



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MĚŘICÍ STANICE V AUTOMATICKÉ OBRÁBĚCÍ LINCE

MEASURING STATIONS IN AN AUTOMATIC MACHINING LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Fúsek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jakub Fúsek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Měřicí stanice v automatické obráběcí lince

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Studie možností automatického měření v sériové výrobě. Doložení vzorové situace.

Cíle diplomové práce:

- Principy měření strojírenských výrobků
- Charakteristika měřené součásti
- Obráběcí proces součásti
- Přiřazení měřicí stanice
- Měřicí cyklus
- Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů: Technologické projekty I. 3. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.

IMAI, Masaaki. Kaizen. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

Kompletní program pro manipulaci a skladování nebezpečných látek. Strakonice: DENIOS, s. r. o., 2005. 180 s.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

WIREMAN, Terry. Total productive maintenance. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2004. p. 196. ISBN 0-8311-3172-1.

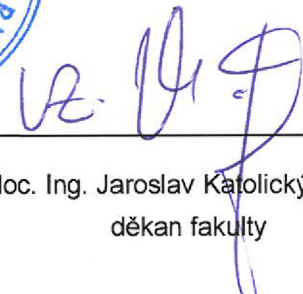
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím měřicích stanic v automatických obráběcích linkách. Je uveden přehled metod měření strojírenských výrobků ve strojírenské praxi, se zaměřením na automatizaci měření. Rozebrány jsou základní principy funkce těchto zařízení, jejich konstrukce a používané materiály. Hlavní částí je charakteristika souřadnicové měřicí techniky, jež se nadále vyvíjí a nabízí stále více možností automatického měření. Praktická část je zaměřena na doložení vzorové situace měření na tomto druhu zařízení a zhodnocení možnosti jeho začlenění v automatické obráběcí lince.

Klíčová slova

Souřadnicové měřicí stroje, měřicí sondy, dotykové měření, bezdotykové měření, nástrojové sondy, dotyk.

ABSTRACT

This master thesis deals with the use of measuring stations in an automatic machining lines. An overview of the methods of measuring engineering products in engineering practice with a focus on automation of measurement is described. The basic principles of function of these machines, their construction and materials are described. The largest part describes coordinate measuring machines, which continue to evolve and offer more and more possibilities for automatic measurement. The practical part is aimed at documenting the sample situation of measurements on this type of equipment and evaluating the possibility of its integration into the automatic machining line.

Key words

Coordinate measuring machines, measuring probes, touch measurement, non-contact measurement, tool probes, touch.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FÚSEK, J. *Měřicí stanice v automatické obráběcí lince*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 71 s. a 21 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Měřicí stanice v automatické obráběcí lince** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jakub Fúsek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Milanu Kalivodovi za odborné vedení, za vstřícný přístup a cenné rady při vypracování diplomové práce.

Rovněž děkuji své rodině za podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZPŮSOBY MĚŘENÍ STROJÍRENSKÝCH VÝROBKŮ	10
1.1 Přehled konvenčních měřidel pro třískové obrábění.....	11
1.2 Zařízení pro automatické a poloautomatické měření	11
1.2.1 Souřadnicové měřicí stroje (SMS).....	11
1.2.1.1 Průběh měření na SMS	14
1.2.1.2 Konstrukce SMS.....	15
1.2.1.3 Příslušenství SMS.....	18
1.2.1.4 Koncepce souřadnicových měřicích strojů.....	19
1.2.1.5 Měřicí dotyky	22
1.2.2 Měření na CNC obráběcích strojích	27
1.2.2.1 Princip funkce měřicích sond	28
1.2.3 Zařízení pro bezdotykové měření	30
1.2.3.1 Nástrojové bezkontaktní sondy	30
1.2.3.2 Měřicí mikroskopy	31
1.2.3.3 Zařízení pro laserové skenování součástí	32
2 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÉ SOUČÁSTI.....	33
2.1 Funkce zvolené součásti.....	33
2.2 Charakteristika zvoleného materiálu.....	34
2.3 Popis prvků součásti.....	35
3 Obráběcí proces součásti	36
3.1 Volba polotovaru.....	36
3.2 Obráběcí proces.....	38
3.2.1 Dělení materiálu.....	38
3.2.2 Soustružení.....	39
3.2.3 Frézování	41
3.2.4 Broušení	43
3.3 Nástrojový list	45
3.4 Určení řezných podmínek	46
4 Volba měřicího zařízení	48

5	Měřicí proces	51
6	Technicko-ekonomické zhodnocení	57
6.1	Časová náročnost měření	57
6.2	Nákladové položky chodu stroje.....	58
6.3	Náklady na nákup měřicího vybavení	59
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

Stejně jako tomu bylo na 59. ročníku Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně, tak i trendem dnešní doby je snaha o co největší podíl automatizace ve výrobním procesu. S příchodem automatizace jednoznačně souvisí možnost vyrábět věci rychleji, jednodušeji, levněji a přesněji. Počátky snahy o automatizaci se mapují ke konci 16. století, kdy vznikl první vibrační podavač obilí. Větší pokrok byl zaznamenán až na přelomu 18. a 19. století, tedy v období průmyslové revoluce. V této době vznikly první automatické stroje, jež vstupovaly do výroby ve větším počtu. Jednalo se o doprřadací stroje. V dalších desetiletích se automatizace začala konečně prosazovat i ve strojírenské výrobě. Nastal vývoj od prvních poloautomatických revolverových soustruhů, až po současná nejmodernější automatická obráběcí centra. Vývoj již dosáhl úrovně, kdy vznikají automatizované výrobní linky, kde lidé vykonávají pouze dohlížecí funkci. Při zvážení výše zmíněných informací je nutné poukázat i na často probíraný negativní dopad automatizace, kterým je náhrada lidské práce strojem. Zanikají tak některé pracovní příležitosti, které byly lidmi dlouhou dobu vykonávány. Na druhou stranu vznikají pracovní příležitosti nové a často méně fyzicky náročné.

Při zaměření se na obrábění a s tím související prostředky lze říct, že došlo k postupnému vývoji až na současné CNC obráběcí stroje a CNC obráběcí centra. Tato zařízení umožňují dosáhnout vysoké produktivity a přesnosti výroby, díky čemuž je možné se zaměřit na další aspekty obrábění. Vznikají nové nástroje, je možné pracovat s řeznými podmínkami, které ještě před lety byly nemyslitelné, vznikají nové možnosti ustavování obrobků i nástrojů a v neposlední řadě, s obráběním úzce související, nové možnosti měření.

Právě automatizace v oblasti strojírenské metrologie je hlavním tématem této diplomové práce. Měření za pomoci sond na CNC obráběcích strojích i měření na souřadnicových měřicích strojích představuje v posledních desítkách let největší pokrok v tomto odvětví. Zařazením měřicích sond přímo do obráběcího stroje se výrazným způsobem zpřesní, zrychlí a zlevní výrobní proces součástí. Měřicí sondy umožňují měření obrobku v průběhu obrábění i po obrábění, díky čemuž monitorují a upravují jeho průběh, zajišťují ustavení obrobku i nástroje. Poskytují rovněž možnost detekce poškození nástroje.

SMS umožňují definici počátku souřadného systému kdekoli v prostoru jejich měřicího rozsahu a následně vůči němu vyhodnocují souřadnice všech nasnímaných bodů. Výhodou, i díky specializovanému softwaru, je vysoká rychlost měření a vyhodnocování výsledků ve srovnání s tradičními způsoby měření. Zaznamenané výsledky lze uchovávat v elektronické podobě a na jejich základě vytvářet protokoly z měření.

Při zaměření na automatizaci budou uvedeny základní způsoby měření strojírenských výrobků, principy průběhu měření, bude popsána konstrukce a koncepce daných měřicích strojů, jejich příslušenství a některé další aspekty týkající se této problematiky. Druhá část je zaměřena na popis základních principů obrábění a měření vztažených na zvolenou součást vyráběnou v automatické obráběcí lince.

1 ZPŮSOBY MĚŘENÍ STROJÍRENSKÝCH VÝROBKŮ

Způsob měření strojírenských výrobků se volí v závislosti na celé řadě parametrů. Mezi tyto parametry se řadí například poloha měřeného prvku na dané součásti, charakter rozměru (vnější, vnitřní) či požadovaná přesnost měření [1, 2].

Při nasazení moderních měřících technologií v průmyslu jde zejména o zvyšování přesnosti a jakosti výroby. Dalším důležitým požadavkem je snížení doby mezi vznikem neshodného výrobku a jeho vyřazením z reprodukčního procesu. To vede k tendencím zrychlovat, racionalizovat a automatizovat měření a rovněž k umisťování měřících systémů co nejbližší výrobnímu procesu a v případech kde je to možné, přímo do výrobní linky [3, 4].

Měřící technika se od období odpovídajícího přibližně poslední třetině minulého století vyvíjí od konvenčních měřidel k digitální měřící technice až ke komplexním měřícím systémům. Tyto vývojové směry jsou zřetelné zejména v automobilovém průmyslu a v obdobných vyšších druzích výroby. Zatímco přibližně 25 % geometrických parametrů se dosud měří ručními měřidly nebo více rozměrovými měřícími přípravky orientovanými na určitý produkt, převážná většina měření se přesunuje na souřadnicové měřící stroje a optické měřící systémy, které jsou flexibilnější a podstatně přesnější. Produktivita měřících operací, jejich přesnost a rychlost se zvýšila za toto období až stokrát, měřící rozsahy kontrolních zařízení se zvětšily až desetinásobně. Rovněž se zvýšila spolehlivost měření [4].

Pro kontrolu splnění předpisu přesnosti rozměru je obvykle aplikován jeden z následujících způsobů měření [1, 5, 6]:

- absolutní (přímé)

Skutečná hodnota rozměru se měří univerzálními měřidly, z nichž je možno přímo odečíst absolutní hodnoty. Při měření se musí udržovat co největší čistota měřidla a měřené součásti, aby navrstvené nečistoty neovlivnily naměřený rozměr.

- komparační

Měření komparační se dá jinými slovy popsat jako měření porovnávací (měření podle porovnávacího vzorku) - měření porovnáním. Výsledkem měření není tedy odečet hodnoty rozměru a jeho zapsání. Požadovaný rozměr se musí dopočítat z jiných naměřených hodnot vztažených k porovnávacímu vzorku. Příkladem měřidla využívajícího tento způsob měření jsou kalibry.

- toleranční

Určuje se, zda nejsou překročeny hodnoty mezních rozměrů, případně mezních úchylek.

Mezi základní způsoby dělení měřidel a metody měření patří: měření dotykové a bezdotykové, měřidla pro dílenskou kontrolu, souřadnicové měřící stroje, měřidla mechanická, porovnávací, speciální aj.

Podle výše zmíněných kritérií je nutné zvolit vhodné měřidlo a stanovit odpovídající způsob měření.

1.1 Přehled konvenčních měřidel pro třískové obrábění

Přehled a základní údaje týkající se konvenčních měřidel jsou vzhledem k zaměření této diplomové práce na automatizaci měření zpracovány v přílohách práce.

Konkrétně se jedná o:

- mikrometrická měřidla (příloha 1),
- posuvná měřidla (příloha 2),
- úchylkoměry (příloha 3),
- délkoměry (příloha 4),
- mezní kalibry (příloha 5),
- koncové (základní, Johansonovy) měrky (příloha 6),
- pasametry (příloha 7).

1.2 Zařízení pro automatické a poloautomatické měření

1.2.1 Souřadnicové měřicí stroje (SMS)

Významný vývoj souřadnicových měřicích strojů souvisí se zpřesňováním a zrychlováním výrobního procesu, se kterým musí měřicí technika držet krok. V současné době se rovněž vyžaduje stále vyšší univerzálnost, pružnost a automatizace. Průměrně každých 10 až 15 let se přesnost výroby zvyšuje o jeden IT stupeň, zvyšuje se také řezná rychlost při obrábění. SMS patří k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem strojírenské měřicí techniky. Umožňují rychlou a současně přesnou kontrolu složitých obrobků. Přispívají k zabezpečení kvality výroby a tím i ke zvyšování konkurenceschopnosti strojírenských produktů. Zatímco u prvních SMS bylo snímání především dotykové, dnes se začínají prosazovat stále častěji optické snímací hlavy, jež umožňují rychlejší snímání měřených rozměrů a tím i zvýšení rychlosti měření, ovšem často za cenu nižší přesnosti [7, 8, 9, 10].

Tato kategorie měřicí techniky zahrnuje jak manuální souřadnicové měřicí stroje, k jejichž obsluze je potřeba pracovník, který dané měření provádí, tak CNC měřicí stroje, u kterých není přítomnost pracovníka při měření nutná [11].

S rozvojem SMS se uplatňují další disciplíny. Jednou z nich je reverzní inženýrství. Při této metodě lze snímáním prostorových souřadnic reálného objektu, jehož rozměry a tvar přesně neznáme, převést objekt do digitální podoby [10].

Souřadnicové měřicí stroje umožňují měření komplexní geometrie i těch nejsložitějších součástí. Využívá se přesných odměřovacích systémů ve spojení s výpočetní technikou [8].

Podle konstrukce se souřadnicové stroje dělí na [8]:

- SMS pro měření v 1 ose (délka).
- SMS pro měření ve 2 osách (plocha).
- SMS pro měření ve 3 osách (prostor).

Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že se vhodně stanoví základní bod v prostoru a polohy ostatních bodů měřené součásti se určují ve formě souřadnic těchto bodů v osách souřadného systému X, Y, Z. Možnost volby základního bodu v pracovním prostoru stroje představuje jednu z hlavních výhod oproti konvenčním metodám měření [12].

SMS pro měření ve 3 osách představují vrchol techniky měření geometrických veličin. Na jedno upnutí součásti umožňují složité měření ve 3 navzájem kolmých osách, a to vysokou rychlostí. Mohou být umísťovány přímo do výroby, nebo se používají v laboratořích. Přesnost těchto strojů je až $0,1 \mu\text{m}$ [8]. Příklad moderního CNC SMS umožňujícího měření v prostoru je uveden na obr. 1.

Vzhledem k již zmíněné vysoké rychlosti měření na SMS lze zvyšovat počet kontrolovaných kusů v dávce a tím usnadnit statistické vyhodnocování výroby. Rovněž se neustále zvyšuje spolehlivost SMS, a přitom se snižuje jejich citlivost proti rušivým vlivům dílenského provozu, díky čemuž je možné SMS zařazovat přímo do dílen a bezprostředně je zapojovat do systému řízení jakosti [13].



Obr. 1 Kompaktní dílenský CNC SMS společnosti Mitutoyo [14].

V závislosti na vybavení daného SMS lze rozlišovat tři základní druhy měření [13]:

- automatický režim

V tomto režimu se obrobek dostane na SMS automaticky podle řídicího programu, rovněž kontrolní program je automaticky zařazen, včetně výsledků měření a hlášení o závadách.

