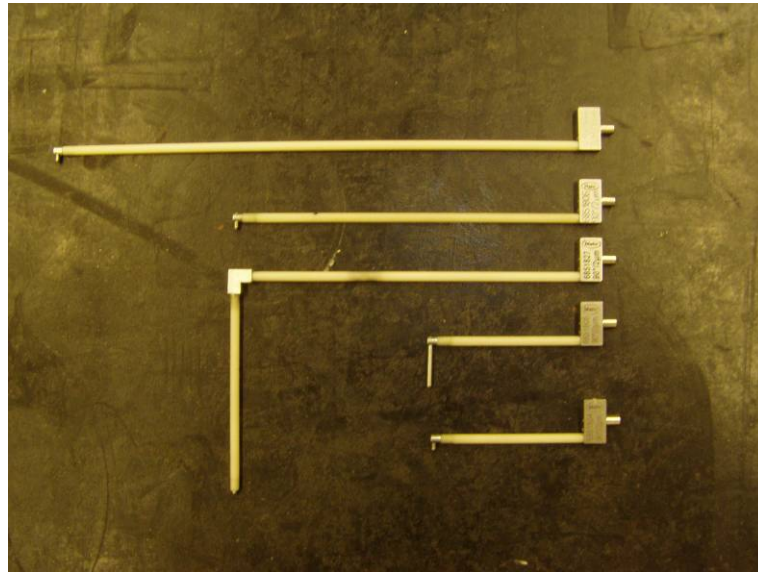
Kalibrace se provádí etalonem drsnosti na obr. 45. Nad vyznačeným obdélníkem je plocha o známé drsnosti. Nejdříve je třeba zadat, jaký parametr a jaký dotek se kalibruje. Etalon se 3x přeměří automatickým cyklem, programově se vyhodnotí odchylka od nadefinované hodnoty etalonu a upraví se chyba měření. Při použití standardních snímacích ramen je rozlišovací schopnost drsnoměru 1000x větší než rozlišovací schopnost než profiloměru.

Pokud je odchylka větší než 15%, dotek je vyhodnocen jako nezkalibrovatelný a tudíž nepoužitelný pro další měření. To může nastat vlivem mechanického poškození.



Obr. 45 – etalon drsnosti

Existuje celá řada snímacích doteků, které se liší konstrukcí snímacích ramen, které jsou zapotřebí vzhledem k rozmanitosti měřících úloh.. Na obr. 46 je několik typů používaných v ČZ ve Strakonících.



Obr. 46 – Snímací doteky

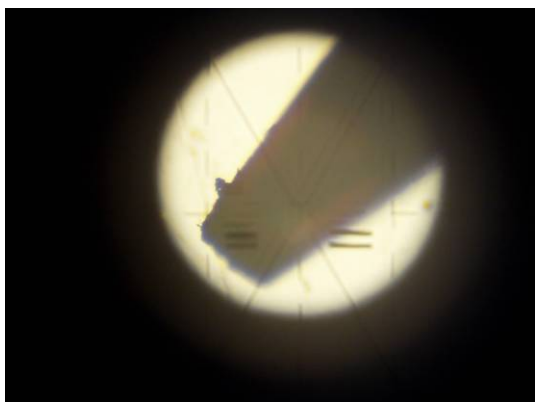
4.2.2. Laboratorní profiloměr

Profiloměr slouží k zjištění tvaru profilu výrobku.



Obr. 47 – snímání profilu

Princip je založen na současném pohybu v ose x a z. Osa x je vybaven stejnosměrným motorem a rotačním odměřovacím systémem, osa z je vybavena lineárním motorem (pracujícího na principu permanentního magnetu v magnetickém poli) a induktivním odměřovacím systémem. Rozlišovací schopnost přístroje v ose z je v případě použití standardního snímacího ramena $0,5 \mu\text{m}$. Jsou zde dva druhy ramen podle délky hrotu. Ramena s kratšími hroty jsou celé z kovu, ramena s delšími hroty jsou z tvrzených karbonových vláken. Měřicí hroty jsou ze speciální tvrzené oceli. Jsou velice křehké a snadno se zlomí. Potom to dopadá jako na obr. 48a. Některé typy hrotů jsou na obr. 48c.

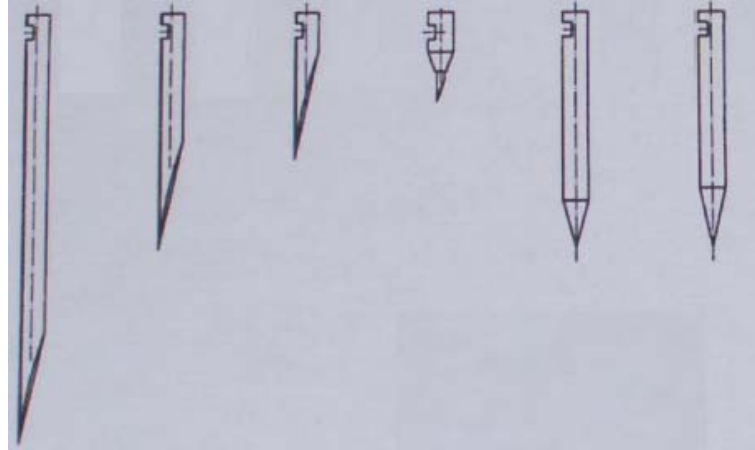


Obr. 48a – pohled na zlomený hrot pod mikroskopem



Obr. 48b – nepoškozený hrot

Geometrie hrotu je přizpůsobena co nejvyšší využitelnosti s ohledem na zachování potřebné minimální pevnosti. Náběhová hrana hrotu má úhel 12° z důvodu plynulého náběhu na ostré hrany měřeného předmětu. Samotný hrot má poloměr $25\ \mu\text{m}$. Několika rozměrů doteků se používá kvůli dostupnosti na měřená místa.



Obr. 48c – některé typy hrotů

Při kalibraci je třeba nejprve zadat, jaký dotek se kalibruje. Samotná kalibrace se stává z těchto kroků:

- a. Kalibrace měřící síly – snímací dotek vyjede do horní polohy, poté začne klesat, než projede celým měřicím rozsahem. Následně dotek vyjede opět do horní polohy a umístí se na jeho konec závaží 15g a opět projede celý měřicí rozsah (obr. 49). Dotek opět vyjede do horní polohy, sundá se z něj závaží a tím je zkalibrována měřící síla. Celá kalibrace je vykonávána automaticky.
- b. Kalibrace citlivosti snímače – vezmou se kalibrační koncové měřky (obr. 50) a podle druhu ramínka se zvolí, po jakých krocích se bude postupovat. Poté se vyrovná posuvová jednotka s pracovní deskou, aby odchylka od roviny základny byla $\pm 2\ \mu\text{m}$. Poté se hrotem měří od největší měřky přes všechny měřky až na pracovní desku. Výsledkem je křivka linearity na obr. 51.
- c. Kalibrace faktoru průhybu – tímto krokem se vylučují deformace doteku při různých měřicích silách. Provádí se opět vyrovnané na $\pm 2\ \mu\text{m}$ a poté se spustí automatický program, který se ramenem dotkne pracovní desky a změní průhyb snímače malou měřicí přítlačnou silou a poté velkou měřicí přítlačnou silou.
- d. Kalibrace délky snímacího ramene a snímacího hrotu. Z koncových měrek se složí předepsaný tvar, a najde se nejvyšší bod na pravém vrcholu. Poté program projede celé měřky a porovná odchylku naměřené hodnoty od skutečné hodnoty.

Podle toho určí délku snímacího ramene a hrotu. Místo koncových měrek lze také použít etalon (obr. 52).

- e. Kalibrace tvaru a poloměru snímacího hrotu – do svěráku se umístí kalibrační trn o známém průměru (obr. 53) a najde se zenit (nejvyšší bod). Program 4x projede hrotem přes tyčku, při prvním snímání si najde skutečný nejvyšší bod, a při dalších 3 měřeních si zjistí skutečný tvar a poloměr hrou a vytvoří graf viz. obr. 54.

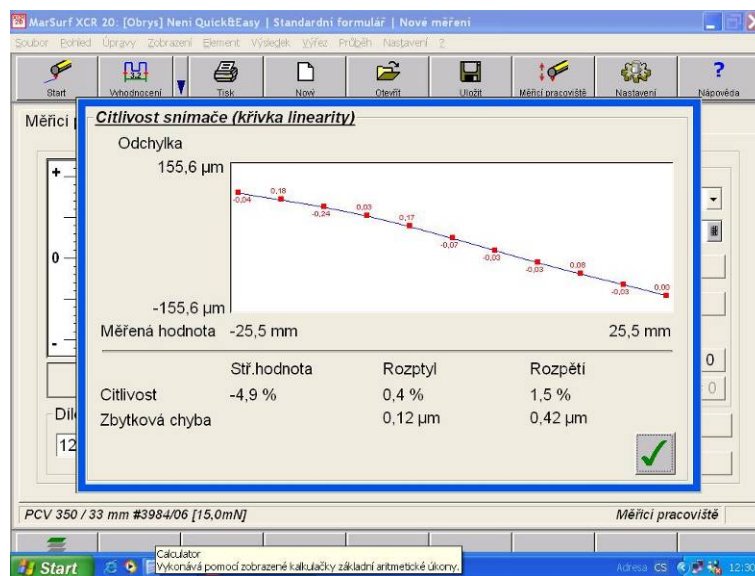
Správně měřit lze jen správně kalibrovaným dotekem!!



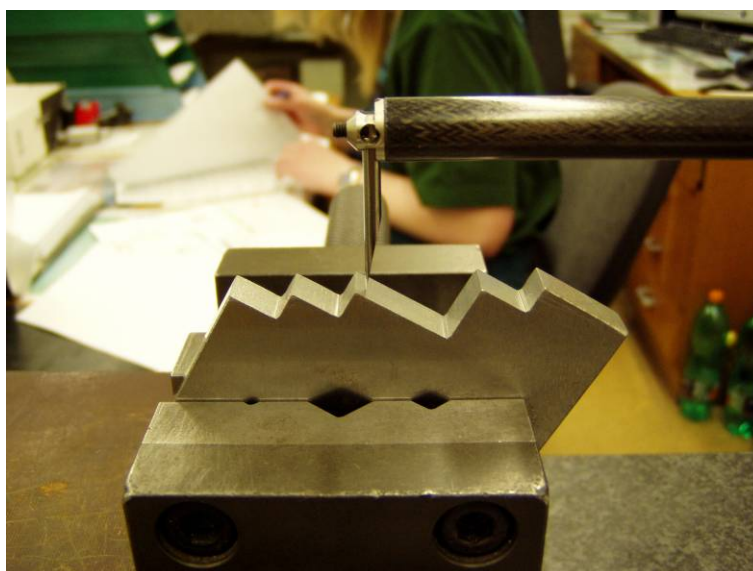
Obr. 49 – kalibrace měřící síly



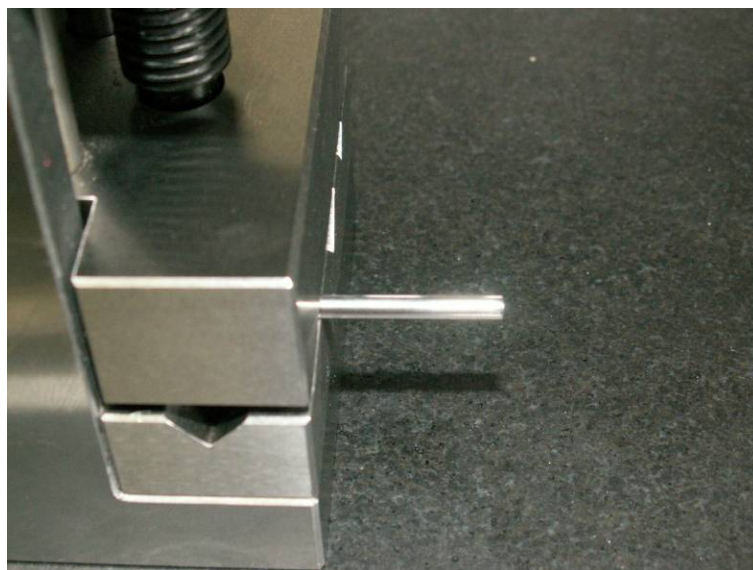
Obr. 50 – kalibrační koncové rovnoběžné měrky



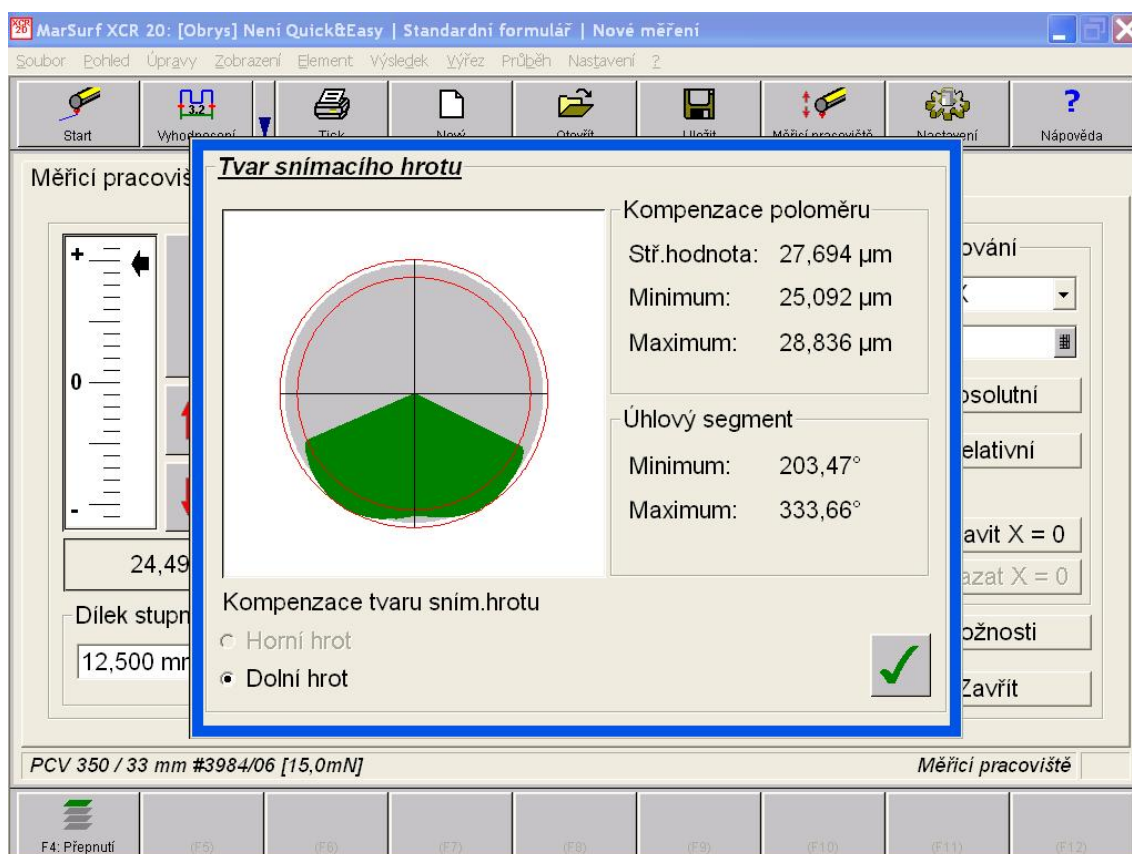
Obr. 51 – křivka linearity



Obr. 52 – Etalon pro kalibraci délky snímacího ramene a hrotu



Obr. 53 – kalibrační trn



Obr. 54 – graf tvaru snímacího hrotu

U drsnoměru a profiloměru se kalibrace se provádí dle daného předpisu (např. 1x měsíčně), nebo když dojde ke kolizi snímače s překážkou a je nutné provést výměnu hrotu.

4.2.3. Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje se dělí následovně:

- a dle konstrukce
 - o portálové
 - o stojanové (jedno nebo dvou)
- dle druhu provozu
 - o ruční
 - o automatické (CNC)

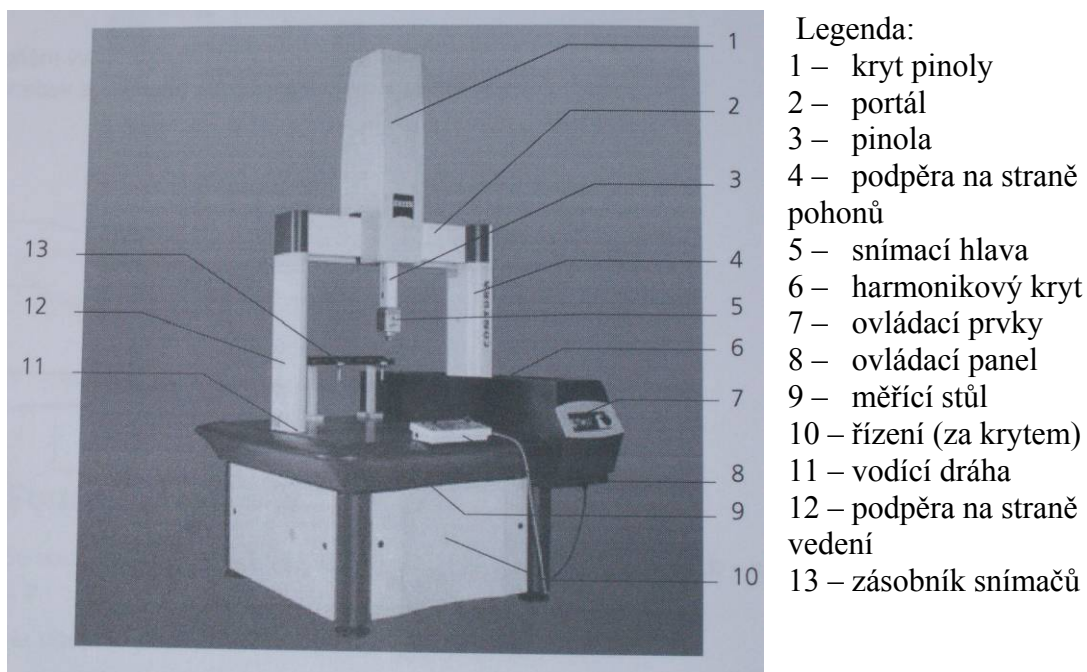
Stojanová měřidla mají výhodu v hybnosti – dostanou se téměř všude a nezáleží na velikosti kusu. Jejich velkou nevýhodou je ale přesnost, protože mají jen jedno rameno, které je nutné vyvažovat závažím. Čím je rameno delší, tím je méně přesné. V praxi se používají dvě tyto měřidla po obou stranách výrobní linky. Hlavně se využívají ke kontrole aut, letadel, apod.



Obr. 55 – sloupové (jednoramenné měřidlo)

Portálová měřidla mají výhodu v přesnosti, jejich nejistota měření se pohybuje řádově v mikrometrech. Nevýhodou je omezená velikost měřeného kusu. V závodě ČZ ve Strakonících na divizi Auto jsou umístěny 4 portálová měřidla. V následujících kapitolách se budu zabývat jejich popisem a rozborem.

4.2.3.1. Princip portálových měřicích strojů



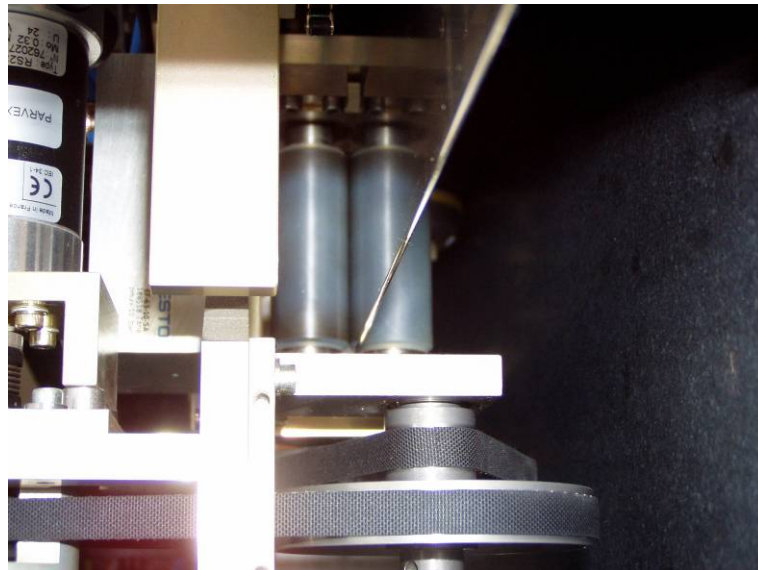
Obr. 56 – Souřadnicový měřicí stroj

Princip všech níže popsaných strojů je stejný, liší se jen jejich parametry. Stroj se skládá ze dvou hlavních částí a to z granitové základny, která slouží k vedení portálu a zároveň pro umístování měřených kusů, a z portálu, který nese pinolu na jejímž konci se nachází měřicí hlava. Pohon všech os je realizován pomocí stejnosměrných elektromotorů. Všechny osy se pohybují na vzduchových ložiskách z důvodu bezkontaktního pohybu portálu na desce. Díky použití těchto ložisek nedochází k opotřebovávání kontaktních ploch, jako tomu bývá u valivých ložisek.



Obr. 57 – vzduchová ložiska

Pohony jednotlivých os jsou zajištěny stejnosměrnými motory s tachogenerátorem, který je zapojen přes zápornou zpětnou vazbu (slouží k regulaci rychlosti pojezdu). Tyto motory pohybují válci, které jsou součástí ramen a jsou přitlačené na kovový list, po kterém se valí. Tento list je vždy nehybný vůči rameni, které je na něj připojeno. Válce jsou proti sobě a mezi sebou pod tlakem svírají list, po kterém se pohybují. List je na obou koncích pevně uchycen ke stroji (obr. 58). Pro účely přesného odměřování polohy je každá osa vybavena speciálním pravítkem a čtecí hlavou. Odměřování funguje buď na principu průchozího nebo odraženého světla a využívá některých zákonů optiky (nejedná se o laser, ale o světlo s konstantní vlnovou délkou). Standardní stroje jsou vybaveny měřítky z materiálů o známé teplotní roztažnosti (sklo), referenční stroje mají pravítka zerodurová (materiál s nulovým koeficientem teplotní roztažnosti) – obr. 59. Pravítko je uchyceno na rameno a je opatřeno stupnicí. Stupnice je tak jemná, že není viditelná pouhým okem. Kvůli možným výkyvům teplot je stroj opatřen teplotní korekcí, která se stává z tepelných senzorů, které jsou umístěny na různých místech stroje. Podle toho z jakého materiálu je měřený kus si stroj sám ve výpočtech upraví skutečný rozměr měřeného dílu



Obr. 58 – Pohon osy



Obr. 59 – zerodurové pravítko

Hlavní součástí stroje je měřicí hlava, která je umístěna na pinole. Na většině strojů v ČZ ve Strakonících je umístěna skenovací hlava, jen na jednom je spínací. Zásadní rozdíl mezi skenovací a spínací hlavou je v tom, že skenovací hlava snímá jednotlivé body, kdežto skenovací hlava umožňuje kontinuální měření - skenování.

Princip spínací hlavy spočívá v rozepnutí jednoho ze tří kontaktů, na kterých je upevněn talířek se snímačem. Tím dostává stroj informaci o tom, že došlo ke kontaktu s obrobkem a vyhodnotí aktuální polohu jako měřený bod.

Skenovací hlava je osazena paralelogramy ve všech třech osách. Každý paralelogram má vlastní indukční odměřovací systém a generátor přítlačné síly. Princip měření pak spočívá v tom, že hlava přitlačuje snímač k měřenému povrchu (konstantní měřící silou! - tzv. aktivní skenování) a v reálném čase odměřuje svoji aktuální polohu. Tyto údaje potom řídicí systém vyhodnocuje a kombinuje s aktuální polohou stroje a tím získává informaci o měřeném bodu (bodech). Hlavní výhodou aktivního skenování je měření se známou přítlačnou silou. Díky tomu je totiž systém schopen provádět celou řadu korekcí (eliminace systémových chyb) jako např. průhyb snímače během měření.