- poloautomatický režim

Obrobek se dostal na SMS automaticky podle řídicího programu a operátor zařadí automatický kontrolní program, včetně tisku protokolu o měření. Operátor odesílá hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny daných chyb.

- ruční režim

Operátor si přivolá součást, která má být kontrolována. Stroj pracuje pod ručním řízením, případně operátor zařadí automatický měřicí program. Protokol o měření je zpracován automaticky a operátor odešle hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny chyb.

Jedním z hlavních ukazatelů při měření na SMS je přesnost. Jde o vlastnost, která charakterizuje schopnost SMS dodávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Vyjadřuje kvalitativně stupeň přiblížení naměřených hodnot k hodnotám skutečným. Přesnost měření na SMS je ovlivněna dílčími nepřesnostmi. Při měření může vzniknout celá řada chyb [13]. Jejich částečný výčet v závislosti na zdroji dané chyby je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Zdroje chyb při měření [13].

souřadný systém	snímací systém	měřicí dotyk	měřená součást	odměřovací systém	řízení	podmínky okolí
tření a deformace	linearita	průhyb	povrch	chyby měřítka	chyby digitalizace	chvění
vůle	hystereze					kolísající teplota
chyby kolmosti a přímosti	životnost	chyby tvaru	hmotnost	chyby nastavení		

Vliv teploty okolí na měření

Vzhledem k tomu, že se SMS poměrně rychle začaly prosazovat také v dílenském prostředí, bylo nutné řešit celou řadu problémů. Například jak se vypořádat s nepříznivými dílenskými podmínkami. Mezi tyto podmínky se řadí kolísající okolní teplota, chvění a otřesy způsobené výrobním zařízením, nepříznivý vliv chladicích tekutin aj. K tomu, aby mohlo být provedeno co nejpřesnější měření, je třeba dodržovat rozsah pracovních teplot, který je pro stroj doporučen, omezit prudké změny podmínek vlhkosti, omezit hluk, vibrace a další vlivy [10].

Základní teplotní požadavky pro přesná měření jsou uvedeny v tab. 2. Pokud teplota nedosahuje standardních požadavků, snižuje se přesnost měření stroje. Vzhledem k tomu, že SMS vyžadují téměř konstantní teplotu prostředí, měřicí místnost musí být vybavena klimatizací a teplota by měla být udržována na $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ [15, 16].

Tab. 2 Běžné teplotní požadavky pro přesná měření na SMS [15].

teplotní rozsah	změna teploty	teplotní gradient	doba vyrovnání teploty
$20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	$<0,5 \text{ }^\circ\text{C} / \text{h}$, $<1 \text{ }^\circ\text{C} / 24 \text{ h}$	$<0,5 \text{ }^\circ\text{C} / \text{m}$	$>48 \text{ h}$

Současné moderní SMS již zajišťují flexibilitu i v méně příznivém pracovním prostředí. Ani rychlé teplotní změny velmi výrazně nesnižují jejich spolehlivost. Zaručují přesnost v náročných podmínkách výrobního prostředí, produkují přesné výsledky v teplotním rozsahu od 15 až do $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Mohou využívat sítě teplotních čidel, které přesně detekují teplotu na stroji i na obrobku. Následně se provádí algoritmy teplotní kompenzace v reálném čase a korigují se jimi teplotní deformace stroje i měřené součásti [17].

Účinek teploty lze vyjádřit pomocí koeficientu teplotní roztažnosti a součinitele tepelné vodivosti. Koeficient teplotní roztažnosti, stejně jako změna délky způsobená vlivem teploty, je závislý na materiálu. Například pro ocel (za teploty $20 \text{ }^\circ\text{C}$) se udává přibližná hodnota koeficientu lineární teplotní roztažnosti $13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ a změna délky přibližně

0,0115 mm na 1 °C a na délce 1 metr [16].

Pro malé teplotní rozdíly lze vztah pro výpočet délky za dané teploty zapsat ve tvaru (1.1) [18]:

$$l = l_0 \cdot (1 + \bar{\alpha} \cdot \Delta t) \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

Kde: lvýsledná délka při teplotě t [mm],

l_0délka tělesa při pevně zvolené teplotě t_0 obvykle 20 °C [mm],

$\bar{\alpha}$střední koeficient teplotní délkové roztažnosti [K⁻¹],

Δt změna teploty ($\Delta t = t - t_0$) [K].

1.2.1.1 Průběh měření na SMS

Předností souřadnicové měřicí techniky je získání širokého spektra informací o rozměrech, tvaru a vzájemné poloze snímaných tvarových prvků na základě zjištění souřadnic jednotlivých měřených bodů. Ve všech případech je možno volit různé způsoby pohybu měřicí hlavy a různé způsoby realizace měření [8, 13].

Samotná kontrola součásti vyžaduje přípravu měřicího programu, provedení vlastního měření, vyhodnocení měření a protokolování. Měřicí program může připravit konstruktér součásti na počítači pomocí různého programového vybavení, aniž by SMS byl zatěžován přípravou programu [13].

Proces měření na SMS lze zjednodušeně definovat pomocí 3 kroků [7, 12, 19]:

- 1. definice bodů v prostoru

V závislosti na měřeném obrobku, požadované přesnosti, produktivitě měření a dalších parametrech se sestaví plán průběhu měření, stanoví se měřicí prostředky i samotný způsob měření. Je zde mimo jiné zahrnuta i výkresová dokumentace, přípravky pro upnutí na stole stroje aj.

- 2. měření polohy bodů v prostoru

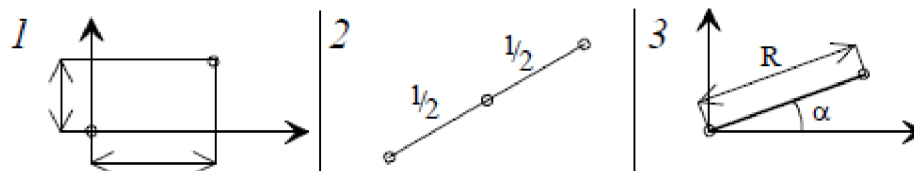
V druhé fázi je měřená součást uložena a nastavena na pracovní desce stroje. Následně může proběhnout daný měřicí proces, při kterém dochází k ukládání souřadnic polohy bodů v prostoru (pro dané body se zaznamenávají souřadnice X, Y, Z).

- 3. propojení bodů v prostoru

V poslední fázi dojde k vyhodnocení změřených hodnot a k propojení vlastností elementů pro další využití.

Jednotlivé měřené body kontrolované součásti se snímají měřicí hlavou a z jejich souřadnic pak PC s využitím vhodného softwaru vyhodnotí zvolené charakteristiky, mezi které patří například: vzdálenosti bodů, středy, rozteče a průměry děr, průsečíky os, středy oblouků, rovinnost, přímost, kolmost, rovnoběžnost aj. [8]. Příklad prvků, které tak lze kontrolovat, je uveden na obr. 2.

Souřadnicový měřicí stroj může být vybaven rozsáhlým softwarem, jehož základem je univerzální měřicí a vyhodnocovací program, často doplněný o možnost statistického zpracování výsledků měření. Měření a vyhodnocování se provádí na základě tohoto programu automaticky. Systém pak umožňuje například automatické porovnání měřených hodnot s předvolenými výrobními tolerancemi a mezními úchytkami, včetně tisku měřených hodnot a vyznačení hodnot ležících mimo toleranci [8].



Obr. 2 Příklad některých prvků, které lze kontrolovat na SMS: 1 - souřadnice bodu v rovině nebo v prostoru, 2 - střed úsečky v rovině, 3 - polární souřadnice bodu [13].

1.2.1.2 Konstrukce SMS

Typický souřadnicový měřicí stroj se skládá ze 3 hlavních částí [8]:

- vlastní měřicí stroj – Skládá se ze základního tělesa stroje, měřicího stolu, posuvného zařízení, měřicích hlav a snímacích systémů.
- PC včetně softwaru – Řízení měřicích procesů a zpracování výsledků měření.
- periferní zařízení – Vstup a výstup dat.

K hlavním mechanickým prvkům SMS patří [7, 12, 13, 19]:

- stůl

Slouží k vedení portálu a zároveň se na něj umísťují měřené součásti (přímo nebo prostřednictvím upínacího přípravku). Nejčastěji používaným materiálem je žula neboli granit. Při výrobě jsou kladeny požadavky na rovinnost funkčních ploch. Materiál stolu musí splňovat celou řadu požadavků, mezi které se řadí například vysoká životnost a trvanlivost, odolnost proti korozi, minimální teplotní roztažnost, jednoduchost případných oprav aj.

- rám

Často se jedná o svařenec, který musí splňovat vysoké nároky na tuhost i při dynamickém zatížení. U velkých SMS rám někdy odpadá a je nahrazen vlastní základovou deskou, která se instaluje do podlahy.

- sloupy, mostní konstrukce, portály

Tyto části bývají většinou v provedení svařence. Jsou kladeny požadavky na vysokou tuhost, rozměrovou a tvarovou stálost. Portál SMS nese pinolu a na jejím konci je umístěna měřicí hlava.

- pinola

Pinola může být jak vertikálního, tak i horizontálního provedení. Průřez je kruhový, či čtvercový. Nejpoužívanějšími materiály jsou oceli, litiny, dural a přírodní kámen. V případě horizontální pinoly je nutné dbát na správné dimenzování, vzhledem k možnému průhybu při vyložení od vlastní hmotnosti a hmotnosti snímací hlavy. Pro kompenzaci případných průhybů se využívá vyvažovací zařízení.

Dalším důležitým prvkem SMS je uložení jeho pohyblivých částí. Pro realizaci pohybů v jednotlivých osách jsou kladeny následující požadavky: přímost, vzájemná kolmost, minimální vůle a minimální pasivní odpory [12].

Vzájemné pohyby jednotlivých částí SMS se většinou realizují za pomoci vedení. Vedení je jednou z hlavních částí, jež rovněž velkým dílem ovlivňuje přesnost měření. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na jejich výrobu a konstrukci [7, 19].

Jsou využívány 3 základní typy vedení [7, 12, 13, 19]:

- kluzná vedení

Mezi charakteristiky tohoto způsobu vzájemného pohybu jednotlivých částí SMS patří vysoký odpor, a tedy nutnost neustálého mazání, vysoká tuhost a zvyšující se jakost vedení v průběhu používání, což vede ke zvýšení přesnosti. V dnešní době již ztrácejí v této oblasti uplatnění. Je to z důvodu špatného odvodu tepla a z důvodu složité výroby.

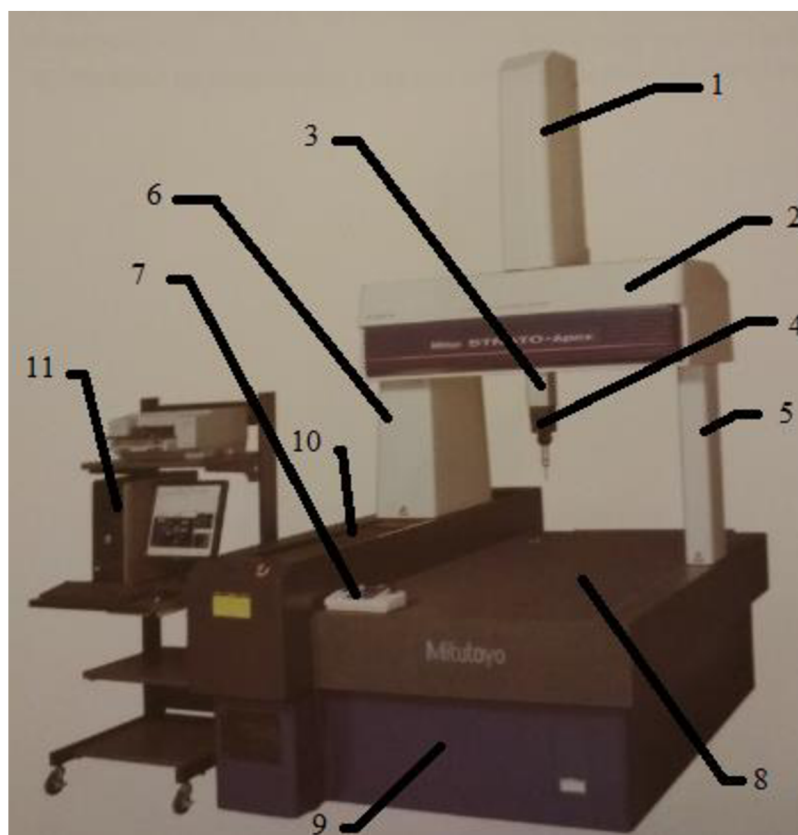
- valivá vedení

Oproti předcházejícímu typu vedení se valivá vyznačují nízkým valivým odporem, vysokou tuhostí, vysokou odolností proti opotřebení a jsou vhodná i pro větší zatížení. Využívá se mazání, jež zvyšuje odolnost proti korozi a současně nemá vliv na přesnost daného měření. Vzhledem k náročnosti výroby patří mezi nevýhody poměrně vysoká cena. Vyrábí se v kuličkové a válečkové variantě.

- aerostatická vedení

Pohyb jednotlivých částí probíhá po vzduchovém polštáři o tloušťce zpravidla několik jednotek mikrometrů. Jsou charakteristická nízkým třením i při vyšších rychlostech, rovnoměrným pohybem a vysokou tuhostí. Mezi nevýhodou lze zařadit vysoké nároky na čistotu vzduchu.

Výše zmíněné části konstrukce SMS jsou znázorněny na obr. 3.



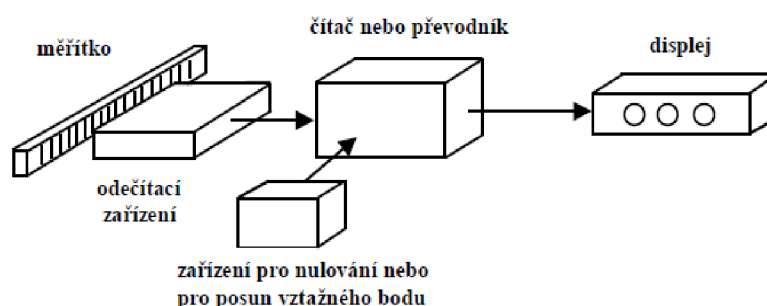
Legenda:

- 1 – kryt pinoly
- 2 – portál
- 3 – pinola
- 4 – snímací hlava
- 5,6 – podpěry (sloupy)
- 7 – ovládací panel
- 8 – měřicí stůl
- 9 – kryt
- 10 – vodící dráha
- 11 - PC a tiskárna

Obr. 3 Základní části SMS CRYSTA-Apex S9106 Mitutoyo [14].

Rozsah měření na SMS je určen hodnotami jednotlivých souřadnic X, Y, Z. Jde o část prostoru, kterou při měření pokryje měřicí hlavička. Rozměry obrobku, které je stroj schopný měřit, jsou ale většinou menší. Měřicí rozsah se zužuje rovněž cejchováním snímací hlavičky a dotyků [13].

Další prvek SMS, který významným dílem ovlivňuje přesnost měření, je odměřovací systém. Většinou má funkci dálkového přenosu odměřených hodnot na ovládací panel nebo displej, kde je možno pohodlně odečíst všechny zde soustředěné souřadnice [12, 13]. Obecné schéma tohoto prvku je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4 Základní schéma odměřovacího systému [12].

1.2.1.3 Příslušenství SMS

Kromě základního vybavení se SMS většinou na základě požadavků zákazníka dodávají s celou řadou dalšího příslušenství. Toto příslušenství se dá rozdělit do 3 skupin [13]:

- měřicí (snímací) hlavy s různými typy dotyků,
- zařízení pro upnutí obrobku,
- měřicí software, PC, tiskárna joystick, zařízení pro grafický výstup aj.

Snímací hlavy

Používají se dva základní typy snímacích hlav [8]:

- dotykové – Jsou v přímém styku s měřeným objektem.
- bezdotykové – Nedochází k přímému kontaktu s měřeným objektem.

V případě dotykových se hlava dotýká měřeného objektu prostřednictvím vybraného měřicího dotyku ukončeného nejčastěji kuličkou vyráběnou z různých materiálů. Snímací dotyková síla bývá menší než 0,01 N [8].

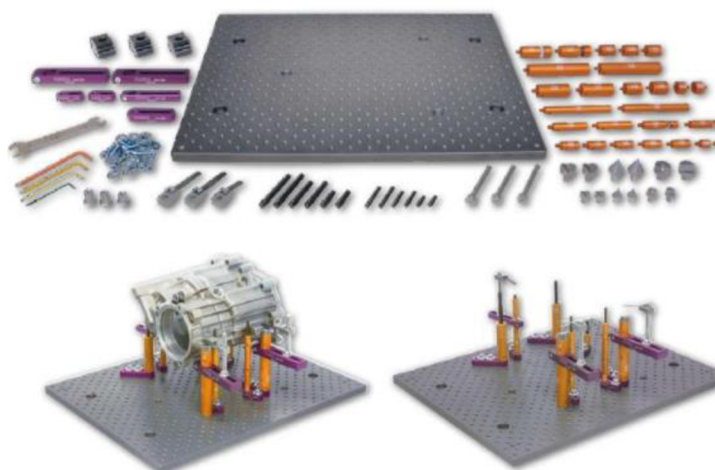
Princip dotykového měření je ve snímání jednotlivých bodů na povrchu součásti. Součást je vyrovnána a postupně rozložena na soubor základních geometrických prvků, přičemž každý tento útvar má určitý počet bodů, kterými je definován v prostoru. Následně je nasnímanými body proložen ideální tvar prvku. Z rozdílu poloh ideálního bodu a odpovídajícího skutečného bodu lze určit úchylku tvaru prvku. Pro rozšíření možností využití dotykového měření se využívají CAD modely. Tyto modely jsou vhodné pro měření tvarově složitých součástí jako jsou odlitky a vylisky [8, 12].

Nejrozšířenější jsou elektrokontaktní snímací systémy, které se dělí na systémy spínacího typu a systémy měřicího typu. Běžnější jsou systémy spínacího typu, u kterých hlava funguje tak, že v okamžiku dotyku vyšle signál k zastavení pohybu, následně dojde k odečtení souřadnic a současně se ozve zvukový signál [8, 12].

Zařízení pro upnutí obrobku

Jedním z dalších faktorů, jež se důležitým podílem podepisuje na přesnosti měření na SMS, je správné upnutí obrobku. Využívá se celá řada zařízení, upínacích prvků a nářadí. Jedním ze starších zařízení pro tyto účely je mikrořeřizovací zařízení. Tento typ zařízení značně usnadňuje vyrovnávání svislých rovin součástí s osami stroje. Při využití PC není však dané zařízení nutné. Jako referenční bod ke zvolenému počátku se využívá kalibrovací (kalibrační) kostka nebo koule [7, 13, 19, 20].

Upínací prvky se v závislosti na výrobcí dodávají v sadách, jejichž součástí jsou různé fixační a spojovací prvky, upínací deska, profilové upínací tyče aj. Někdy se tyto sady mohou označovat jako upínací stavebnice. Příklad této sady je na obr. 5.



Obr. 5 Upínací sada Mitutoyo [21].

Programové vybavení, PC

Dalším důležitým prvkem SMS je PC. Jak už bylo zmíněno, zavedení SMS přineslo do technické kontroly výroby výrazné zlepšení, zvláště při spojení SMS a PC s patřičným softwarovým vybavením. Na rozdíl od NC strojů nejsou používány žádné univerzální systémy programování. Každý výrobce SMS používá a vyvíjí vlastní systém. V posledních letech je však vidět tendence vedoucí ke zjednodušování programování, tak aby nebyly velké nároky na znalosti obsluhy SMS. Současně se rozšiřují možnosti měření. Příslušné programové vybavení se volí na základě typu měřičské úlohy a měřičské operace, jež má SMS vykonávat, a na základě toho, zda má mít uživatel možnost stávající programové vybavení upravovat a doplňovat [7, 8, 13, 19].

Obecně lze programové vybavení SMS dělit na [13]:

- aplikační programy,
- programy pro styk člověka s počítačem,
- operační systém včetně překladače z programovacího jazyka, obslužných a diagnostických programů.

1.2.1.4 Koncepce souřadnicových měřicích strojů

Existuje celá řada druhů SMS, jež jsou děleny na základě různých hledisek. Jedno z nejdůležitějších představuje maximální přístupnost do pracovního prostoru. U všech dále zmíněných typů SMS platí, že jejich souřadné osy jsou navzájem kolmé.

V dnešní době se tedy používají především tato konstrukční řešení SMS [1, 7, 12, 13, 19]:

- portálová konstrukce (obr. 6 a obr. 7)

Tento typ konstrukce se používá převážně pro střední a velké rozsahy měření. Vyznačuje se dobrou tuhostí, což zajišťuje relativně vysokou přesnost. Dostupnost k měřenému objektu je omezena konstrukcí. Vyrábí se ve dvou variantách: s pevným portálem (nutný pohyblivý stůl) a s pohyblivým portálem.

- mostová konstrukce (obr. 8 a obr. 9)

Používá se pro největší rozsahy měření (v ose X i v řádech desítek metrů). Tuhost konstrukce je zaručena mohutně dimenzovanými nosníky a sloupy. Zajišťuje dobrou přístupnost k měřenému objektu. Využití tento typ strojů najde hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu při měření strojírenských výrobků jako jsou bloky motorů, karoserie automobilů, skříně převodovek aj. Konstrukce navíc umožňuje měření součástí na pěti stranách měřeného objektu během jednoho upnutí.

- výložníková konstrukce (obr. 10 a obr. 11)

Výložníková konstrukce se vyznačuje dobrou přístupností k měřenému objektu, ale oproti předcházejícím konstrukcím zpravidla má menší kapacitu měřicího prostoru. Je vhodná hlavně pro měření dlouhých součástí. Uplatnění najde v těžkém strojírenství a automobilovém průmyslu.

- sloupová (stojanová) konstrukce (obr. 12)

Vyznačuje se relativně malými rozsahy měření. Obvykle jde o laboratorní SMS, u nichž lze při dobré přístupnosti k měřenému objektu a v důsledku tuhé konstrukce dosáhnout největší přesnosti. Využívá se především pro přesné měření v nástrojářství a v jemné mechanice.

- pinolová konstrukce (obr. 13)

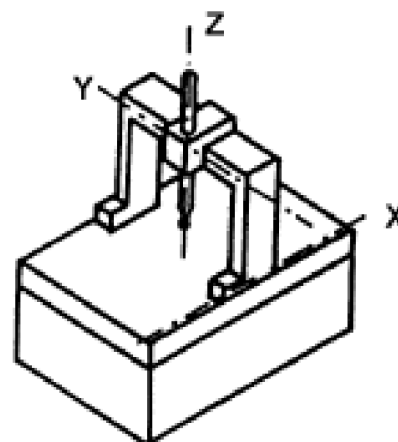
Někdy se také řadí mezi konstrukce vodorovných vyvrtávaček. Využívá se především pro kontrolu součástí s průchozími dírami, kde jsou osy děr umístěny vodorovně.

- speciální konstrukce

Konstrukce SMS, jež je přizpůsobena pro měřenou součást. Zajišťuje měření s vysokou produktivitou. Případně se může jednat o zařízení speciálně upravená pro daný provoz. Příkladem mohou být vysokorychlostní SMS přímo zabudované do výrobní linky, určené pro intenzivní použití v nepříznivém pracovním prostředí.



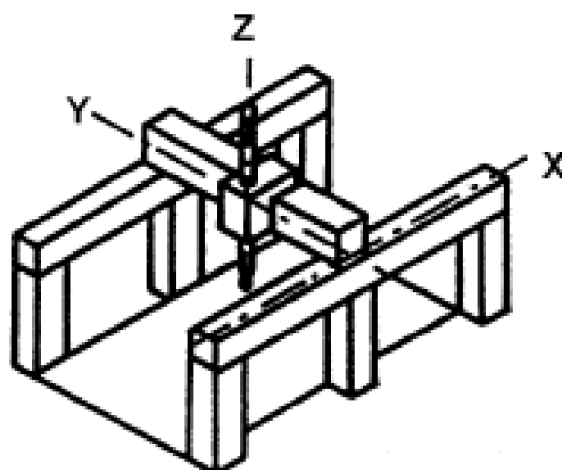
Obr. 6 Portálový SMS LK V-GP [22].



Obr. 7 Schéma portálového SMS [12].



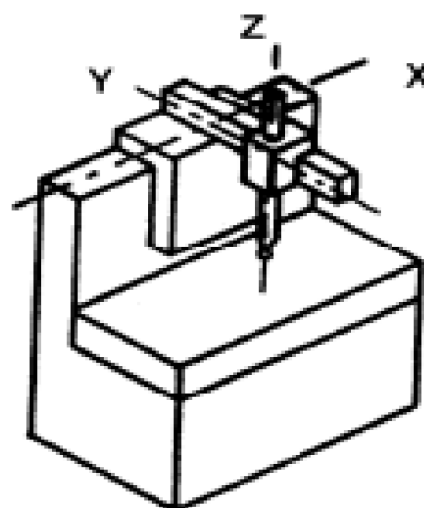
Obr. 8 Mostový SMS ALTERA SL [23].



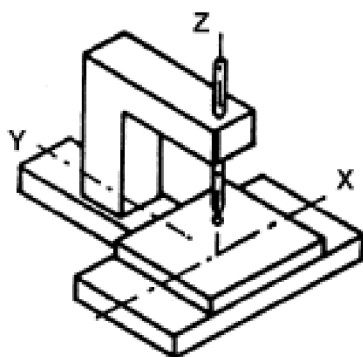
Obr. 9 Schéma mostového SMS [12].



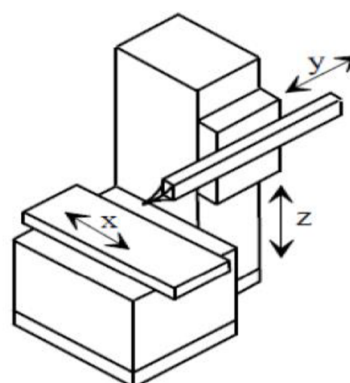
Obr. 10 Výložníkový SMS DuraMax [24].



Obr. 11 Schéma výložníkového SMS [12].



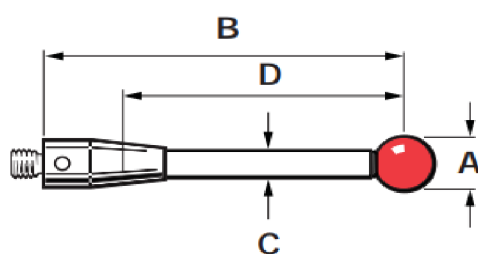
Obr. 12 Schéma sloupového SMS [12].



Obr. 13 Schéma pinového SMS [13].

1.2.1.5 Měřicí dotyky

Dotyk je součástí měřicího systému, jež zprostředkovává kontakt se součásti a zajišťuje prvotní přenos informace. Signál, který je při kontaktu generován, umožňuje zaznamenávání souřadnic měřeného bodu. Terminologie dotyku je znázorněna na obr. 14. Dotyky jsou dodávány v celé řadě variant lišících se například materiálem, tvarem a velikostí. Volba dotyku na základě jeho parametrů je velmi důležitá, protože značným dílem ovlivňuje samotnou přesnost měření. Typ a rozměr použitého dotyku závisí na snímaném prvku. Mezi nejdůležitější požadavky však patří maximální tuhost dotyku a dokonalá kulovitost hrotu. Další důležitou vlastností je elastická deformace dřívku, ke které dochází při kontaktu s měřeným povrchem. U kinematických sond dojde k pohybu mechanismu až po jejím překonání [7, 19, 25].



Legenda:

- A – průměr kuličky
- B – celková délka
- C – průměr dřívku
- D – efektivní činná délka

Obr. 14 Terminologie dotyku [25].

Volba vhodného dotyku

Při rozhodování o volbě nejvhodnějšího dotyku je nutno brát v úvahu několik důležitých faktorů. Úspěšnost měření z velké části závisí na schopnosti dotyku sondy dosáhnout k měřenému prvku a na přesnosti zaznamenání bodu kontaktu. Při výběru dotyku je doporučeno dbát následujících doporučení [25, 26, 27]:

- Pokud možno volit co nejkratší dotyky.

Obecně čím kratší a tužší dotyk je, tím lze dosáhnout vyšší přesnosti.

- Kulička by měla být co největší vzhledem k danému měření.

S rostoucí velikostí kuličky se maximalizuje vůle stopky a minimalizuje vliv kvality povrchu součásti. Čím větší je mezera mezi kuličkou a dřívkem dotyku, tím menší je možnost chybných sepnutí způsobených kolizí dřívku s dílcem.

- Používat co nejméně spojů.

Spoje vytvářejí potenciální body ohybu a vychýlení, které nepříznivě ovlivňují přesnost.

- Při měření vnitřních prvků je výhodné používat hvězdicové dotyky.

Ty umožňují použití až 5 hrotů v bloku. Lze je využít například při měření drážek pojistných kroužků ve vývrtech.

Mimo tyto základní doporučení by se měly vzít k úvahu následující čtyři důležité aspekty výběru dotyku, které ovlivňují celkovou přesnost souřadnicového měřicího stroje [25, 26, 27]:

- tvárová úchylka kuličky dotyku

Většina měřicích dotyků je zakončena kuličkou. Kulička je nejčastěji vyrobena ze syntetického rubínu. Každá tvarová úchylka kuličky ovlivní nejistotu měření souřadnicového měřicího stroje, a tak lze snadno ztratit až 10 % přesnosti. Tyto kuličky se vyrábí s určitou mírou přesnosti definovanou stupněm přesnosti, který se vztahuje k maximální odchylce povrchu kuličky od ideální koule. Může být problém v tom, že stupeň přesnosti kuličky nelze zjistit vizuálně a není zřejmý ani z výsledků měření. Je tedy obtížné vypočítat, jak výsledky měření ovlivňuje.