Do těchto hlav se umisťují talířky se snímacími systémy. Jedná se o soustavu snímačů – několik snímačů umístěných na jednom talířku. Tím se značně snižuje četnost výměny snímacích systémů a tím se urychluje měření (obr. 60).



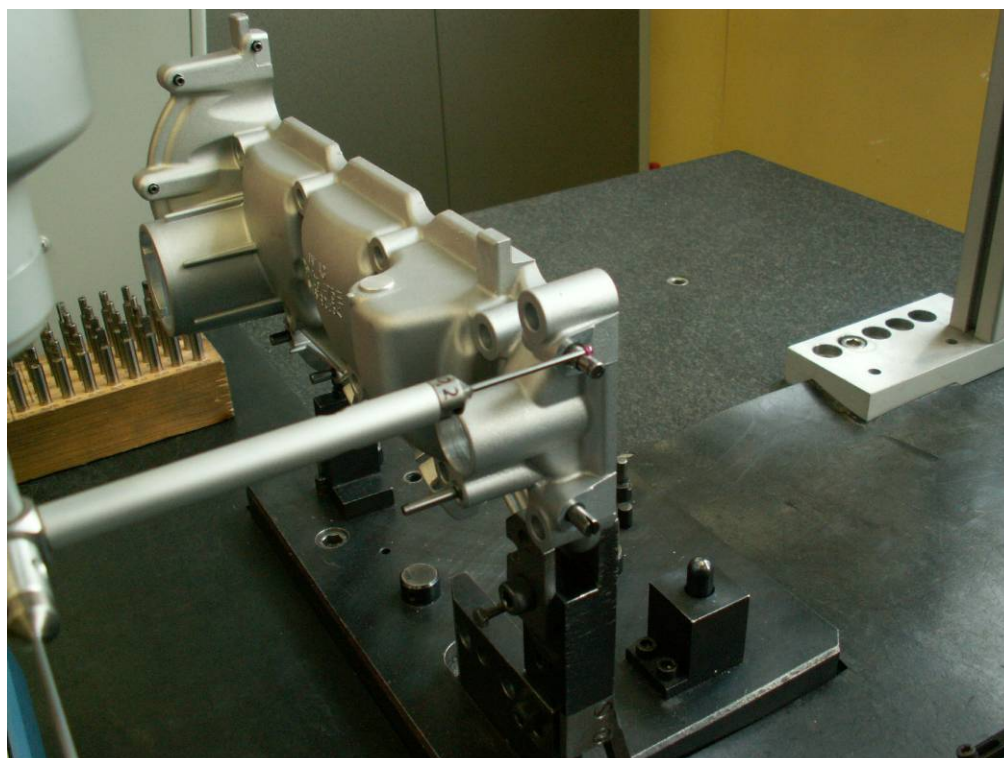
Obr. 60 – talířky s různými snímacími systémy

Každý snímač se skládá z dřívku a rubínové kuličky, která je různě veliká v závislosti na požadavcích měření. Velikost kuliček se pohybuje od 1 mm do 10 mm (v ČZ ve Strakonicih). Dřívky jsou z ocele, nebo keramické o různých průměrech menších, než je průměr kuličky. Na talířek se nechá současně instalovat několik různých snímačů, které tvoří snímací systém, tzn. konfiguraci na obr. 61.



Obr. 61 – detail talířku se systémem tvořící 6 snímačů

Díky tomuto uspořádání je možné měřit různé elementy jediným systémem a klesají tak nároky na počet talířků v zásobníku. Avšak počet snímačů v systému je omezen maximální hmotností celého systému (i s talířkem) a rozpětím mezi jednotlivými snímači.



Obr. 62 – měření součásti

Elektrické napájení strojů je klasické jednofázové, jediná podmínka je, že každý stroj musí mít samostatný okruh, aby nedocházelo k interferencím a vzájemnému rušení.

O přísun vzduchu se stará vzduchový kompresor. Vzduch musí být naprosto čistý a suchý.

Kalibrace se provádí jednou týdně, nebo při situacích uvedených níže.

Kalibrace se musí provádět v těchto případech:

- a. když se značně změní okolní teplota a konstrukce konfigurace se skládá z dílů s odlišnými koeficienty teplotní roztažnosti
- b. po kolizi stroje
- c. v případě aplikace nového snímacího systému

Rozeznáváme typy kalibrací:

1. kalibrace snímače
2. kalibrace stroje

Kalibrace snímače se provádí za účelem zjištění rozměrových a pevnostních (v případě aktivního skeningu) charakteristik jednotlivých snímačů. Rozměrové charakteristiky jsou poloha středu snímací kuličky vzhledem k tzv. referenčnímu snímači a poloměr této kuličky. Pevnostní charakteristikou je pevnostní tenzor, který obsahuje informace potřebné pro výpočet průhybů snímače v jednotlivých osách.

Ke kalibraci se používá tzv. kalibrační normál a referenční snímač. Kalibrační normál je velice přesná keramická koule o známém průměru a s minimální odchylkou tvaru. Referenční snímač je speciální snímač, který je složen z dřívku a rubínové kuličky o konkrétních parametrech.

Při kalibraci je nutné, aby byly očištěné všechny kalibrační snímače a kalibrační koule. Na čištění se používá lih.

- I. Ruční kalibrace – kalibrační normál má magnetický podstavec. Aby mohl magnet působit, musí se kalibrační normál umístit na kovovou desku. Tato deska musí být přišroubována na měřicí stůl (obr. 62). Než se může určit délka

snímačů, musí být určena poloha kalibračního normálu. Na to se používá referenční snímač (obr. 63).

- a. referenční měření – nasadí se referenční snímač do upínače talířku, programově se nastaví referenční měření a ručně se nasnímá koule kalibračního normálu. Nejprve se snímá dotek ve směru dřívku (v případě referenčního snímače kolmo dolů), poté se nasnímají zbývající osy. Tím program zjistí polohu kalibračního normálu a jeho průměr.
- b. kalibrace systému snímačů – každý snímač se kalibruje zvlášť a samotná kalibrace probíhá stejně jako referenční měření. Ručně se najede snímačem na kalibrační kouli ve směru dřívku, a poté se ručně nasnímá co nejvíce hodnot koule. Takto se postupuje u všech snímačů umístěných na talířku.



Obr. 63 – kalibrační normál
na kovové desce



Obr. 64 – referenční snímač

- II. Automatická kalibrace – provádí se stejně jako ruční kalibrace, jen je vše zautomatizováno. Referenční snímač si najde a nasnímá kalibrační kouli podle programu, tím si načte její okamžitou polohu pro všechny ostatní snímače. Automatickou výměnou se vymění referenční snímač za jiný kalibrovaný systém. Systém je v programu definován ruční kalibrací (kolik má snímačů a jejich tvar). Tento systém se automaticky upne do hlavy, vyváží a po navolení

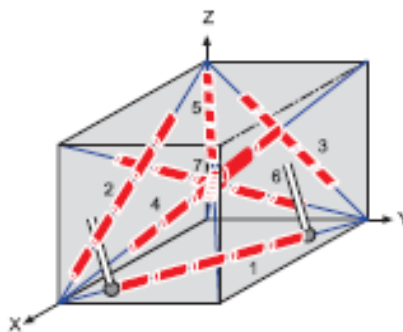
programu „automatická kalibrace“ je celý snímací systém kalibrován. Na obrazovce počítače se zobrazí hodnoty jednotlivých snímačů systému a jejich rozptyl (Rozptyl je statistická veličina, která kvantifikuje proměnlivost naměřených hodnot. V podstatě lze hovořit o stabilitě měřené hodnoty.).

Teplotní kompenzace – měřící software vypočte geometrii součásti pro vlastnosti materiálu při teplotě 20°C (což je referenční teplota). Jelikož je skutečná teplota jiná, musí být naměřená data geometrie korigována pomocí korekční hodnoty. Tu vypočte měřící software na základě znalosti teploty měřicího stroje a měřené součásti a příslušných koeficientů teplotní roztažnosti.

Zjišťování nejistot měření

Délková nejistota měření

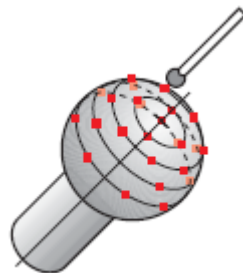
K určení délkové nejistoty měření se kalibruje poloha etalonu. Měří se 5 různých délek v 7 různých pozicích v rozsahu stroje podle normy ISO 10360-2. Každá délka je měřena 3x. Při žádném ze 105 měření se nesmí odchýlit od kalibrační hodnoty více, než je specifikovaná velikost. Tato velikost je většinou závislá na délce.



Obr. 65 – délková nejistota

Nejistota snímání (spínací hlava)

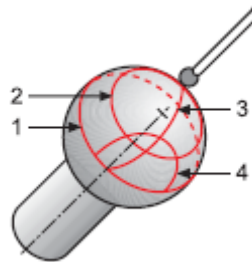
K určení nejistoty snímání, se používá kalibrační koule (průměr od 10 do 50mm) se zanedbatelnou chybou. Tato koule se umísťuje na 25 předepsaných míst podle normy ISO 10360-2. Z naměřených výsledků se počítá nejmenší gaussova koule.



Obr. 66 – nejistota snímání

Nejistota skenování

K určení nejistoty skenování se používá kalibrační koule o průměru 25mm. Skenuje se ve 4 předepsaných polohách podle normy ISO 10360-4.



Obr. 67 – nejistota skenování

4.2.3.2. Eclipse

Eclipse je nejstarším z používaných portálových měřidel v ČZ Strakonice na divizi Auto. Tento stroj je opatřen starší spínací hlavou.



Obr. 68 – souřadnicový stroj Eclipse

4.2.3.3. Prismo

Konstrukce tohoto stroje umožňuje provádět měřicí operace rychleji než Eclipse a umožňuje měřit větší obrobky. Stroj je již opatřen novější skenovací hlavou.



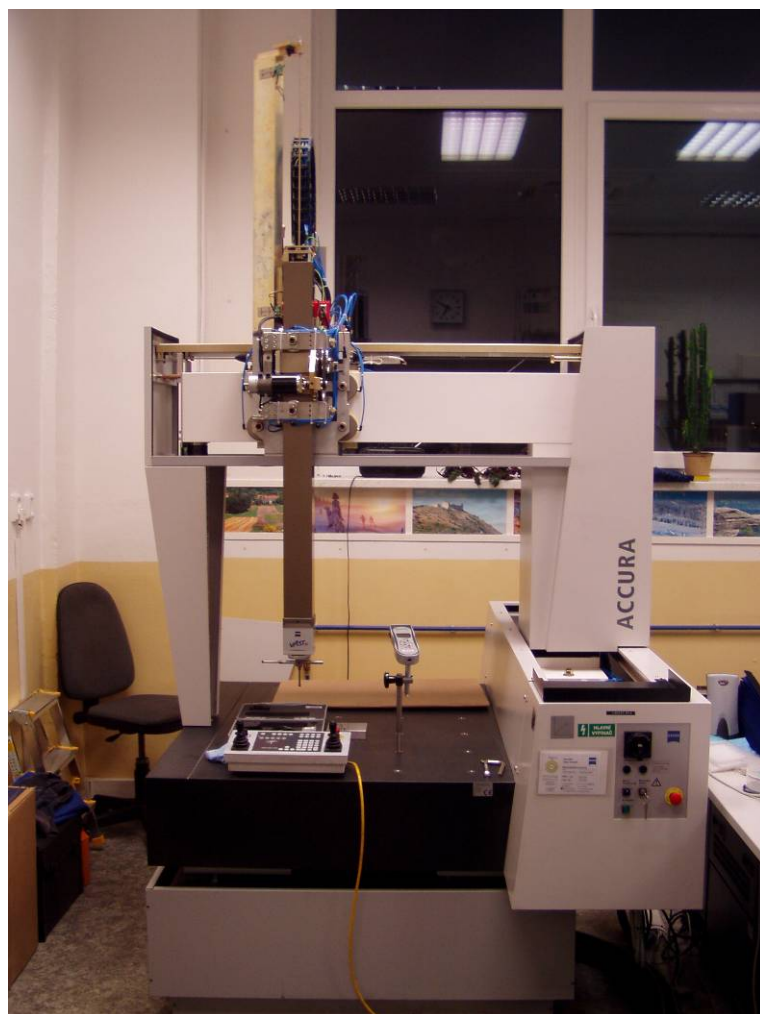
Obr. 69 – souřadnicový stroj Prismo

4.2.3.4. Contura a Accura

Tyto dva stroje jsou téměř totožné, liší se hlavně ve velikosti obrobku, který jsou schopny změřit. Oba jsou vybaveny nejnovější skenovací hlavou.