- tuhost dotyku

Při použití spínacích dotykových sond se s délkou dotyku zvyšuje nepřesnost měření. Příčinou chyby je proměnlivá spínací síla sondy, která má v různých směrech různou velikost. Tato síla elasticky deformuje dotyk. Deformace způsobuje malý pohyb sondy směrem k měřenému dílci. Tuhost dotyku je rovněž ovlivněna spoji v sestavách dotyků. Obecně platí, že počet prvků, tedy i spojů v sestavě dotyků, by měl být omezen na minimum. Spoje způsobují hysterezi a snižují tuhost celé sestavy.

- teplotní stabilita

Kolísající teplota může způsobit závažné chyby měření. Výběrem vhodného materiálu lze dosáhnout větší stability v proměnlivých teplotních podmínkách a získat tak konzistentnější výsledky měření. Teplotní roztažnost je přímo úměrná délce. Z toho důvodu jsou zejména pro delší dotyky vhodnější materiály s nízkým koeficientem teplotní roztažnosti.

- materiál kuličky dotyku

Volba vhodného materiálu dotyku je důležitým parametrem, který ovlivňuje opotřebení. V případě spínacího dotykového měření je kulička dotyku v kontaktu s měřeným povrchem pouze na krátkou dobu a nedochází k žádnému relativnímu pohybu. Naproti tomu skenování se liší v tom, že kulička klouže po povrchu obrobku. To vede k opotřebení otěrem. Tento prodloužený kontakt může v některých případech způsobit obrušování kuličky nebo naopak nanášení materiálu dílce na povrch kuličky, což ovlivňuje její geometrii.

Typy dotyků

V dnešní době je k dostání celá řada typů dotyků. Volí na základě charakteru a tvaru měřeného objektu. Mezi základní druhy se řadí zejména [7, 19, 25, 28, 29]:

- přímé dotyky (obr. 15)

V dnešní době nejjednodušší a nejčastěji používaný typ dotyku. Je vhodný pro většinu snímacích aplikací. Jak držáky a dříky, tak i kuličky mohou být vyrobeny z různých materiálů. U tohoto typu dotyku je materiálem kuličky většinou průmyslový rubín vyznačující se mimo jiné dobrou odolností proti opotřebení.

- diskové dotyky (obr. 16)

Diskové dotyky se používají ke snímání zápichů a drážek v dírách, kde nelze použít hvězdicový dotyk. Ve skutečnosti se jedná o tenký pás velké a velmi přesné koule. Vyžadují přesné úhlové nastavení, aby byl zajištěn správný kontakt povrchu disku se

snímaným prvkem. Diskové dotyky se dodávají v různých průměrech a tloušťkách a mohou být vyrobeny z oceli, keramiky a z rubínu.

- hvězdicové dotyky (obr. 17)

Jde o konfiguraci s více dotyky uchycenými na jednom pevném středovém dílci. Využívají se pro různé typy měření včetně složitých povrchů a děr, s nimiž lze dosáhnout přímého kontaktu. Umožňují měření několika prvků dílce bez nutnosti výměny dotyku. Lze využít až 5 prvků na středovém dílci. Jejich použití zkracuje dobu měření a zkracuje dráhu pohybu sondy ke krajním bodům při měření dutin.

- válcové dotyky (obr. 18)

Používají se například pro měření děr v plechu, lisovaných dílců a tenkých obrobků, u kterých nelze zaručit řádný kontakt s kuličkou dotyku. Rovněž je lze využít pro měření závitů a lokalizaci středů závitových děr. Při ukončení válcové části kuličkou je možné provádět úplnou kalibraci a snímání povrchů v osách X, Y a Z.

- dotyky s hrotem (obr. 19)

Typ dotyků vyvinut k měření tvaru závitů, definovaných bodů a rysek. Použití dotyků se zaobleným hrotem zpřesňuje stanovení vztažného bodu a snímání prvků. Dalším možným využitím je lokalizace velmi malých děr.

- dotyky pro nástrojové sondy

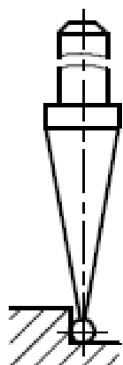
Tyto produkty mají obvykle čtyřhranné zakončení a se sondou jsou spojeny závitěm, případně pojistným šroubem. Tolerance přesnosti seřízení nástrojů je závislá na rovinnosti a rovnoběžnosti čela dotyku vůči ose stroje. Všechny nástrojové sondy jsou vybaveny mechanismem pro jemné seřízení dotyku. Díky tomu lze dosáhnout požadované přesnosti.

- půlkulové keramické dotyky

Půlkulové keramické dotyky jsou vhodným řešením při snímání hlubokých děr v osách X, Y a Z. Jejich předností je velký průměr polokoule, při zachování nízké hmotnosti, který navíc snižuje vliv drsnosti povrchu na přesnost snímání. Z tohoto důvodu se hodí i pro měření součástí vykazujících vysokou hodnotu drsnosti povrchu.

- speciální příslušenství

Kromě volby správného dotyku je možno vybírat z celé řady dalšího příslušenství, které může při měření pomoci. Jsou to například kloubové adaptéry, prodlužovací nástavce, závitové adaptéry dotyků aj.



Obr. 15 Přímý dotyk [13].



Obr. 16 Diskový dotyk [28].



Obr. 17 Hvězdicový dotyk [28].



Obr. 18 Válcový dotyk [30].



Obr. 19 Dotyk s hrotem [28].

Materiály měřicích dotyků

Dotyky jsou k dostání v širokém spektru materiálů, z nichž každý vyhovuje různým požadavkům na měření. Klíčový je správný výběr materiálu dřívku a kuličky dotyku.

- materiály dřívku [25, 31]:

- ocel

Často se využívá nemagnetická korozivzdorná ocel. Důležitý je rozměr kuličky, případně hrotu, z důvodu zajištění optimálního poměru tuhosti a hmotnosti a také adekvátního průřezu, aniž by byla snížena tuhost.

- keramika

Při vhodných rozměrech kuličky zajišťuje tuhost porovnatelnou s ocelí. Oproti karbidu wolframu je výrazně lehčí. Zajišťuje také dodatečnou ochranu sondy proti havárii, neboť dotyk se v případě kolize roztrhne.

- karbid wolframu

Při využití karbidu wolframu je zajištěna optimální kombinace maximální tuhosti a minimálního průměru dráčky. Tyto parametry se vztahují na průměr kuličky pod 1 mm a na délky dráčky do 50 mm. Problematická je vyšší hmotnost dotyku a tím i problém nižší tuhosti u dotyků větší délky.

- uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna zajišťují až o 20 % nižší hmotnost oproti stopce z karbidu wolframu, díky čemuž jsou vhodná pro dlouhé dotyky. Výhodou je také vysoká tepelná stabilita a dobré tlumení vibrací.

- hliník a titan

Hliník představuje velmi lehký materiál, který je ideální pro výrobu prodloužení. Vzhledem k vysoké tepelné roztažnosti je vhodný pouze pro stabilní klimatizované prostředí. Titan je v porovnání s hliníkem tepelně stálý a má dobrou ohybovou tuhost, přičemž je také velmi lehký. Díky těmto charakteristikám je vhodný pro dlouhá prodloužení.

- materiály kuličky

Používají se 3 základní materiály pro výrobu kuliček, jejichž základní charakteristiky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Základní charakteristiky materiálů pro výrobu kuliček dotyků [25, 31].

Materiál kuličky	Využití	Charakteristické vlastnosti	Charakteristická barva
rubín	převážná většina měřicích aplikací, kromě skenování dílců z hliníku a litiny	vysoká tvrdost, vynikající pevnost v tlaku a vysoká odolnost proti mechanickému poškození, hladký povrch	
nitrid křemíku	pro hliníkové povrchy	vysoká tvrdost, nízká odolnost proti opotřebení otěrem při kontaktu s ocelovými povrchy, hladký povrch leštěním	
zirkonium	pro agresivní aplikace u litinových součástí	vysoká pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení	

1.2.2 Měření na CNC obráběcích strojích

V současné době je technologie měřících sond ověřeným postupem pro zvyšování produktivity, kvality, schopnosti a přesnosti obráběcích strojů. Moderní CNC řídicí systémy jsou připraveny na připojení měřících sond. Díky této možnosti se tak značně zjednodušuje integrace měření a měřících cyklů do procesu obrábění a kontroly nástrojů. Ve spolupráci s CAD systémy je možné měření také simulovat na obrazovce PC. Měřící sondy jsou určeny pro obráběcí stroje všech velikostí a konfigurací, včetně: CNC obráběcích center (vertikální, horizontální i portálová), CNC soustruhů, multifunkčních obráběcích center, CNC brusek, strojů na vrtání a frézování plošných spojů a v některých případech i pro měření na manuálních strojích [33, 34, 35].

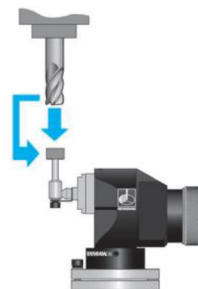
Využití sond při měření v technologickém cyklu na CNC strojích zajišťuje celou řadu výhod [34]:

- zkrácení časů seřízení nástrojů a ustavení obrobku,
- snížení počtu neshodných dílů způsobených chybami seřízení,
- snížení provozních nákladů na obsluhu stroje,
- zpřesnění procesu kontroly,
- detekce poškozených nástrojů,
- zvýšení bezpečnosti práce aj.

Rozlišují se sondy pro měření obrobku (obr. 20) a sondy nástrojové, které mohou být kontaktní (obr. 21) a bezkontaktní.



Obr. 20 Obrobková sonda [32].



Obr. 21 Schéma kontaktní nástrojové sondy [33].

Využití nástrojových sond k automatizovanému ustavování nástrojů s sebou nese řadu předností [33]:

- úspora času a snížení prostojů stroje,
- přesné měření délky a průměru nástroje,
- automatický výpočet velikosti opotřebení a korekce rozměrů,
- detekce zlomení nástroje v průběhu obráběcího cyklu,
- snížení počtu neshodných dílů aj.

Nevýhodou mohou být vysoké náklady spojené s pořízením a provozem daného zařízení.

Měřicí sondy zpravidla představují investici v řádu jednotek procent ceny stroje. Krom toho se předpokládá, že se tato investice za poměrně krátkou dobu vrátí. Vložené prostředky do měřicích sond se vracejí hlavně díky vyššímu využití CNC obráběcího stroje. Snižují se prostoje při seřizování v řádu desítek procent, seřízení je přesnější, opakovatelné a nezávislé na lidském faktoru. Využití měřicích sond pro kontrolu průběhu procesu obrábění napomáhá rovněž k zavedení vícestrojové obsluhy [33, 34, 35].

1.2.2.1 Princip funkce měřicích sond

Sondy používané na CNC strojích jsou často označovány jako spínací dotykové sondy. Mechanismus sondy spíná při kontaktu sondy s měřeným dílcem. Spínání je vysoce opakovatelné. Při sepnutí sonda vyšle signál řídicímu systému stroje, který zaznamená polohu v jednotlivých osách [33].

Po sejmutí bodu z povrchu měřeného dílce se sonda přesune k dalšímu bodu. Z těchto nasnímaných bodů lze vyhodnotit tvar a velikost měřeného prvku. Minimální počet bodů potřebných k měření zvoleného prvku je určen počtem jeho stupňů volnosti. Měření se provádí porovnáním měřeného prvku s jeho teoretickým ekvivalentem, například kruhem, přímkou aj. Porovnáním skutečného a předpokládaného rozměru se zjistí velikost odchylky. To umožňuje provedení přesné kontroly dílce [33].

Detailněji lze princip funkce sond popsat a rozlišit na základě snímací technologie a na základě způsobu přenosu měřicího signálu ze sond [33].

Způsoby přenosu měřicího signálu ze sond

V současné době se pro komunikaci s CNC řídicím systémem využívají 3 základní způsoby přenosu měřicího signálu ze sond. Jedná se o optické, jež využívají ke komunikaci mezi sondou a řídicím systémem infračervenou technologii, rádiové a kabelové systémy. Daly by se zmínit ještě induktivní systémy, ty se ale už v současné době prakticky nevyžívají [33].

Základní snímací technologie

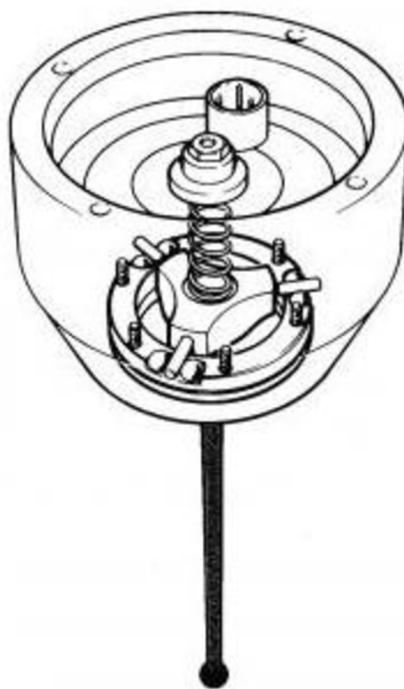
- princip kinematických sond [33, 36, 37, 38]:

Mechanismus kinematických sond (obr. 22) je založen na kinematickém uložení trojice přesných ocelových válečků ve třech dvojicích ocelových kuliček. Styk válečků s kuličkami je zabezpečen pomocí centrální tlačné pružiny. Tento princip poskytuje celkem 6 stykových bodů, které zabezpečují správnou polohu kuličky dotyku a vynikající opakovatelnost spínání (rozpínání) sondy. Mechanismus umožňuje vychýlení dotyku sondy při kontaktu s měřeným dílcem, pružina vrací mechanismus do výchozí klidové polohy poté, co přestane působit příčina vychýlení. Sonda se vrací zpět s tolerancí 1 μm .

Materiál používaný pro výrobu kontaktních elementů je karbid wolframu. Vlastnosti tohoto materiálu minimalizují elastickou deformaci kontaktních elementů při působení měřicích sil.

Kontakty jsou navzájem elektricky propojeny. Změna odporu tohoto elektrického obvodu je následně vyhodnocena jako kolize dotyku s měřeným dílcem a z odměřovacího systému stroje jsou odečteny a zaznamenány souřadnice v jednotlivých osách.

Existuje celá řada faktorů, které mohou ovlivnit přesnost měření kinematických sond. Součet těchto faktorů se někdy označuje jako tzv. Pre-travel variation. Jde o chybu měření vzniklou zpožděním mezi okamžikem kolize kuličky dotyku sondy s obrobkem a okamžikem, kdy jsou zaznamenány souřadnice z odměřovacích pravítek. Toto zpoždění je ovlivněno například tuhostí dotyku, tuhostí tlačné pružiny, délkou dotyku, tvarem měřeného dílce apod. Chybu lze eliminovat pomocí pravidelné kalibrace sondy.