Obr. 70 – souřadnicový stroj Contura



Obr. 71 – souřadnicový stroj Accura

5. Závěr

Úvodní část soustřeďuje informace z citovaných zdrojů a systematicky je třídí. Jsou zde vybrány vhodné způsoby měření a stanoven rozsah a hloubka vybraných oblastí vhodných pro použití ve vyučovací praxi na PF, případně středních odborných školách. Témata jsou přizpůsobena možnostem a dosažitelnosti těchto metod v regionu uvedených škol. V regionu jsem se zaměřil zejména na výrobní závod ČZ, a.s. ve Strakonících a odborníky z praxe, kteří mají zkušenosti v délkovém a tvarovém měření. Co se týče měřících přístrojů, je soustředěna pozornost především na renomovanou firmu Carl Zeiss Jena a Mahr. Zaměřil jsem se na přístroje od těchto firem, protože jsou používány v ČZ, a.s. ve Strakonících a to konkrétně na 2D měřidlo Mahr a 3D měřidla Acura, Contura, Prismo a Eclipsa. Jsou zde popsány jednotlivé měřící stroje a přístroje a rozebrána jejich funkce, obsluha a údržba. Uvedl jsem postup měření a jeho funkci v řízení kvality ve výrobě.

Zpracování daného tématu je první soubornou prací většího rozsahu, kterou jsem dosud zpracoval. Mimo odborných poznatků (zkušenosti v oboru kontroly jakosti) mi vypracování daného zadání přineslo i celou řadu užitečných poznatků v systému zpracování rozsáhlejších odborných textů. Zpracování tématu mi dalo možnost nahlédnout do jedné z nejmodernějších metod měření délek a tvarů. Vybrané téma je nanejvýš aktuální v současné etapě rozvinuté hromadné výroby. Udržení kvality je dnes klíčovou otázkou pro prodejnost a funkčnost všech technických výrobků.

6. - Seznam použité literatury

Odborná dokumentace - MAHR - I dimensional metrology

Odborná dokumentace – 3D měřidel

Soubor návodů pro technická měření

- Informační zdroje z internetu

definice a vztahy:

<http://cs.wikipedia.org>

informace z historie měření:

<http://www.mirkapokus.euweb.cz>

Informace o měřidlech Mahr a jejich dokumentace:

<http://www.mahr.de>

Informace o měřidlech Zeiss a jejich dokumentace:

<http://www.zeiss.de>

Obecné informace o portálových měřidlech

<http://www.thome-praezision.cz>

Informace o strojírenské technologii:

<http://www.boucnik.cz>

7. Přílohy

Příloha 1 – technické parametry základních typů jednotlivých strojů

Příloha 2 – měření výrobků na 2D měřidle Mahr

Příloha 3 – měření výrobků na 3D měřidlech Eclipse a Prismo

Příloha 4 – kalibrace 3D měřidla Acura

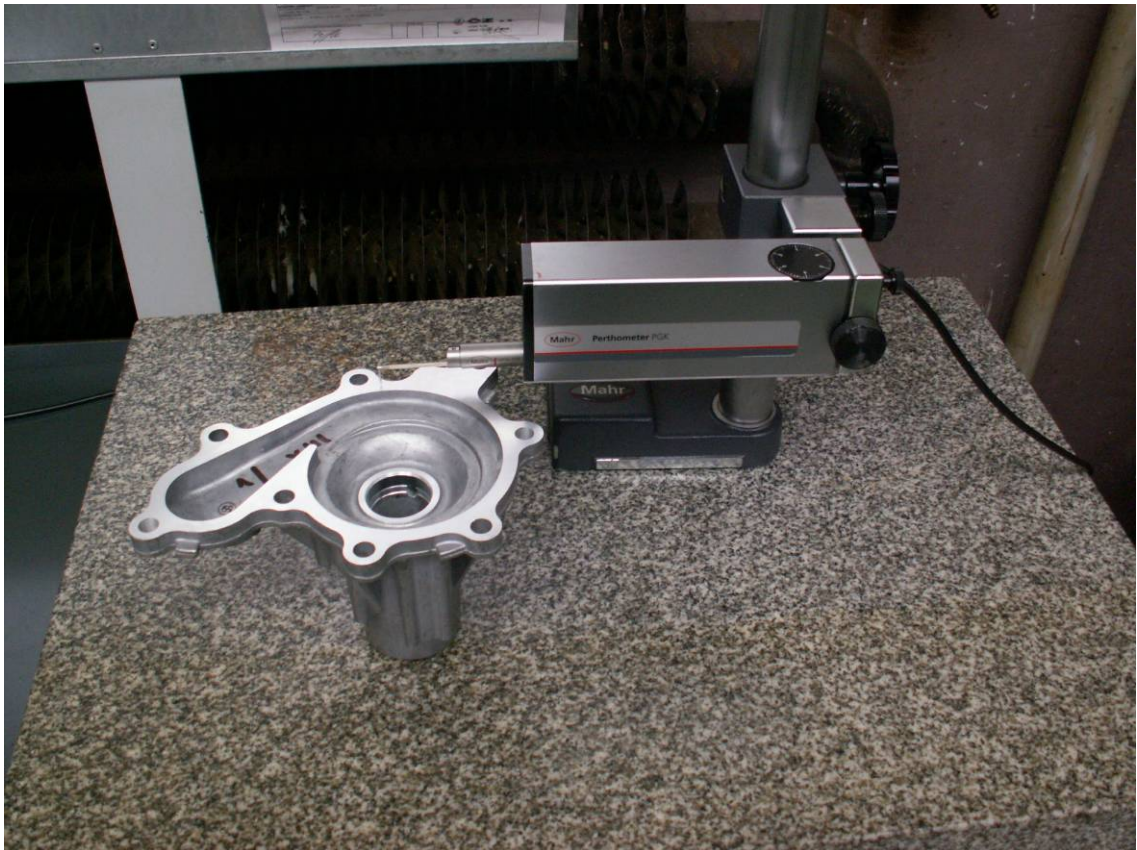
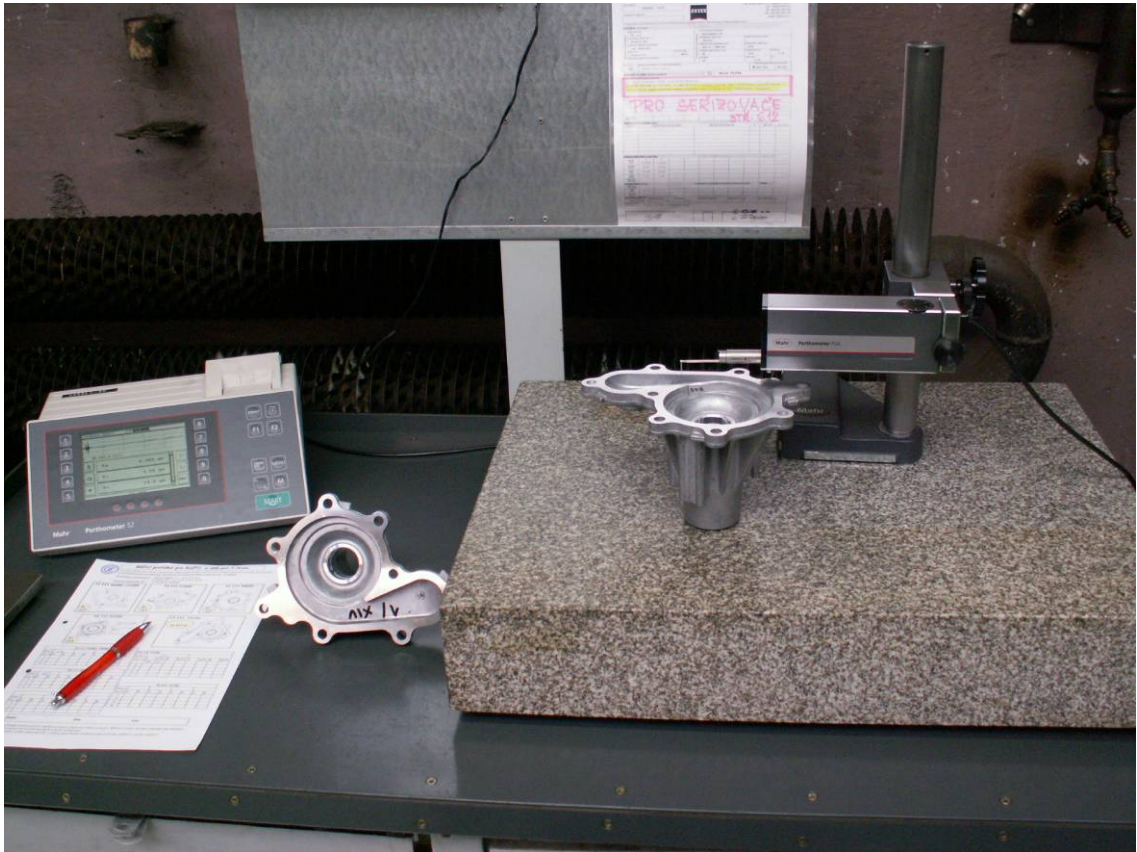
Příloha 5 – výstupní kontrola

Příloha 1

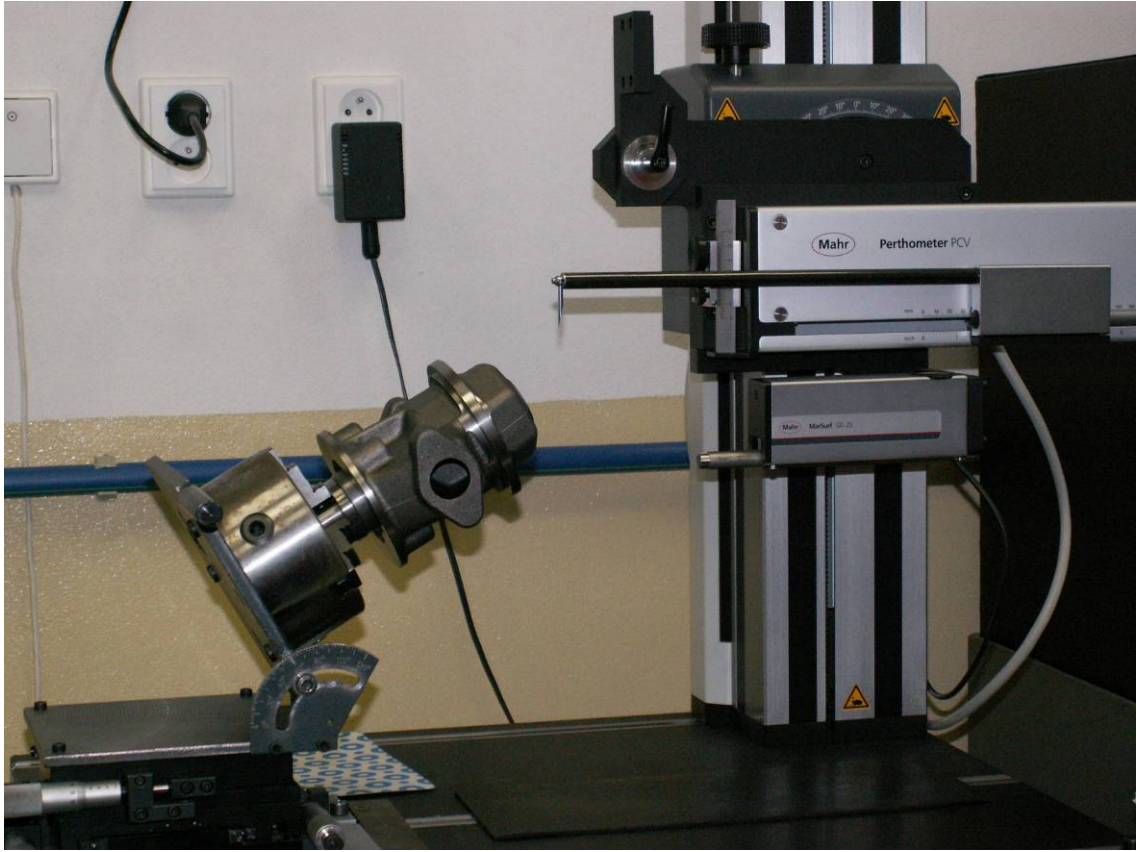
ECLYPSE		Eclipse 700		PRISMO navigator 7
Měřicí rozsah (podle označení stroje)	X v mm	700	700	700
	Y v mm	700	1000	900
	Z v mm	580	580	650
Celkový rozměr stroje	hloubka v mm	1400	1400	1750
	šířka v mm	1550	1860	1568
	výška v mm	2570	2570	2940
Výška pracovní desky	v mm	760	760	860
Výška portálu (od pracovní desky)	v mm	730	730	710
Vzálenost hlavy od pracovní desky	v mm	580	580	585
		635	635	
Pracovní prostor x,y	v mm	914x1016	914x1321	914x1016
Hmotnost stroje	v kg	1000	1210	1700
Maximální hmotnost měřeného dílu	v kg	560	730	1200
Dělková nejistota měření (MPE _E)	v μm	2,5+L/250		1,6+L/333
Nejistota snímání (MPE _p)	v μm	3,3		1,7
Scenovací nejistota snímání (MPE _{THP})	není umístěna skenovací hlava			2,5
Pojezdová rychlost		od 0 do 70 mm/s podélná 250 mm/s vektorová 425 mm/s		od 0 do 70 mm/s podélná 300 mm/s vektorová 520 mm/s

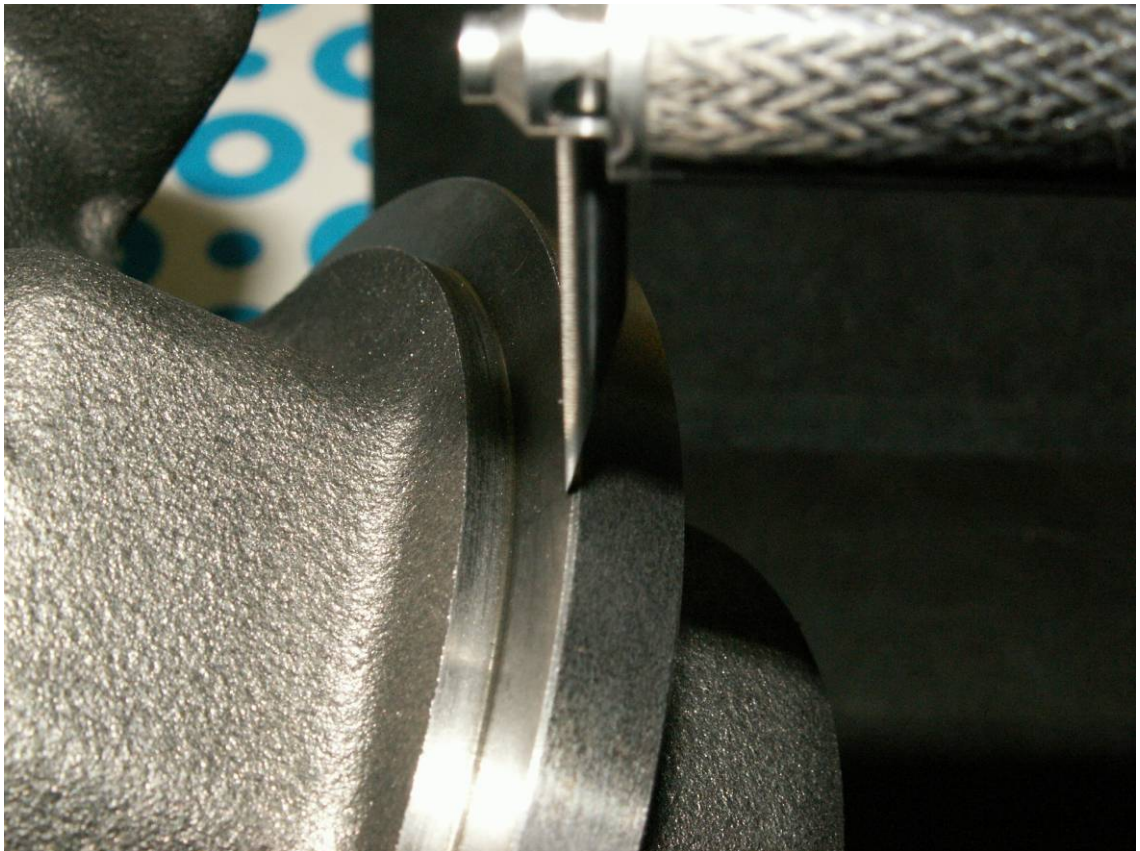
CONTURA		Contura 7	Accura 7
Měřicí rozsah (podle označení stroje)	X v mm	700	700
	Y v mm	700	900
	Z v mm	600	700
Celkový rozměr stroje	hloubka v mm	1430	1725
	šířka v mm	1525	1539
	výška v mm	2800	2790
Výška pracovní desky	v mm	850	710
Výška portálu (od pracovní desky)	v mm	845	704
Vzálenost hlavy od pracovní desky	v mm	716	685
Pracovní prostor x,y	v mm	920x1041	890x1220
Hmotnost stroje	v kg	1278	1600
Maximální hmotnost měřeného dílu	v kg	560	1200
Dělková nejistota měření (MPE _E)	v μm	1,8+L/300	1,6+L/333
Nejistota snímání (MPE _p)	v μm	1,8	1,7
Scenovací nejistota snímání (MPE _{THP})	v μm	2,5	2,5
Pojezdová rychlost		od 0 do 70 mm/s podélná 250 mm/s vektorová 520 mm/s	od 0 do 70 mm/s podélná 300 mm/s vektorová 520 mm/s

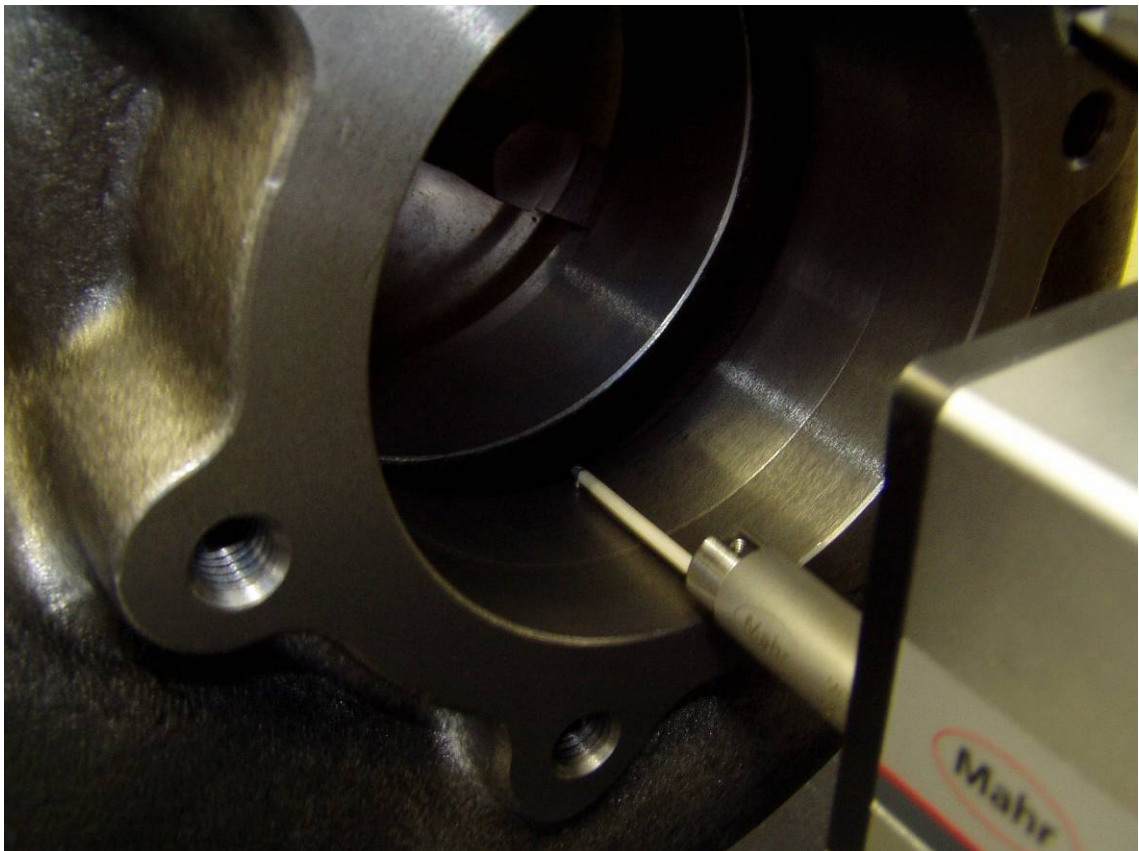
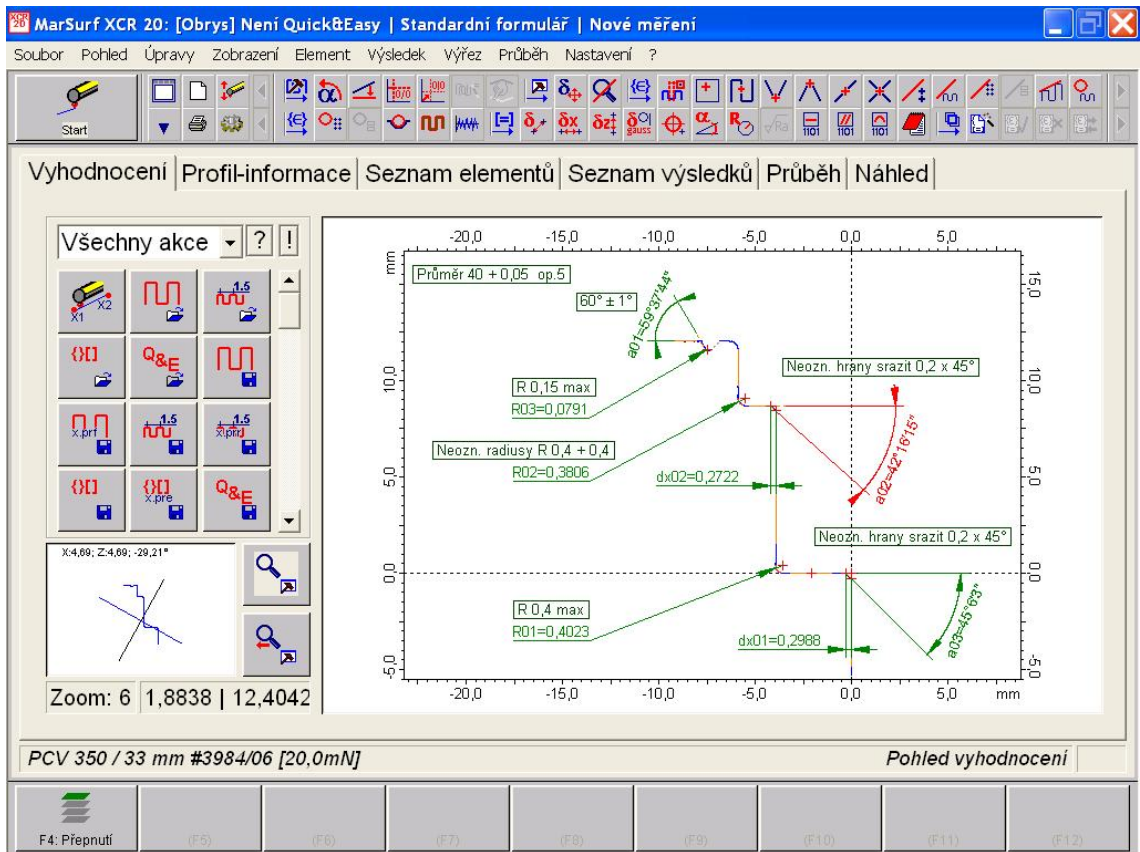
Příloha 2