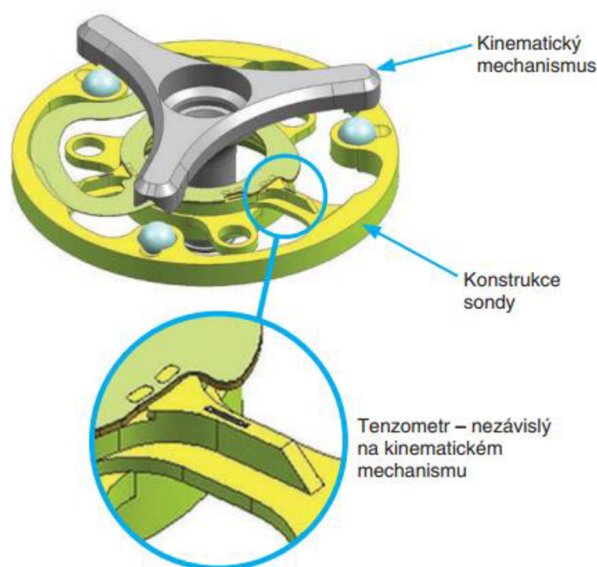


Obr. 22 Schéma kinematické sondy [36].

- princip tenzometrických sond [36, 37, 38, 39]:

Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na přesnost výroby, zejména tvarových ploch, přicházejí nové požadavky na snímací mechanismy dotkových sond. Společnost Renishaw plc. vyvinula v 90. letech minulého století novou spínací sondu vybavenou technologií Strain gauge založenou na principu tenzometrů (obr. 23).

Sondy vybavené technologií Strain gauge stále využívají kinematického mechanismu pro zabezpečení polohy dotyku, avšak pro detekci kolize dotyku s obrobkem se využívají tenzometrické křemíkové můstky. Tyto můstky detekují i velmi malé mechanické síly vznikající ve spínacím mechanismu sondy a elektronicky generují spínací signál. Spínací síla tenzometrické sondy je mnohokrát nižší než u běžné. Tyto sondy navíc zajišťují delší životnost.



Obr. 23 Princip tenzometrické sondy [39].

Tenzometry jsou upevněny na speciálně navržených žebrech v konstrukci sondy. Jsou odděleny od kinematického mechanismu a uspořádány tak, aby snímaly všechny síly působící na dotyk z kteréhokoliv směru.

Vzhledem k ceně, která příliš nepřekračuje cenu běžných sond, převládají četné přínosy, například zkrácená doba návratnosti. Kromě toho sondy Rengage mohou být použity k provedení úkonů, které není možné provést běžnou sondou.

1.2.3 Zařízení pro bezdotykové měření

1.2.3.1 Nástrojové bezkontaktní sondy

Pro ustavení nástrojů mohou být využity bezkontaktní systémy (obr. 24), které využívají optický (laserový) paprsek k detekci přítomnosti nástroje. Tyto systémy mohou být rozděleny na pevné, kdy vysílač a přijímač jsou umístěny v jedné sestavě, a oddělené se samostatnými sestavami vysílače a přijímače. Bezkontaktní systémy rovněž mohou kontrolovat zlomení nástroje nebo přítomnost třísek na jeho břitě [29, 34].

V porovnání s kontaktními systémy je zde řada výhod i nevýhod. Mezi základní výhody patří například: zabránění možnosti vzniku deformace u velmi malých nástrojů, měření i při vysokých otáčkách vřetene, detekce i odštípnuté nebo vylomené břitové destičky během kontroly břitů, možnost měření v několika místech pracovního prostoru, kratší cyklus měření aj. Hlavní nevýhodou představuje vyšší cena oproti kontaktním systémům, složitější instalace a častější vznik problémů vlivem nepříznivého prostředí a vlivem nečistot [29, 34, 40].

Principem funkce je průchod nástroje laserovým paprskem, přičemž dojde k přerušení tohoto paprsku. V okamžiku přerušení jsou zaznamenány hodnoty na odměřovacích pravítkách stroje a z těchto údajů je vypočten aktuální rozměr nástroje [40].



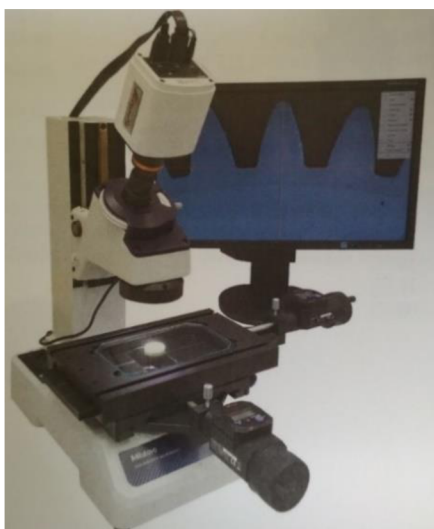
Obr. 24 Nástrojová bezkontaktní sonda společnosti Renishaw plc. [40].

1.2.3.2 Měřicí mikroskopy

V současné době lze měřicí mikroskopy používat jak v laboratořích, tak i v dílenském prostředí. Jedná se o zařízení pro měření délkových i úhlových rozměrů, a to vnějších i vnitřních. Nevýhodou někdy může být úzké zorné pole [14, 41].

Konkrétní přednosti využití daného mikroskopu jsou více či méně rozdílné u každého vyráběného typu a jsou rovněž závislé na výběru volitelného příslušenství. Příklad takového moderního mikroskopu, který nabízí až 30násobné zvětšení měřeného objektu je na obr. 25 [14].

Mezi nabízené příslušenství se řadí například digitální HDMI kamera pro digitalizaci mikroskopu, čímž se značně zjednoduší měření, výpočetní a reportovací software a různé druhy osvětlení pro zajištění optimálních světelných podmínek [14].



Obr. 25 Měřicí mikroskop TM-1005B [14].

1.2.3.3 Zařízení pro laserové skenování součástí

Praktické využití si zařízení pro laserové skenování obrobků najde při komplexním porovnávání dílu s jeho CAD modelem – kontrola kvality výroby, při měření součástí, u nichž je nevhodný dotyk se sondou a pro získání CAD modelu z hotové součásti neznámého tvaru – reverzní inženýrství. Nepřehlédnutelnou výhodou laserového skenování je rychlost skenování, která dosahuje až několika desítek tisíc bodů za sekundu. Naproti tomu nevýhodou je problematické měření lesklých povrchů [13, 42].

Skenováním se rozumí snímání bodů, případně křivek z povrchu tělesa. Výsledným produktem skenování je datový soubor v grafickém formátu, jež udává veškeré informace o tvaru tělesa. Pro přenos mezi různými nekompatibilními systémy se používají standardní grafické formáty jako např. IGES, VDA, DXF [13, 42].

Samotné zařízení může mít v závislosti na využití a funkcích mnoho podob. Příkladem jsou laserové hlavy (sondy) pro SMS stroje (obr. 26), hlavy pro ruční skenování, optické 3D skenery white light, laserové 3D skenery aj. [42].



Obr. 26 Laserová sonda od společnosti Nikon Metrology NV osazená na SMS [43].

2 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÉ SOUČÁSTI

2.1 Funkce zvolené součásti

Jako vzorová součást pro tuto diplomovou práci byla zvolena ozubená hřídel. Její podoba je znázorněna na obr. 27.



Obr. 27 Zvolená součást.

Jedná se o součást z ruční elektrické podbíječky EP 2 (obr. 28). Tato zařízení jsou používána ke zhutňování šterku pod pražci nebo jako elektrické kladivo, za účelem lokálních směrových a výškových úprav geometrické polohy koleje. Jejich základní rozdělení je na ruční podbíječky vibrační a úderové. Typ EP 2 představuje elektrickou úderovou podbíječku. Jejím výrobcem byla společnost VKV Praha s.r.o. Společnost má hlavní sídlo v Praze a mezi její hlavní zaměření se řadí: konstrukce a výpočty kolejových vozidel, návrhy a výroba WC modulů a výroba svařovaných korozivzdorných nádrží a komponentů [44, 45].

V současné době se konkrétní typ EP 2 již nevyrábí a je nahrazen novějšími, bezpečnějšími a produktivnějšími stroji. Podobné typy se sice ještě používají, ale z velké části došlo v této oblasti k zásadní mechanizaci a snížila se tak fyzická náročnost práce. Došlo k vývoji z ručních zařízení až k mohutným elektronicky naváděným strojům. Velkou změnu představuje také přechod z jednoho ramene (hlavně ruční podbíječky) na dvojici ramen, která jsou mechanicky zabořena proti sobě pod úroveň pražce a stlačena k sobě. Dojde tak ke zhutnění šterku pod pražcem. Pro zvýšení účinnosti jsou ramena napojena na vibrační motory. Zhutnění šterku je velmi účinné a lze tak kromě zpevnění do určité míry i zdvihat trať (v řádu jednotek milimetrů až centimetrů) [46].

Některé novější využívané typy, hlavně tedy střední a těžké strojní podbíječky, jsou uvedeny v příloze 8.



Obr. 28 Ruční elektrická podbiječka EP 2 [45].

Důležitým parametrem zvolené součásti je volba vhodného materiálu. Daná hřídel patří k nejvíce namáhaným součástem podbiječky, což vedlo k jejímu častému opotřebení, vylomení části zubu a k dalším problémům, a tedy k nutnosti její výměny. Tímto důvodem jsou především vysoké frekvence úderů, vysoké vibrace a vysoká energie úderů, zapříčiněná vysokou hmotností kolejového roštu. Přesný materiál využívaný pro tento konkrétní typ sice nebyl zjištěn, nicméně pro účely dalších kapitol byla jako vhodný materiál, vzhledem k charakteru součásti, zvolena ocel 14 220 (ČSN 41 4220).

2.2 Charakteristika zvoleného materiálu

Ocel 14 220

Jedná se ušlechtilou konstrukční mangan-chromovou ocel k cementování. Je dobře tvářitelná za tepla, po žihání na měkko i za studena. Rovněž je dobře obrobitelná a svařitelná [47]. Chemické složení je uvedeno v tab. 4 a přehled některých fyzikálních a mechanických vlastností vztažených na polotovar tyče válcované za tepla v tab. 5.

Tab. 4 Chemické složení oceli 14 220 (ČSN 41 4220) [48].

Chemické složení oceli 14 220	
C [%]	0,14–0,19
Mn [%]	1,10–1,40
Si [%]	0,17–0,37
Cr [%]	0,80–1,10
P [%]	max. 0,035
S [%]	max. 0,035

Tab. 5 Přehled vlastností oceli 14 220 (ČSN 41 4220) [49].

Stav oceli v závislosti na tepelném zpracování	14 220.1	14 220.3
mez kluzu [MPa]	-	min. 588
tvrdost HB [-]	min.152	max. 197
součinitel teplotní roztažnosti [K ⁻¹]	11,0 · 10 ⁻⁶	
hustota [kg · m ⁻³]	7 850	
modul pružnosti v tahu [GPa]	206	

Daná ocel je vhodná pro strojní součásti pro zušlechťení do průměru 35 mm, k cementování, díky čemuž lze získat tvrdý a otěruvzdorný povrch a současně houževnaté jádro. Příkladem jsou hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy a zubové spojky [48].

2.3 Popis prvků součásti

Detailní popis vybrané součásti je patrný z výkresu přiloženého v příloze 9. Jak lze vidět na modelu (obr. 29) zhotoveném v programu Autodesk Inventor Professional 2017, součást lze rozdělit na dvě základní části, které představuje čelní ozubené kolo s přímými zuby a část charakteru hřídel.



Obr. 29 Model zkoumané součásti.

Na daném charakteru součásti lze názorně popsat principy obrábění a měření za využití SMS v automatické obráběcí lince.

Celková délka součásti činí 226,5 mm a největší průměr je 30 mm. Na součásti jsou dva středící důlky, které vzhledem ke skutečnosti, že obě čela jsou nefunkční, mohou zůstat zachována. Na části charakteru hřídel se nachází několik válcových ploch, a to jak funkčních, tak nefunkčních. Dále jsou zde dvě drážky pro pojistné kroužky a normalizovaný zápich tvaru G. Druhou část tvoří čelní ozubené kolo s 13 zuby. Součásti tvořené ozubením zpravidla vyžadují využití speciálních SMS.

3 OBRÁBĚCÍ PROCES SOUČÁSTI

3.1 Volba polotovaru

Výběr vhodného polotovaru je důležitým faktorem vzhledem k technologičnosti konstrukce vyráběné součásti. Rovněž je nutné tuto volbu provést pro potřeby technologického postupu. Volba polotovaru bude vztažena na sériovou výrobu.

Vzhledem k charakteru součásti je jako polotovar zvolen přířez z tyče válcované za tepla dle ČSN EN 10060. Hmotnost hotové součásti byla získána v programu Autodesk Inventor Professional 2017 a činí 0,724 kg.

Rozměry polotovaru

Pro stanovení přídávku na průměr lze využít empirickou rovnici (3.1) [50]:

$$p_d = 2 + 0,05 \cdot d_{s \max} [\text{mm}] \quad (3.1)$$

Kde: p_dpřídavek na průměr [mm],

$d_{s \max}$největší průměr zvolené součásti [mm].

$$P_d = 2 + 0,05 \cdot 30 = 3,5 \text{ mm}$$

Následným výpočtem dle (3.2) vyjde průměr polotovaru [50]:

$$D_o = p_d + d_{s \max} [\text{mm}] \quad (3.2)$$

Kde: p_dpřídavek na průměr [mm],

$d_{s \max}$největší průměr zvolené součásti [mm],

D_oprůměr polotovaru [mm].

$$D_o = 3,5 + 30 = 33,5 \text{ mm}$$

Stejným způsobem s využitím celkové délky hotové součásti by bylo možné určit délku polotovaru. Druhou možností je její přibližné určení užitím pravidla, podle kterého se běžně volí přídavek na délku 2 až 4 mm. Pro danou součást byl tento příravek zvolen 2 mm.

Délka polotovaru dle (3.3) tedy bude [50]:

$$l_o = p_l + l_{\max} [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Kde: l_odélka polotovaru [mm],

p_lpřídavek na délku [mm],

l_{\max}celková délka součásti [mm].

$$l_o = 2 + 226,5 = 228,5 \text{ mm}$$

Nakonec je třeba v závislosti na nabídce dodavatelů vybrat vhodnou normalizovanou tyč, které jsou k dostání za příznivější ceny. Volí se dle zvolené normy ČSN EN 10060 zpravidla nejbližší vyšší průměr tyče. Vzhledem k vypočítanému polotovarů bude využita tyč o průměru 35 mm. Délky dodávaných tyčí jsou rovněž normalizovány, v tomto případě je zvolena tyč délky 3 metry.

Výsledný polotovar tedy bude: Ø35-228,5 ČSN EN 10060.