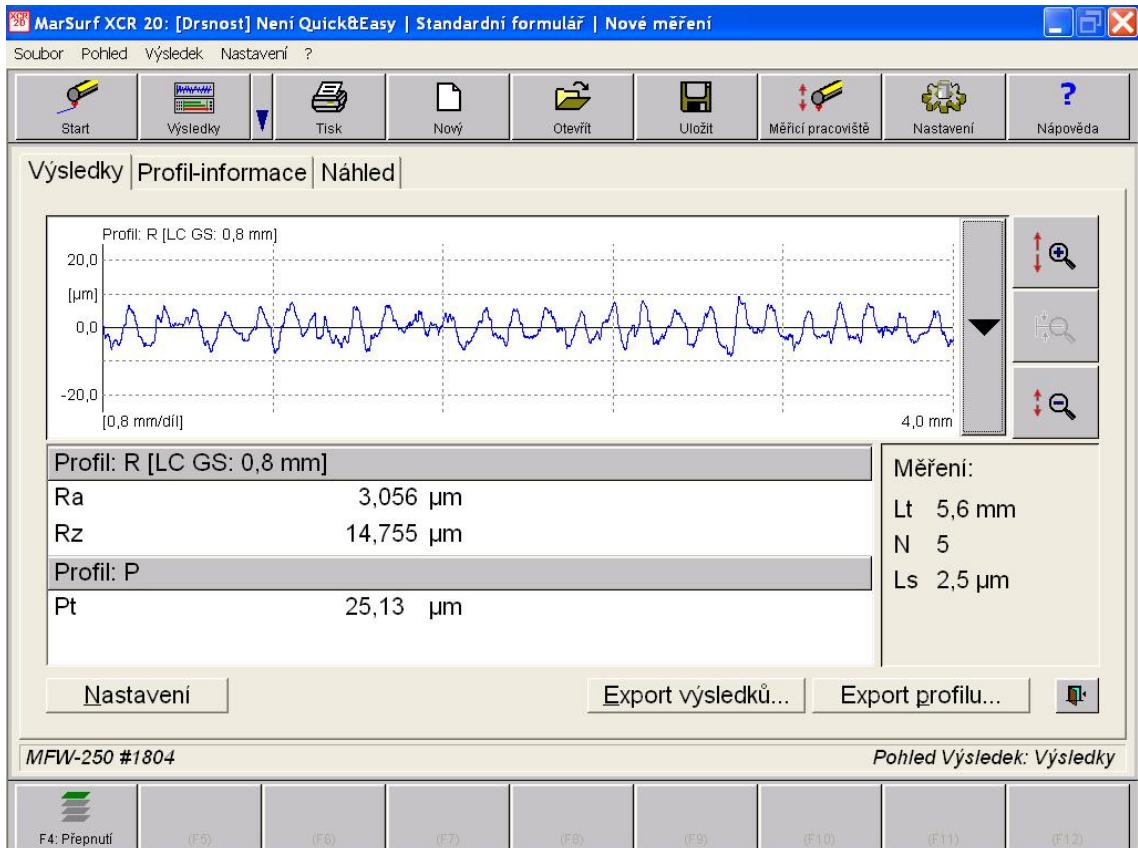
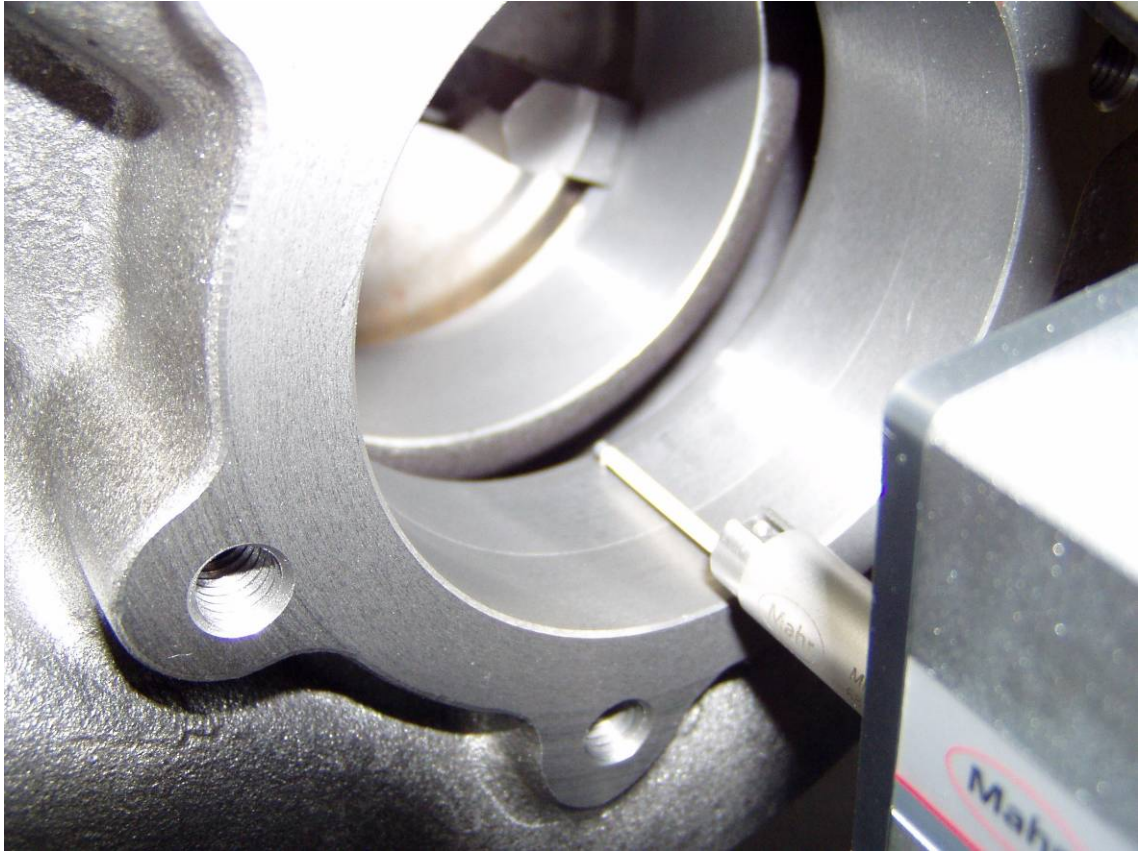








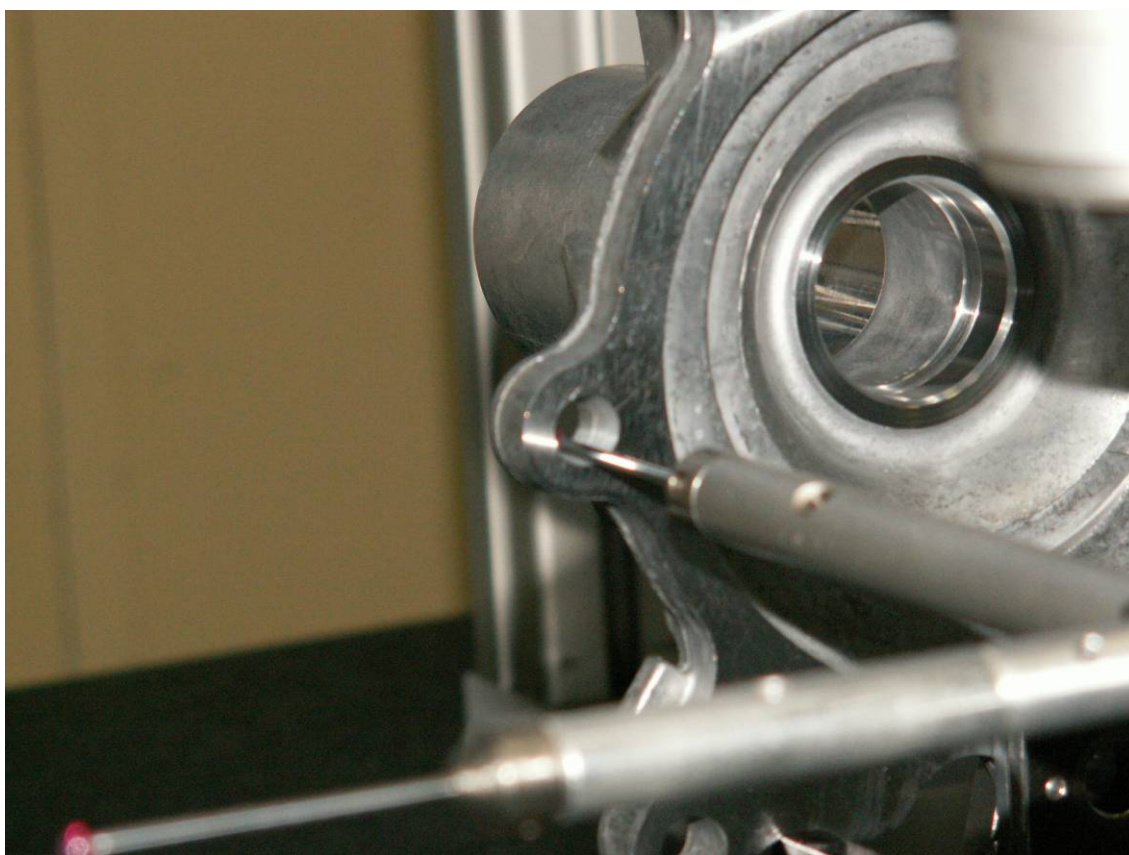
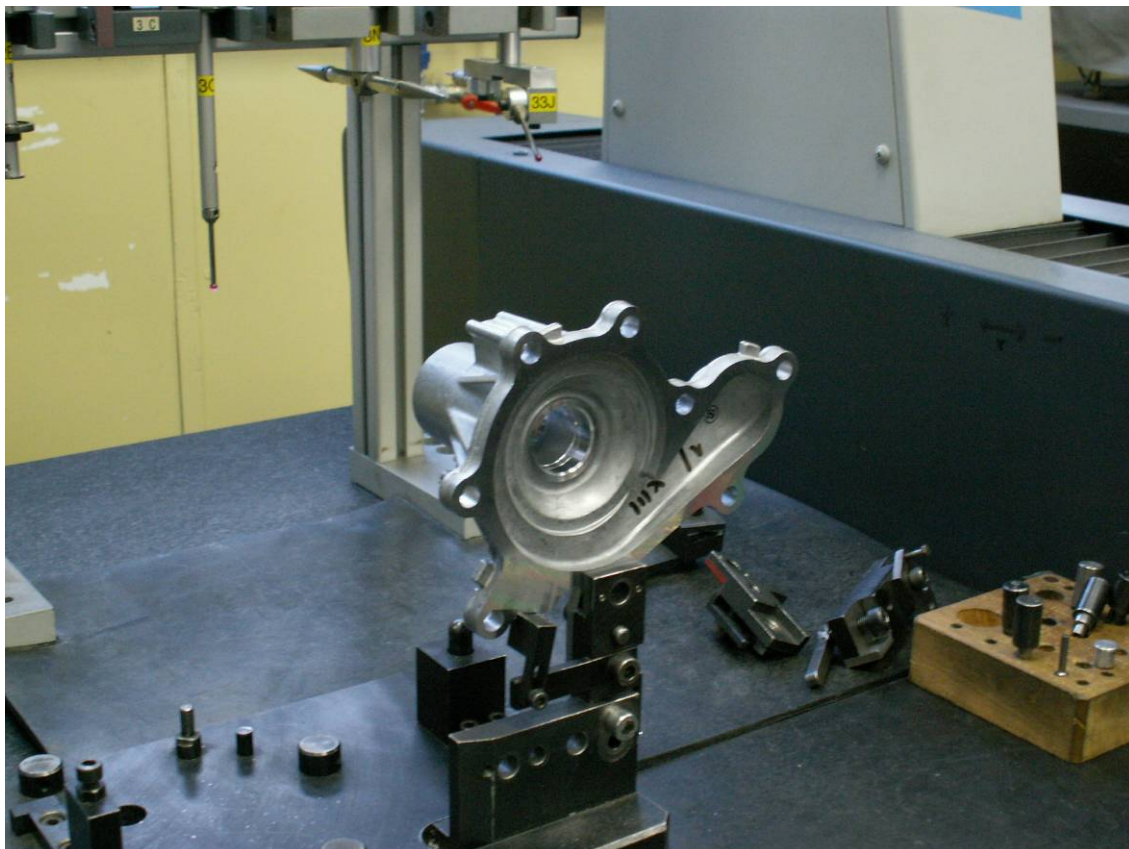


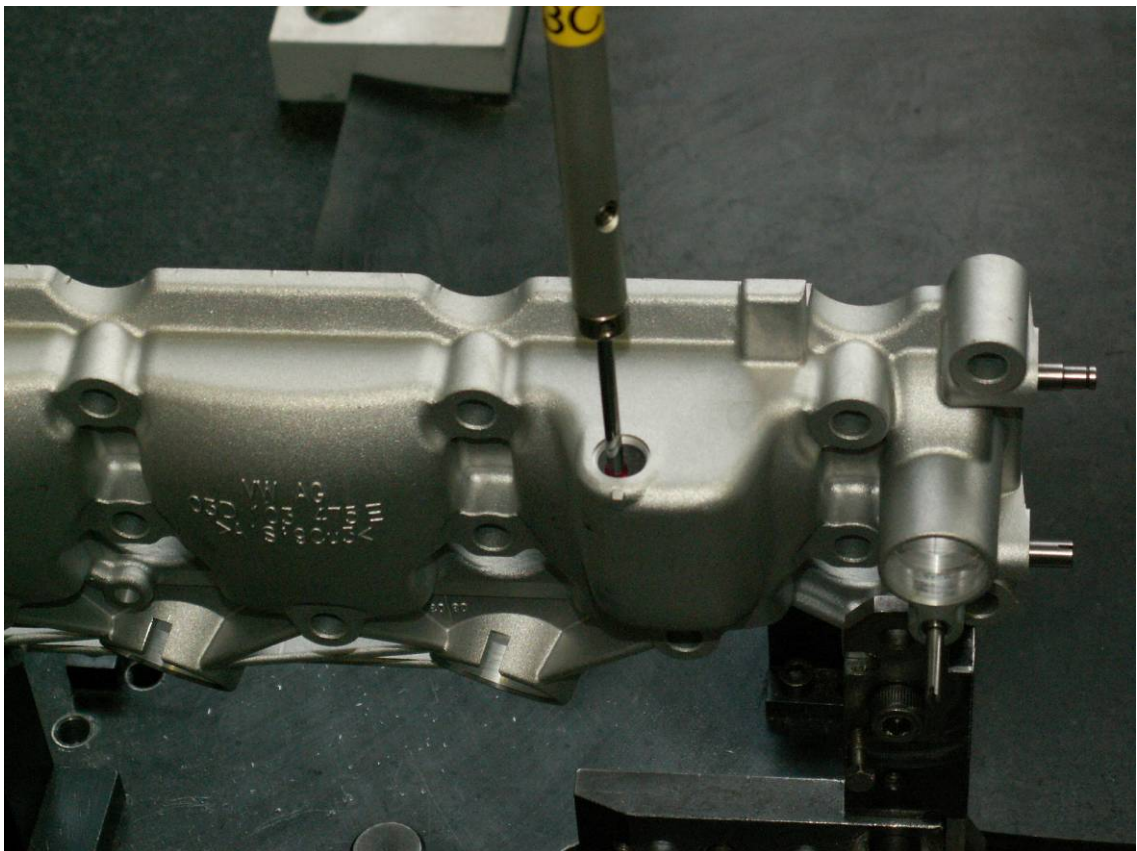
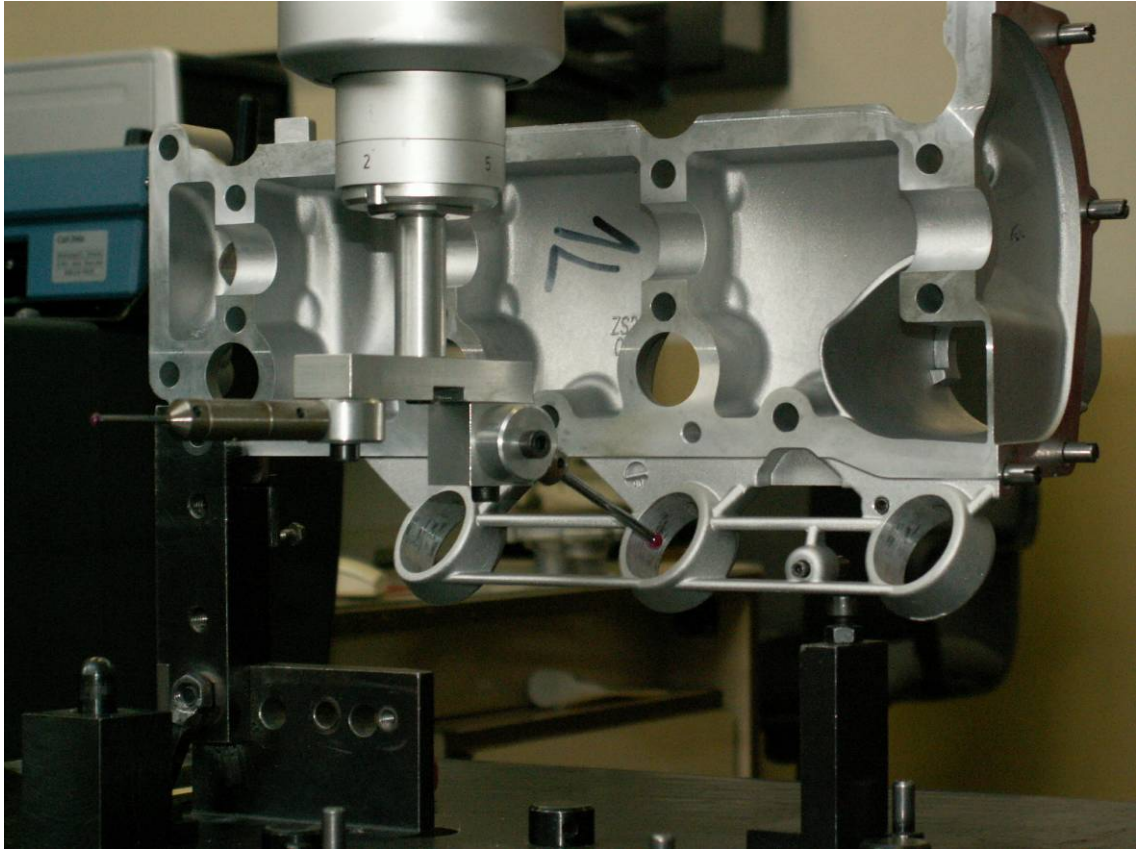