Výpočet využití materiálu

Důležitým faktorem pro zhodnocení správné volby polotovaru je koeficient využití materiálu. Rozměry zvoleného polotovaru byly spočítány následovně: průměr 35 mm a celková délka 228,5 mm. Pro následující výpočty je potřeba znát šířku prořezu, která je ovlivněna především tloušťkou pilového pásu. Tento parametr lze najít v katalogu zvolené pásové pily. Jak je níže uvedeno, šířka prořezu s ohledem na zvolenou pilu je 1,1 mm.

Nejprve je nutné stanovit hmotnost jedné tyče. Hmotnost se určí dosazením vztahu pro objem do vztahu pro výpočet hmotnosti tyče, čímž vznikne výsledný vztah (3.4) [50]:

$$m_{tyč} = \frac{\pi \cdot D_{tyč}^2}{4} \cdot l_{tyč} \cdot \rho \quad [\text{kg}] \quad (3.4)$$

Kde: $m_{tyč}$hmotnost 1 tyče délky 3 metry [kg],

$D_{tyč}$průměr tyče [m],

$l_{tyč}$délka tyče [m],

ρhustota materiálu (pro zvolený materiál 7850 kg · m⁻³).

$$m_{tyč} = \frac{\pi \cdot 0,035^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850 = 22,658 \text{ kg}$$

Následně se vypočte počet přířezů zhotovených z jedné tyče (3.5) [50]:

$$n = \frac{l_{tyč}}{l_o + l_u} \quad [\text{ks}] \quad (3.5)$$

Kde: npočet přířezů z jedné tyče [ks],

$l_{tyč}$délka tyče [mm],

l_odélka polotovaru [mm],

l_ušířka prořezu [mm].

$$n = \frac{3000}{228,5 + 1,1} = 13,07 \Rightarrow 13 \text{ ks}$$

Nakonec se dle vztahu (3.6) vypočte koeficient využití materiálu [50]:

$$k_m = \frac{n \cdot m_{sou}}{m_{tyč}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.6)$$

Kde: k_mkoeficient využití materiálu [%],

npočet přířezů z jedné tyče [ks],

m_{sou}hmotnost hotové součásti [kg],

$m_{tyč}$hmotnost tyče délky 3 metry [kg].

$$k_m = \frac{13 \cdot 0,724}{22,658} \cdot 100 = 41,54 \%$$

Ve strojírenské praxi se přípustná hodnota koeficientu využití materiálu zpravidla pohybuje mezi hodnotou 0,4 až 0,8, což odpovídá 40 až 80 %. Z předchozího výpočtu je tedy patrné, že vypočtená hodnota ještě leží v dolní části přípustného intervalu a zvolený polotovár lze pro danou součást použít. Vzhledem k mezní hodnotě by však bylo možné přemýšlet o jeho změně. Mezi základní možnosti úpravy se řadí například:

- volba jiné délky tyče

- úplná změna charakteru polotovaru

Například využití výkovku či výpalku z tlustého plechu.

- objednávka tyče o nestandardních rozměrech

U dodavatelů hutních polotovarů lze většinou objednat tyče o libovolných rozměrech. Problémem je však vyšší cena oproti normalizovaným tyčím.

- zásah do konstrukce součásti

V případě velké odchylky od běžných hodnot koeficientu využití materiálu lze v procesu návrhu polotovaru pro novou součást rovněž uvažovat o změně její konstrukce.

3.2 Obráběcí proces

Zde budou uvedeny veškeré parametry a vybavení potřebné k obrobení vybrané součásti. Vybavení je voleno, kromě posouzení z hlediska technologičnosti, s ohledem na požadavek sériové výroby dané součásti. Součást je menších rozměrů, díky čemuž je možné využít stroje s menšími rozměry pracovního prostoru a s menšími dosažitelnými výkony. Kromě toho jsou voleny univerzální obráběcí stroje, které po splnění denní výrobní dávky umožňují přejít na obrábění dalších součástí podobného charakteru. Volené stroje a nástroje vychází z technologického postupu, který je detailně zpracován v příloze 10.

3.2.1 Dělení materiálu

Dělení tyčového polotovaru bude prováděno řezáním na pásové pile. Byla zvolena automatizovaná pásová pila s CNC řízením společnosti Pilous s.r.o. s označením ARG 330 CF-NC AUTOMAT (obr. 30).



Obr. 30 Pásová pila ARG 330 CF-NC AUTOMAT [51].

Jedná se o výkonné zařízení vhodné pro sériovou a velkosériovou výrobu. Stroj je možné ovládat v plně automatickém, poloautomatickém nebo ručním režimu. Nabízí možnost řezání tyčí kruhového, čtvercového i obdélníkového profilu. Pila je osazena pilovým pásem o šířce 34 mm a tloušťce 1,1 mm. Vysoká hodnota tloušťky pásu zvyšuje produktivitu stroje a přesnost řezu. Přívod polotovaru do stroje může být zajištěn například pomocí válečkového dopravníku PILOUS K 400. Stroj je vybaven skluzavkou materiálu, která plynule navazuje na těleso svěráku za řezem a umožňuje snadné sklouznutí uříznutých kusů do bedny při dělení větších sérií. Řezná rychlost pilového pásu lze nastavit pomocí frekvenčního měniče v rozsahu $15\text{--}90\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [51].

S přihlédnutím k možnostem daného zařízení, k materiálu a rozměrům polotovaru byla zvolena řezná rychlost $60\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro daný materiál polotovaru byl podle katalogového listu určen materiál zubů pásu jako HSS-M42 s obsahem kobaltu. Výňatek z katalogového listu daného produktu je uveden v příloze 11.

Označení zvoleného pilového pásu je 3870x34x1,1 M42 8/12z – pilous ARG 330. Tento pás je vhodný pro dělení plného materiálu o průměru 20 až 40 mm, což odpovídá vypočtenému polotovaru [51].

3.2.2 Soustružení

Pro soustružnické operace bylo navrženo využití horizontálního soustružnického centra SBL 300 CNC (obr. 31). Řídicí systém je SIEMENS Sinumerik 840D SolutionLine. Zařízení je určeno do strojírenské středně až velkosériové výroby na náročné opracování součástek složitých geometrických tvarů z kovu i plastu, kde verze s pohyblivým protivřetenem umožňuje komplexní obrábění součástek s dokončením na jednom stroji. Centrum je vhodné na výrobu přírubových nebo hřídelových součástí. Díky variabilitě modulární konstrukce umožňuje vyskládat optimální konfiguraci od jednoduchého 3-osého soustruhu až po vysoce produktivní 9-osé soustružnické centrum pro automatizovaný provoz [52]. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 12.



Obr. 31 Soustružnické centrum SBL 300 CNC [52].

- zarovnání čela, navrtání středících důlků, soustružení vnější kontury součásti

Soustružnické operace budou probíhat na jednom stroji, bude ale třeba několik nástrojů, jež jsou uloženy v automatickém výměníku nástrojů.

V první fázi obrábění, jak je uvedeno v technologickém postupu (příloha 10), budou na obráběcím centru zarovnány obě čela obrobku, navrtány středící důlky a následně bude hrubována vnější kontura součásti.

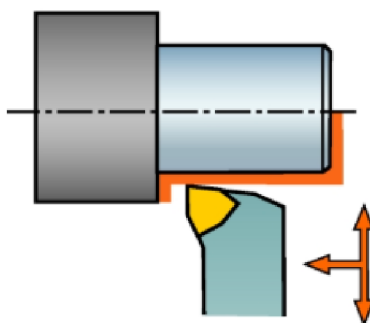
Pro zarovnání čela i pro hrubovací operace bude použit soustružnický nůž vnější s VBD s označením:

- těleso nástroje: DWLNR 2525M-08 dodavatel Iscar Ltd.,
- VBD: WNMG 080408-NF dodavatel Iscar Ltd.

Zvolený nůž je znázorněn na obr. 32 vlevo, samostatná VBD vpravo. Schéma znázorňující jeho typ a funkci na obr. 33.



Obr. 32 DWLNR 2525M-08 a WNMG 080404-GN [53].



Obr. 33 Typ a funkce nože DWLNR 2525M-08 [54].

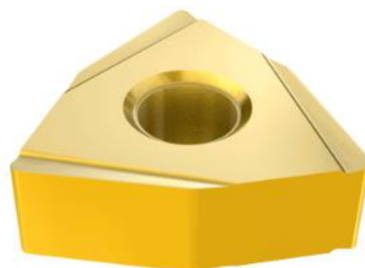
K navrtání středících důlků byl vybrán vrták středící 60° - tvar A (obr. 34). Nástroj je vyroben z rychlořezné oceli. Úhel zahloubení vrtáku je 60°, průměr špičky 2,5 mm a průměr válcové části 6,3 mm [55].



Obr. 34 Vrták středící 60° - tvar A [55].

Po hrubování budou všechny plochy soustruženy na čisto podle výkresové dokumentace. Pro soustružení na čisto bude použit soustružnický nůž se stejným typem tělesa nástroje, použitým již pro hrubovací operace, osazený VBD určenou pro soustružení na čisto s označením:

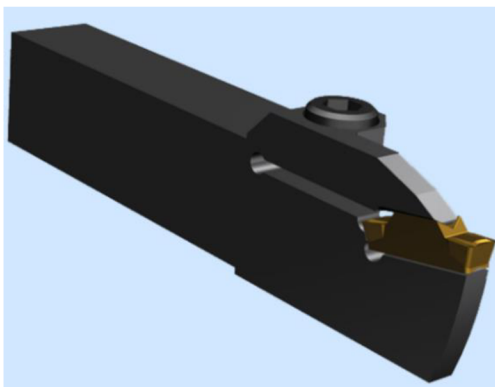
- těleso nástroje: DWLNR 2525M-08 dodavatel Iscar Ltd.,
- VBD: WNMZ-RF/LF dodavatel Iscar Ltd. (obr. 35).



Obr. 35 VBD WNMZ-RF/LF [53].

- drážky a zápich tvaru G

Pro tyto účely byl vybrán soustružnický nůž zapichovací od společnosti Dormer Pramet s označením GFML 2020 K 0416 (obr. 36) a příslušná VBD s označením LCMR 041604-CM. VBD je vyrobena ze speciálního materiálu s označením T8330, charakteristického vysokou houževnatostí a pevností řezného břitu [56].



Obr. 36 Zapichovací nůž GFML 2020 K 0416 [56].

3.2.3 Frézování

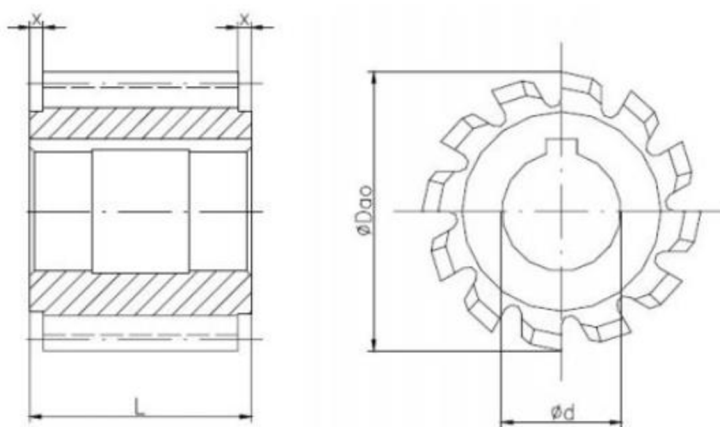
K frézování byla navržena svislá odvalovací frézka na ozubení OFA 75 CNC 6 (obr. 37). Parametry stroje jsou uvedeny v příloze 13. Daná frézka je vhodná pro frézování: čelních ozubených kol s přímými i šikmými zuby, řetězových kol, šnekových kol frézovaných radiálním i tangenciálním způsobem, ozubených kol s podélnou modifikací, drážkových hřídelí a jiných druhů ozubení frézovaných odvalovacím způsobem. Stroj je vhodný pro sériovou i kusovou výrobu. V základním provedení je vybaven řídicím systémem Sinumerik 840 D sl. Má 6 řízených os [57].



Obr. 37 Frézka OFA 75 CNC 6 [57].

- volba nástroje pro frézování ozubení

Pro frézování na zvoleném stroji byla vybrána odvalovací fréza podle ČSN 22 2551 (odvalovací frézy na válcová ozubená kola s evolventním profilem) s modulem 2 mm. Dodavatelem je společnost KasikTools s.r.o. Schéma se znázorněním hlavních rozměrů je na obr. 38. Materiálem je HSS s obsahem kobaltu [58].



Obr. 38 Odvalovací fréza podle ČSN 22 2551 [58].

Vzhledem ke zvolené součásti byla vybrána fréza s modulem 2 mm. Její rozměry, odpovídající obr. 38, jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Základní rozměry zvolené frézy [58].

modul [mm]	Da ₀ [mm]	d [mm]	L [mm]	x [mm]	Počet zubových drážek [-]
2	63	27	50	4	12

3.2.4 Broušení

Vzhledem k charakteru součásti bylo navrženo využití dvou CNC brusek. Tou první je univerzální hrotová bruska s označením BUB E CNC (obr. 39). Jedná se o plně numericky řízený broušící stroj se třemi řízenými osami – osa X (přisuv broušícího vřeteníku), osa Z (podélný posuv stolu) a osa C (otáčky pracovního vřeteníku). Je určena k: broušení vnějších válcových a kuželových ploch, tvarovému broušení, broušení přechodů mezi odlišnými průměry, broušení čelních ploch a při použití volitelného zařízení pro vnitřní broušení také vnitřních válcových a kuželových děr. Stroj umožňuje broušení jak v hrotech, tak i letmo, a to s obrobkem upnutým ve sklíčidlech nebo na magnetické desce, což plně vyhovuje zvolené součásti [59]. Parametry stroje jsou uvedeny v příloze 14.



Obr. 39 Bruska univerzální hrotová BUB E CNC [59].

Pro účely broušení ozubení bude sloužit bruska SBO 340/400 CNC (obr. 40). Jedná se o vysoce produktivní odvalovací brusku s osmi řízenými osami. Bruska zajišťuje možnost vysokorychlostního broušení do průměru 400 mm při maximálním modulu ozubení 8 mm. Maximální obvodová rychlost broušícího kotouče je $63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [60].



Obr. 40 Odvalovací bruska na ozubení SBO 340/400 CNC [60].

- volba brousících kotoučů

Volba ideálního brousícího kotouče může být poměrně složitá záležitost. Existuje celá řada faktorů, všeobecných zásad a doporučení výrobců, které je třeba před výběrem zvážit.

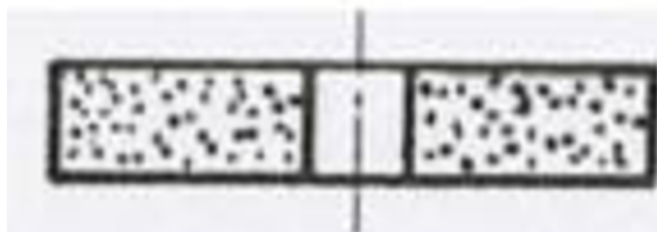
Stručný přehled těchto informací je shrnut v tab. 7.

Tab. 7 Všeobecné zásady pro volbu brousících kotoučů [61].

Zásady pro volbu brousících kotoučů	
ovlivňující faktory	vlastnosti broušeného materiálu
	podmínky broušení
	technický stav stroje
	způsob broušení
	velikost úběru materiálu
všeobecné zásady	Pro větší úběr materiálu se volí hrubší zrnitost.
	Pro tvrdší broušený materiál se volí měkčí kotouč.
	Pro materiály citlivé na změny teplot se volí měkčí kotouč.
	Pro broušení přerušovaných ploch se volí tvrdší kotouč.
	Pro broušení obrobku čelem kotouče se volí kotouč měkčí než pro broušení obvodem kotouče.
závady způsobené nevhodnou volbou kotouče	Příliš tvrdý kotouč – malá samoostřicí schopnost.
	Příliš měkký kotouč – rychlé opotřebení.
	Jemná zrna mají relativně velký povrch a potřebují proto k dosažení stejné tvrdosti více pojiva.

Na základě těchto faktorů byly zvoleny následující brousící kotouče:

- Vzhledem ke kontinuálnímu odvalovacímu způsobu broušení ozubení byl zvolen brousící kotouč Mira Ultra od společnosti Tyrolit. Jeho konstrukce byla koncipována speciálně pro pracovní rychlosti až do $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tvar kotouče je závislý především na modulu [62]. Daný kotouč je znázorněn na obr. 41.
- K broušení válcových ploch byl vybrán brousící kotouč plochý o rozměrech $100 \times 10 \times 20 \text{ mm}$. Složení kotouče je bílý umělý korund s keramickým pojivem a maximální pracovní rychlost kotouče je $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. [63]. Daný kotouč je znázorněn na obr. 42.



Obr. 41 Broušící kotouč Mira Ultra [62].

Obr. 42 Broušící kotouč plochý [64].

3.3 Nástrojový list

V nástrojovém listu (tab. 8) jsou shrnuty výše zmíněné nástroje potřebné pro výrobu zvolené součásti. Kromě názvu, materiálu a dodavatele nástroje je uvedeno i jeho označení, ze kterého se vyháží při číslování nástrojů v technologickém postupu (příloha 10).

Tab. 8 Nástrojový list.

VUT Brno, FSI Ústav strojírenské technologie		Vyhotovil: Fúsek Jakub		
		Datum: 23.4.2018		
NÁSTROJOVÝ LIST				
Pozice nástroje	Nástroj	VBD	Dodavatel	Materiál
T1	Pilový pás: 3870x34x1,1 M42 8/12z – pilous ARG 330	-	Pilous s. r. o.	HSS-M42
T2	Soustružnický nůž vnější: DWLNR 2525M-08	WNMG 080408-NF	Iscar Ltd.	IC8250
T3	Vrták středící 60° - tvar A	-	M&V s. r. o.	HSS
T4	Soustružnický nůž vnější: DWLNR 2525M-08	WNMZ- RF/LF	Iscar Ltd.	IC530N
T5	Soustružnický nůž zapichovací: GFML 2020 K 0416	LCMR 041604-CM	Dormer Pramet	T8330
T6	Modulová odvalovací fréza m=2 (ČSN 22 2551)	-	KasikTools s.r.o.	HSS

T7	Brousicí kotouč plochý: 100x10x20	-	TYROLIT	Al ₂ O ₃
T8	Brousicí kotouč Mira Ultra m=2	-	TYROLIT	Al ₂ O ₃

3.4 Určení řezných podmínek

Řezné podmínky pro všechny obráběcí operace jsou uvedeny v technologickém postupu (příloha 10). Tyto podmínky byly určeny na základě:

- doporučených řezných podmínek uvedených v katalozích nástrojů,
- výpočtu podle uvedených vztahů,
- optimalizace z důvodu omezení vybraného strojního vybavení.

Mezi použité vztahy se řadí vztah pro výpočet řezné rychlosti (3.7) [65]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.7)$$

Kde: v_cřezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

npro: soustružení – otáčky obrobku [min^{-1}],
frézování – otáčky nástroje [min^{-1}],
vrtání – otáčky nástroje [min^{-1}],

Dpro: soustružení – průměr obráběné plochy [mm],
frézování – průměr frézy [mm],
vrtání – průměr vrtáku [mm].

Z tohoto vztahu lze snadno vyjádřit vztah pro otáčky (3.8):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (3.8)$$

Další důležitou řeznou podmínkou je posuv. Je nutné správně rozlišovat jednotlivé druhy posuvů. Mezi tyto druhy se řadí:

- posuv na zub,
- posuv na otáčku,
- minutový posuv (někdy označován jako rychlost posuvu V_f).

Vztah pro minutový posuv lze vyjádřit podle vztahu (3.9) [65]:

$$f_{\min} = f_{ot} \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.9)$$

Kde: f_{\min}minutový posuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$],

f_{ot}posuv na otáčku [$\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$],

n otáčky vřetene [min^{-1}].

V případě frézování a vrtání lze vztah pro posuv na zub vyjádřit jako (3.10) [65]:

$$f_z = \frac{f_{ot}}{z} = \frac{f_{min}}{n \cdot z} \quad [\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}] \quad (3.10)$$

Kde: f_{min}minutový posuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$],

f_{ot}posuv na otáčku [$\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$],

f_zposuv na zub [$\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}$],

n otáčky vřetene [min^{-1}],

zpočet zubů [-].

4 VOLBA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Na základě charakteru součásti a konzultace s odborníkem bylo jako vhodné zařízení pro dané měření vybráno souřadnicové měřicí centrum od společnosti Wenzel Group s označením WGT 280 (obr. 43). Vzhledem k ozubení není vhodné a často ani možné volit klasické SMS. Pro tyto účely se využívají převážně specializované stroje, které mnohem lépe splňují požadavky pro kontrolu ozubených kol. Kromě speciálního softwarového vybavení umožňují vhodný způsob upínání za pomoci trnu, jež lze pro vybranou součást brát jako ideální řešení.



Obr. 43 SMS WGT 280 [66].

Daný způsob upínání je znázorněn na obr. 44. Hlava s dotykem je umístěna na sloupu stojícím vedle trnu a je nasměrována kolmo k ose měřené součásti. Zpravidla se pak součást otáčí kolem své osy a dotyk se pohybuje vertikálně (nahoru, dolů) a zároveň se vysouvá, díky čemuž je zaručen dosah na kteroukoliv část součásti.



Obr. 44 Detail způsobu upínání [66].

Vybrané zařízení je vhodné pro měření a analýzu menších součástí jako jsou ozubená kola, hřídele a jiné rotační symetrické součásti. Jeho parametry jsou uvedeny v tab. 9. Stroj je vhodný pro měření přímo ve výrobě. Jeho základ je vyroben z vysoce kvalitní žuly. Umožňuje přesné měření a skenování ve 4 osách. Mezi jeho hlavní přednosti patří: totožné chování všech os a základny při tepelném zatížení, pasivní i aktivní tlumení vibrací, využití kontinuálních skenovacích sond včetně automatizovaných výměníků [66, 67].

Tab. 9 Parametry SMS WGT 280 [67].

Parametry vybraného měřicího zařízení		
průměr pracovního prostoru [mm]	5–280	
měřitelné moduly [mm]	min. 0,5	
rozsah celkové měřitelné délky [mm]	50–250	
maximální nosnost pracovního stolu [kg]	50	
úhel šroubovice [°]	<90	
měřicí rozsah v ose	X [mm]	340
	Y [mm]	200
	Z [mm]	500

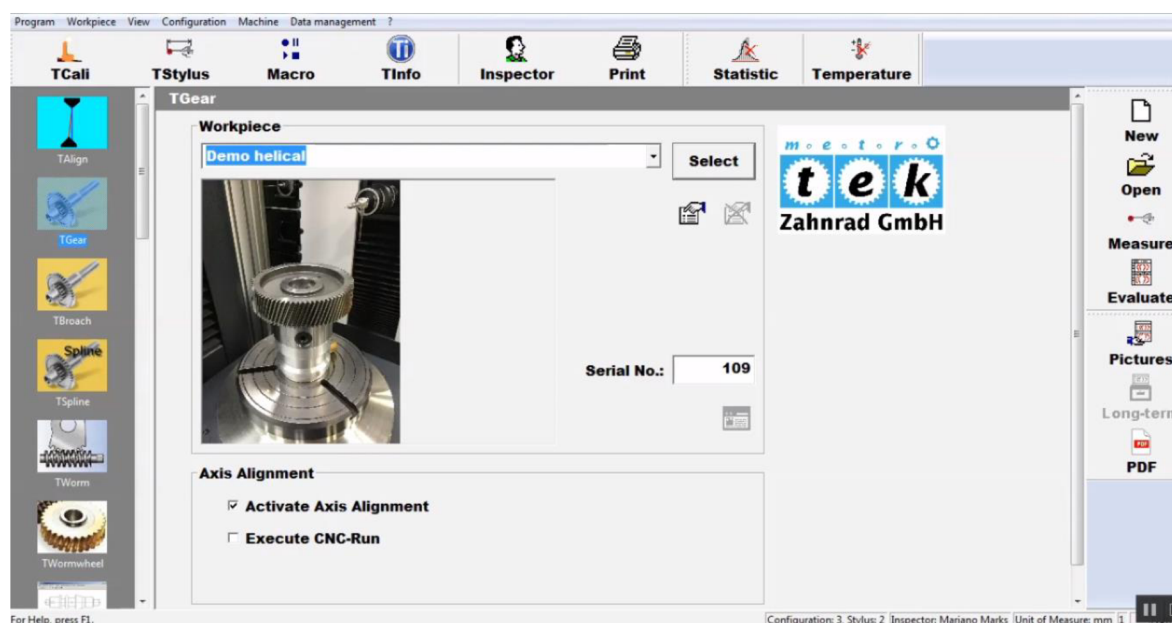
Dané zařízení využívá skenovací sondy od společnosti Renishaw plc. Ve standardní výbavě je osazen analogovou skenovací sondou SP600M (obr. 45). Jedná se o sondu pro výkonné měření s možností digitalizace a skenování profilů. Díky robustní konstrukci je odolná i vůči mírným nárazům. Kromě sondy je k dispozici i výměnný zásobník modulů dotyků, který umožňuje výměnu dotyku během 10 sekund bez nutnosti jeho opětovné kalibrace před použitím. Pro danou součást jsou díky svému všestrannému využití nejvhodnější dotyky přímé, dále pak hvězdicové a dotyky s hrotem (viz kapitola 1.2.1.5). Pro měření součástí s ozubením jsou vhodné sondy skenovací, které v závislosti na složitosti součásti skenují až tisíce bodů za sekundu a dávají tak dobrý obraz o tvaru a rozměrech součásti. Zvolená sonda umožňuje skenovat rychlostí až $300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a rovněž umožňuje rychlé bodové měření. Z hlediska v katalogu udávaných 50 000 hodin životnosti jsou i náklady na pořízení a provoz velmi nízké. Další parametry jsou uvedeny v příloze 15 [67, 68].



Obr. 45 Skenovací sonda SP600M [67].

Stroj je obsluhován pomocí rozsáhlého modulárního měřicího softwaru TMain, jehož hlavní menu je zachyceno na obr. 46. Software zaručuje široké možnosti měření a analýzy ozubených kol, nástrojů a hřídelí. Tento software je rozčleněn na [67, 69]:

- Hlavní menu, jež představuje hlavní část programu označenou TMain. Tato část programu slouží k: celkové správě měření, vytváření nových měřicích cyklů, konfiguraci základních parametrů (definice nových dotyků, teplot aj.) a k celkové správě a tisku výsledků měření.
- Oddělené, speciálně orientované moduly. Moduly jsou k dostání samostatně, v závislosti na potřebách měření. Výběr mezi jednotlivě dostupnými moduly, jak je vidět na obrázku 46, lze provést v hlavním menu TMain pomocí svislé lišty vlevo. Po výběru modulu pro měření se již postupuje podle podrobného průvodce, kde se nastaví všechny potřebné parametry pro daný dílec.



Obr. 46 Náhled do modulárního programu TMain [69].

Pro zvolenou součást byl jako vhodný zvolen modul TShaft. Tento modul je vhodný pro měření hřídelí, včetně drážkovaných a hřídelí s ozubením. Celý program pro měření a vyhodnocení výsledků lze automaticky generovat na základě vstupních parametrů popisujících geometrii součásti [67].

5 MĚŘICÍ PROCES

Na základě konzultací a studie odborných zdrojů jsou zde uvedeny náležitosti procesu měření.

Jak již bylo zmíněno, SMS pracují na základě definice počátku souřadného systému kdekoli v prostoru jejich měřicího rozsahu, s následným referenčním vyhodnocením souřadnic všech nasnímaných bodů.

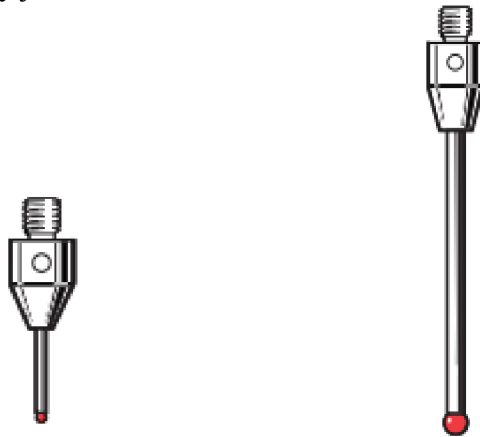
Prvním krokem měření by vždy mělo být sestavení plánu průběhu měření, ve kterém je zahrnuta dokumentace, přípravky pro upnutí součásti a další náležitosti. Plán měření obsahuje tzv. strategii měření, z které musí být jasné požadavky na přesnost výsledků. Hledá se optimální postup k jejich dosažení. V tab. 10 jsou shrnuty některé základní zásady, které by měly být při sestavování plánu průběhu měření dodržovány [70].

Tab. 10 Základní zásady pro sestavování plánu průběhu měření [70].

Základní zásady pro sestavování plánu průběhu měření
Ustavení obrobku stabilně a za co největší plochu.
Kde je možné, co nejvíce slučovat měřicí operace.
Možnost proměření obrobku na jedno ustavení.
Volit minimální počet dotyků.
Zvolit měřené body tak, aby měřicí postup byl co nejkratší.
Počet snímaných bodů volit o 2 až 3 větší, než vyžaduje geometrická definice.
Při statistické interpretaci výsledku měření vyhodnotit minimálně 30 bodů.
Měřicí základny by měly korespondovat se základnami konstrukčními.
Vyhodnotit dosaženou nejistotu měření a porovnat ji s její požadovanou hodnotou.