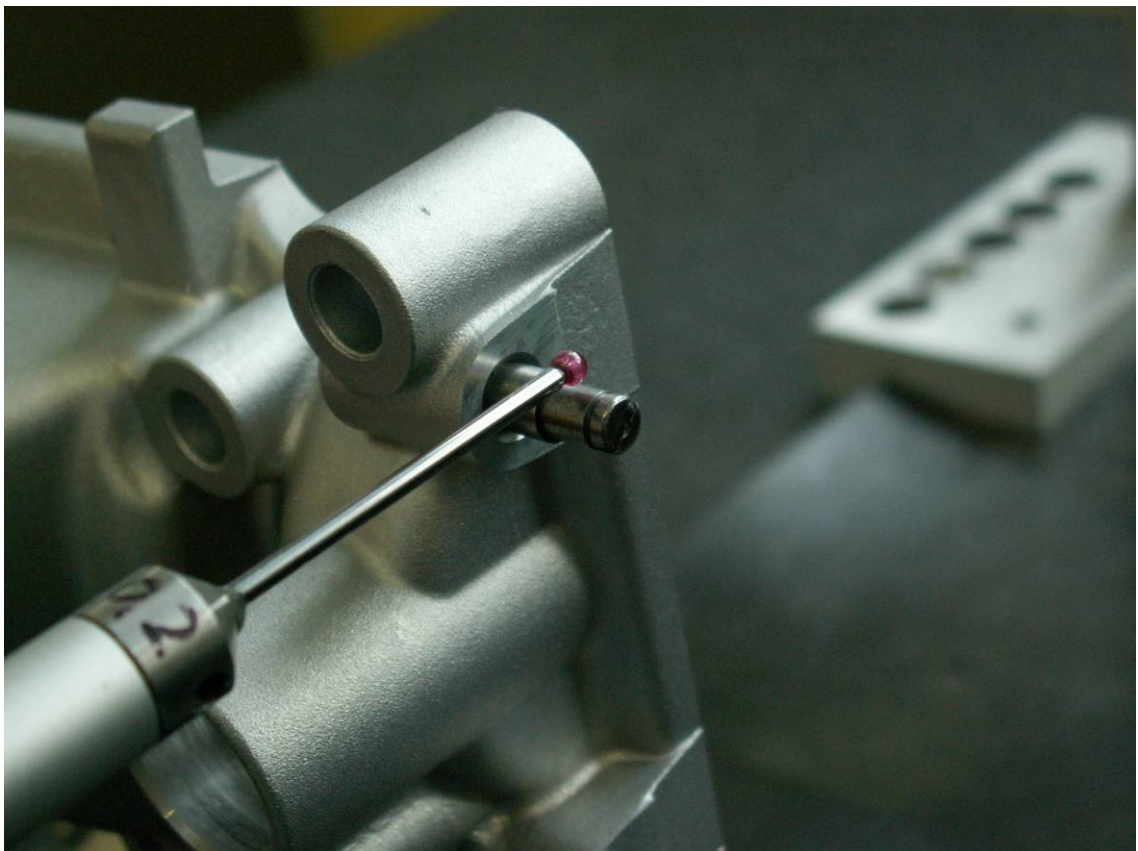




Příloha 3

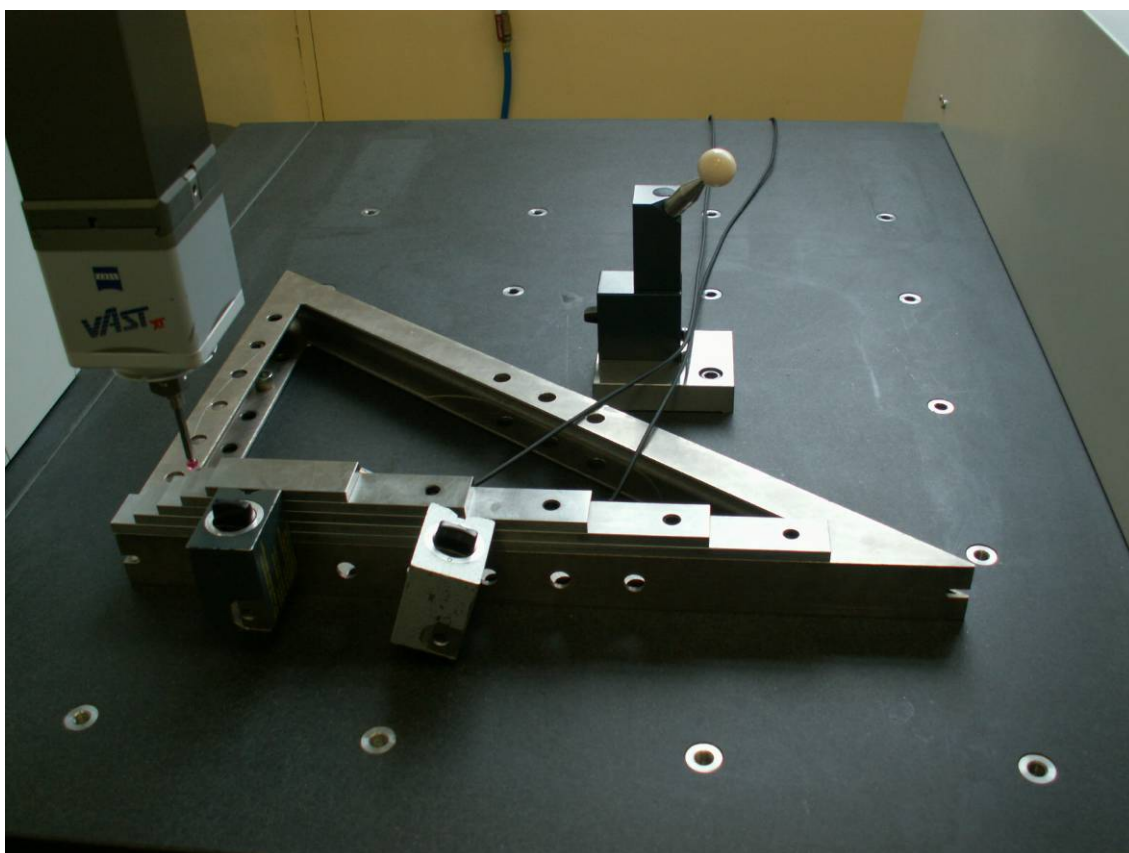
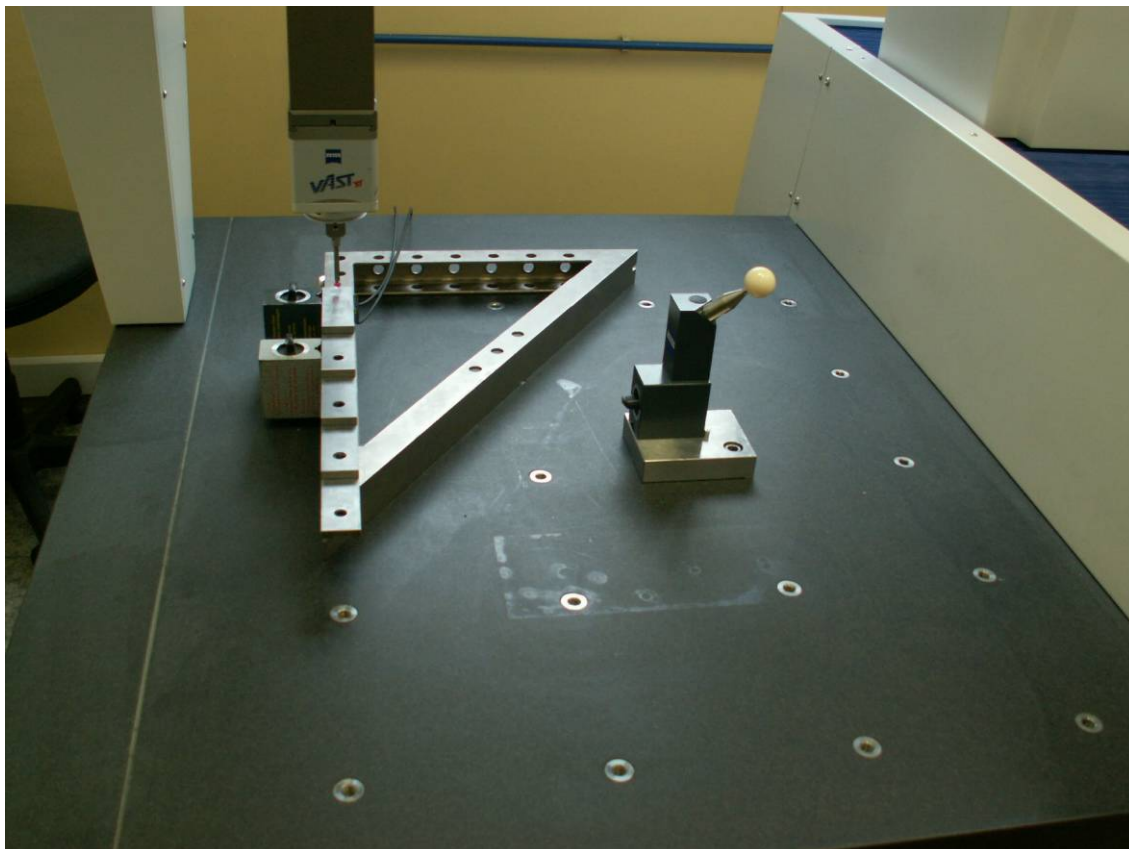




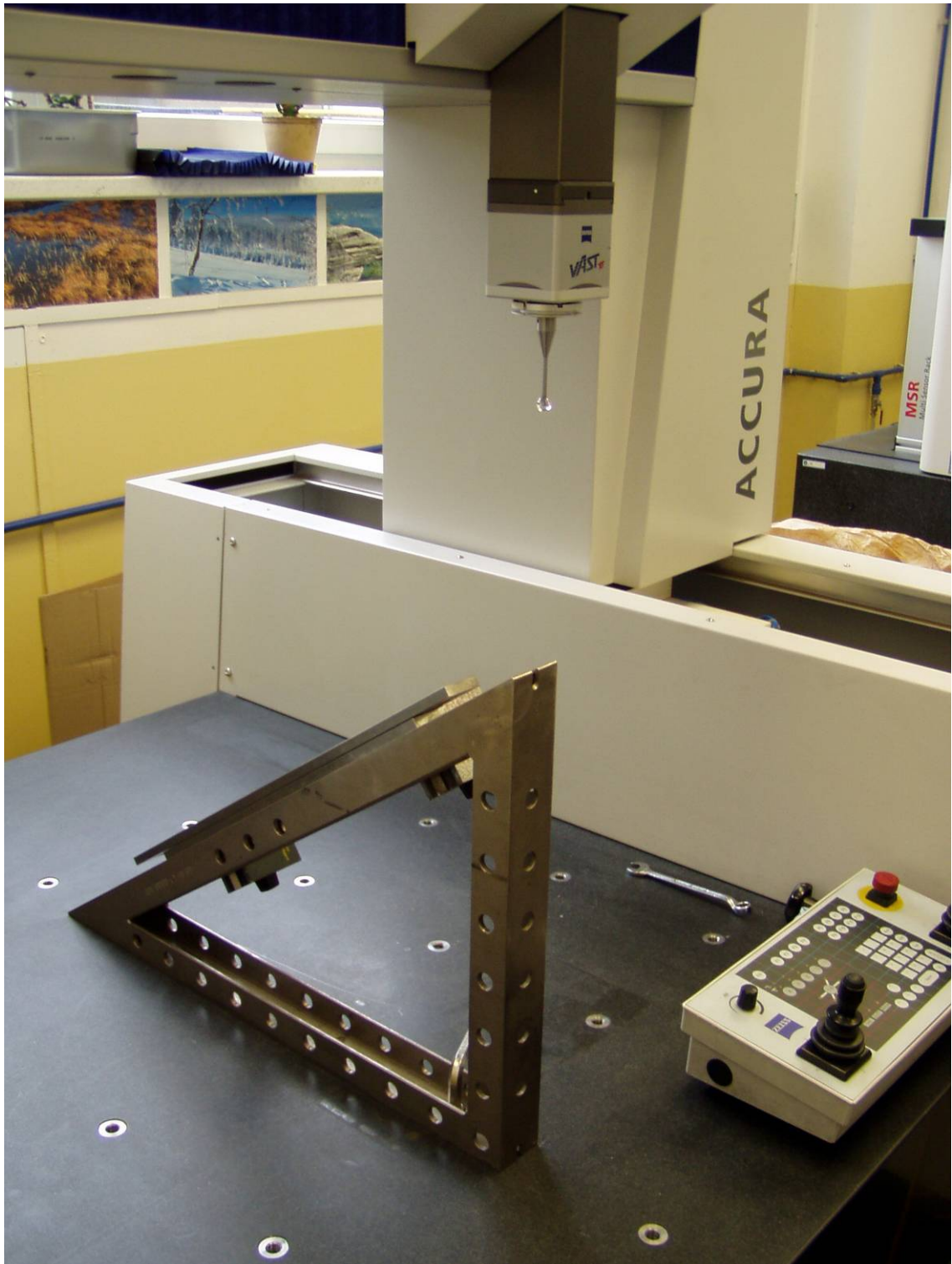


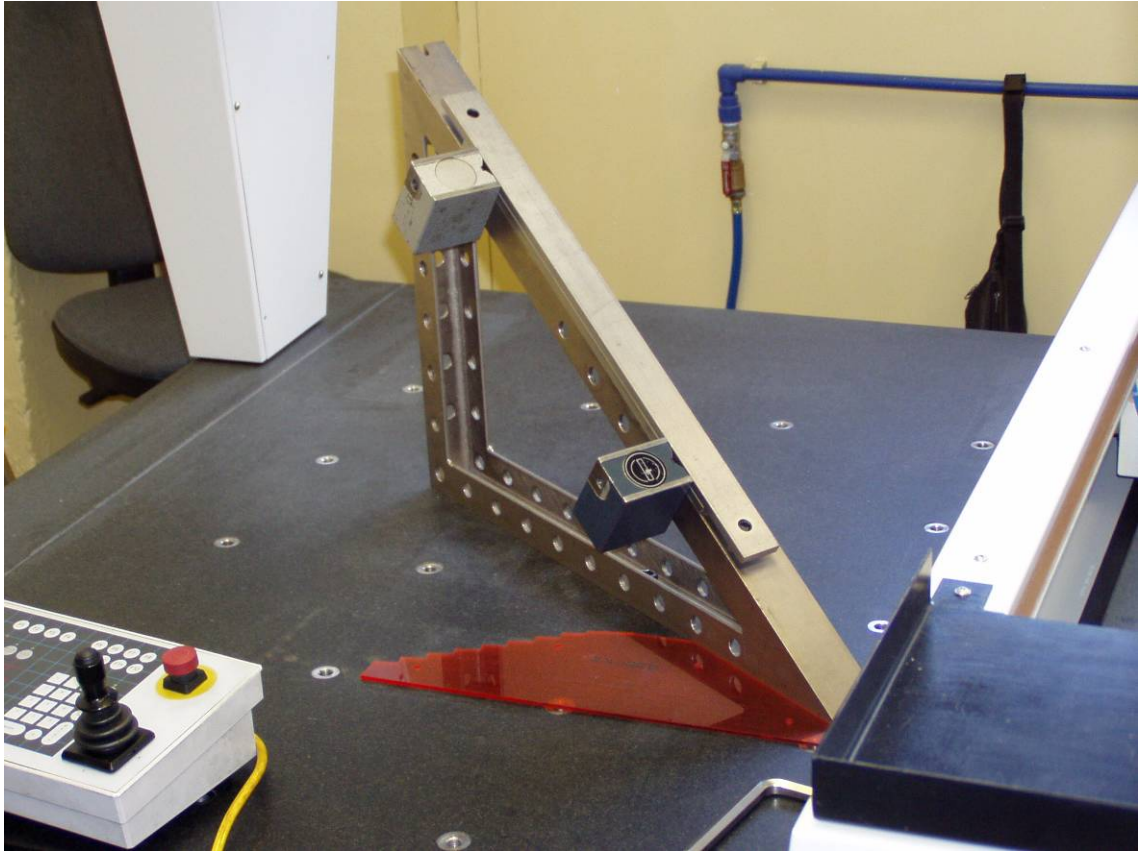


Příloha 4









Příloha 5