Nejčastějším způsobem určení geometrických obrazců je skenování jejich tvaru nebo měření potřebného počtu bodů. Ještě před započatím měření se nesmí zapomenout na důkladné očištění součásti, bez kterého by se hlavně skenovací metody, kde kulička klouže po povrchu součásti, neobešly. Vznikly by tak velmi zkreslené výsledky měření. Dále musí být nastavena teplotní kompenzace, o které byla řeč v teoretické části práce. Při skenování není na škodu ani použití funkce filtrů a eliminace. Lze tak z měření vyřadit body s velkou odchylkou od ostatních hodnot. Výchozím podkladem pro určení měřených elementů je výkres součásti, který je přiložen v příloze 9. Při tvorbě měřicího programu je důležité věnovat pozornost i jeho optimalizaci. Optimalizací se rozumí například správné určení pořadí snímání, což může velmi znatelně zredukovat celkovou dobu měření.

Pro měření zvolené součásti je navrženo použití dvou konfigurací snímacích systémů. První konfigurace je složena ze snímače s kuličkou o průměru 1 mm a stopkou délky 20 mm, materiálem kuličky je rubín. Tato konfigurace je použita hlavně pro měření ozubení. Vzhledem k doporučení, že kulička by se s ohledem na prováděné měření měla volit co největší, je v dostupném zásobníku uložena ještě jedna konfigurace s kuličkou o průměru 3 mm, a to pro měření hřídelové části součásti. Délka stopky z karbidu wolframu bude 40 mm. Schéma zvolených dotyků od společnosti Renishaw plc. je na obr. 47. Kromě toho bylo doporučeno prodloužení o délce 80 mm. Definice nových snímačů je jednoduchá záležitost. V domovské části programu TMain je zvolena záložka TStylus, umístěná v horní horizontální liště a následně jsou v zobrazeném okně vyplněny všechny potřebné parametry jako na obr. 48.



Obr. 47 Schéma zvolených dotyků [25].

Configuration		Stylus		
Config. no.	4	Stylus no.	1	
Name	3mm Y- + 1mm Z-	Form	Sphere	
Y end position	0.0000	Diameter	3.0000	
		Measuring pretension	0.2000	
		Calibration offset	0.0000	
		Y Length	0.0	
		Axis direction	Y- Vx Vy Vz	
		0.0000	-1.0000	0.0000
		Shank length	0.0000	
		Dip depth	0.0000	
		Override in Z	0.0000	
		Cuttet angle	0.0000	
Range				
0-5 mm				
		OK Cancel		

Obr. 48 Okno pro definici nového snímacího systému [69].

Kalibrace

Před začátkem samotného měření je třeba snímací systémy kalibrovat (klasifikovat) za pomoci kalibrační koule. Byla zvolena kalibrační koule od společnosti Renishaw plc. o průměru 19 mm, vyrobená z karbidu wolframu.

Proces kalibrace [71]:

- upnutí kalibrační koule na měřicí desku,
- zaměření polohy kalibrační koule pomocí referenčního snímače,
- kontrola výsledků zaměření kalibrační koule,
- kalibrace snímacího systému,
- kontrola výsledků kalibrace snímacího systému.

Kalibrace se provádí u všech snímačů, které budou pro měření použity. Součástí vybraného měřicího zařízení je flexibilní modulární výměnný systém, jenž umožňuje výměnu dotyku během 10 sekund bez nutnosti rekalibrace před jeho opětovným použitím. Rekalibrace se zpravidla provádí kromě výše zmíněné konfigurace nového systému i po náhodné kolizi, na začátku nové směny či při významné změně teplot.

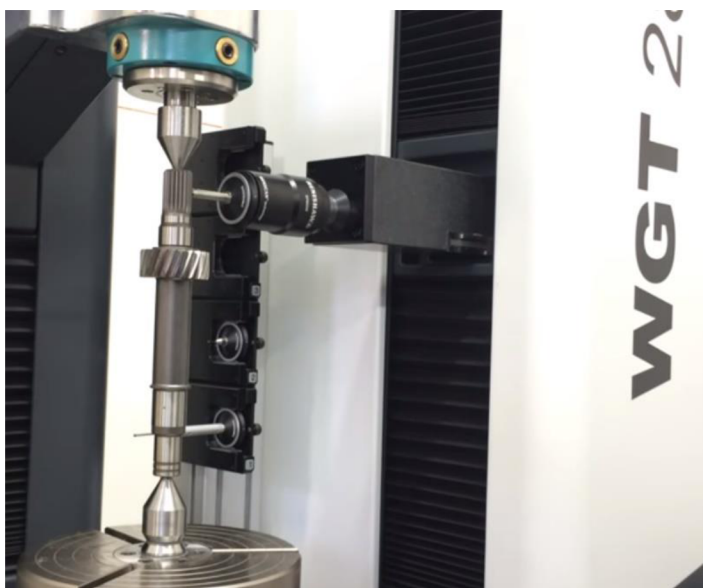
Kalibrační kouli lze nastavit pod různými úhly (obr. 49). Pro automatizaci kalibrace je však nutné ji upnout vždy na stejné místo a pokud je koule sklopena pod určitým úhlem, tak zachovat i velikost a směr tohoto úhlu.



Obr. 49 Možnosti polohování kalibrační koule [72].

Upnutí součásti

Správně upnutá součást je základem pro přesné měření. Existuje celá řada upínacích zařízení, která je možno volně položit či přišroubovat na měřicí desku (stůl). Lze upínat například: do univerzálních svěráků, pomocí magnetické desky, do upínacích přípravků připravených speciálně pro měřenou součást aj. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5, pro měření součásti byl vybrán speciální SMS na ozubení WGT 280, který umožňuje charakteristický způsob upínání za pomoci trnu. Hlava s dotykem je směřována kolmo k ose měřené součásti. Na obr. 50 je znázorněno upnutí daným způsobem obdobné součásti. Zvolený způsob upínání je velmi rychlý.



Obr. 50 Detail upínání pomocí trnu [66].

Volba základního souřadného systému – vyrovnání součásti

Základní souřadný systém (obr. 51) se určí na základě referencí, které omezí stupně volnosti měřené součásti. Zadané reference postupně zamezí otáčení součásti v prostoru, otáčení v rovině a posunu součásti (určení nulového bodu). Jedná se o primární, sekundární a 3 terciální reference (osa X, osa Y a osa Z).



Obr. 51 Základní souřadný systém zvolené součásti.

Primární reference bude určena pomocí zkonstruované 3D přímky ze dvou zvolených válců, daná 3D přímka kopíruje osu rotace součásti. V tomto případě je zvolena orientace součásti ve směru osy X. V dalším kroku bude určena sekundární reference pomocí roviny. Může být definována například rovina na konci ozubení. Pro určení nulového bodu poslouží terciální reference – v ose X bude zvolena již zmíněná rovina a v ose Y a Z zkonstruovaná 3D přímka z primární reference.

Analýza měřených charakteristik

Jak bylo zmíněno, pro měření slouží speciální software. Jedná se o software TMain a jeho modulovou část TShaft od společnosti Wenzel Group. Tento software dokonale vyhovuje zvolené součásti, jelikož se často používá právě na měření hřídelí s ozubením. Po výběru modulu je vytvořen nový prázdný program pomocí záložky New ve vertikální liště vlevo. Pro hřídel s ozubením je důležitá funkce programu, která vytvoří vazbu mezi jednotlivě definovanými částmi součásti, čímž vznikne jeden funkční program.

V první řadě jsou prostřednictvím vyskakovacích oken definovány veškeré parametry a rozměry potřebné pro popis součásti. Po její kompletní definici je vytvořen mimo jiné grafický náhled. V dalším kroku jsou zvoleny všechny charakteristiky, které mají být změřeny. Na základě takto definovaných vstupů je program generován automaticky.

Na daném charakteru součásti lze kontrolovat celá řada parametrů. Jedná se o:

- rozměrové charakteristiky (průměry, vzdálenosti, úhly),
- geometrické tolerance,
- parametry ozubení (rozteč, tloušťka zubu aj.).

Nastavení měření některých parametrů ozubení

- profil zubu

Příkladem parametru ozubení, který může být na zvolené součásti měřen je profil zubu. Je nutné nastavit tolerance pro charakteristiky, které mají být následně vyhodnoceny v protokolu z měření. Dále je potřeba zadat počet měřených zubů. Pro nejlepší výsledky platí pravidlo změřit co nejvíce zubů. Hlavně kvůli časovým nárokům však stačí většinou změřit jen 3 zuby. Zvolí se, zda se bude měřit jeden nebo oba boky zubů a následně se nastaví limity vyhodnocení. Nakonec se přiřadí jeden z definovaných snímačů. Bude použita konfigurace snímacího systému dotyku s kuličkou o průměru 1 mm.

- zubová rozteč

Při tomto měření se vyberou všechny zuby a dále budou nastaveny stejné parametry jako u měření profilu (tolerance, přiřazení snímače aj.). Nakonec je ještě nutné zvolit polohu měření. Je na výběr celá řada možností včetně manuálního výběru myši. Pro danou součást je zvolen střed boku zubu.

- průměr hlavové/patní kružnice

Jsou nastaveny údaje jako u předchozích prvků. I zde je vhodné zvolit všechny zuby, ale pro potřeby daného měření bude dostačující vybrat jen 3 zuby. Poloha měření bude nastavena na střed boku zubu. Dále jsou nastaveny tolerance a charakteristiky pro vyhodnocení měření.

Nastavení měření některých geometrických tolerancí

- tolerance směru – kolmost

Pro vyhodnocení je znovu nutné zadat hodnotu tolerance. K měření je potřeba vybrat 2 elementy. První se nastaví jako referenční a jde o element, ke kterému se geometrická tolerance vztahuje. Druhý je element vyhodnocovaný [71].

- tolerance polohy – umístění

Shodný průběh nastavení. I tady je potřeba dvou elementů. Jeden jako referenční druhý vyhodnocovaný.

Měření válcové plochy

Pro měření válcové plochy existuje celá řada strategií. Parametry se volí v závislosti na součásti. Může se měřit za pomoci kružnice, kružnice ze 4 bodů, spirálové dráhy, za pomoci skenování a dalších metod [71].

Měření čela

V případě měření vzdálenosti čel je dostačující použít bodové měření. V případě vyhodnocování jeho tvaru či polohy je potřeba použití skenování, které i v případě měření vzdálenosti čel zajistí přesnější výsledky. Vhodnou strategií pro měření čel je skenování po kruhové dráze [71].

Měření rovin

K měření elementu rovina lze využít celou řadu metod. Jedná se například o měření: rastru, definovaných bodů, kruhové dráhy v rovině aj. K definici roviny jsou potřeba minimálně 3 snímané body [71]. To platí i pro kružnici, přímka se snímá alespoň dvěma body a samotný bod reprezentuje sám sebe.

Měření kružnice

Měření elementu kružnice je možno například za pomoci: skenování, měření definovaných bodů, spirálové dráhy [71].

Výstupní protokol – protokol z měření

Poslední fáze měření je prezentace výsledků. Software TMain nabízí široké spektrum možností pro vyhodnocení a zobrazení výsledků. Od výsledků uložených v tabulkách přes grafy a diagramy až po grafické záznamy s barevně vyznačenými odchylkami.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z důvodu rozsahu diplomové práce je kapitola technicko-ekonomické zhodnocení zaměřena pouze na některé ekonomické a s nimi související časové aspekty technologie měření. Ekonomické posouzení obráběcího procesu se zde již neuvádí.

Stejně jako volba správného obráběcího vybavení, tak i výběr vhodného měřicího stroje a příslušenství zásadním dílem ovlivňuje ekonomiku celého výrobního procesu. Obvyklým požadavkem pro začlenění SMS do výroby je postupná návratnost vysokých nákladů, které vznikly při jeho pořízení. Důležitým aspektem pro volbu tohoto stroje je vhodnost jeho zařazení do sériové výroby a snaha o co největší podíl automatizace.

Lze konstatovat, že celkové náklady na měření jednoho kusu obrobku postupně klesají s počtem měřených kusů. Zpravidla se měření jediného kusu obrobku vyplatí provádět konvenčními metodami. S rostoucím počtem měřených kusů však dojde při jistém množství kusů k obratu, kdy se již vyplatí použít souřadnicový měřicí stroj. Rozdíl v nákladech ve prospěch SMS pak stoupá s každým dalším měřeným kusem [13].

6.1 Časová náročnost měření

Na základě některých hledisek lze porovnat kontrolu výrobků na SMS s obráběním na CNC stroji. Redukce času měření je samozřejmě závislá vždy hlavním dílem na charakteru součásti. Využitím této techniky na úkor konvenčních metod měření lze však obecně zredukovat čas měření až o 95 %.

V tab. 11 je tato časová úspora naznačena. Jedná se o měření vybraných prvků zvolené součásti na SMS, kde byl čas pouze přibližně určen na základě konzultace. Srovnávalo se s měřením za pomoci konvenčních metod. Toto měření bylo provedeno na specializované dílně a bylo použito vybavení jako výškoměr, zuboměr a mikrometr.

Tab. 11 Porovnání časové náročnosti měření některých prvků zvolené součásti.

Časová náročnost měření		
konvenční metody měření		měření na SMS
charakter měřeného prvku	čas t [min]	
4 průměry válce	3,1	Celková doba měření všech zmíněných parametrů na SMS 4 min.
4 délkové rozměry	2,5	
tloušťka zubu	5	
kontrola obvodového házení kola	3,5	
sražení hrany	0,9	

Vzhledem k samostatnému stopování a zapisování měřených hodnot jsou časy pouze přibližné. Čas je velkým dílem ovlivněn i zkušeností při provádění těchto úkonů měření. Pro poukázání na velkou časovou úsporu při měření na SMS jsou však tyto hodnoty dostačující.

Po jejich sečtení vyjde celkový čas měření konvenčním způsobem 15 minut. Ve srovnání se 4 minutami měření na SMS je jasné, že i měřením tohoto velmi malého počtu poměrně jednoduchých prvků lze dosáhnout velké časové úspory.

6.2 Nákladové položky chodu stroje

Následující výpočet nákladů na hodinu provozu stroje se většinou vztahuje na CNC obráběcí stroje. Vzhledem k položkám, které vztah zahrnuje, je však možné jej použít i na měřicí stroj. Nejedná se samozřejmě o zcela přesný výpočet, ale spíše o uvedení představy o výši těchto nákladů. Níže zmíněné položky lze navíc různě rozšiřovat, a to na základě znalostí příslušného provozu. Vztah by tak mohl být aplikován na celé strojní vybavení v diplomové práci uvedené. Vypočtenou hodnotu lze částečně ověřit a porovnat s hodnotou nákladů, která byla doporučena odborníkem. Výše nákladů na hodinu provozu speciálního měřicího stroje na ozubení byla doporučena jako $1200 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dále jsou uvedeny doporučené hodnoty kalkulovaných parametrů. Nejedná se tedy o přesné hodnoty od dodavatele. Cena stroje 9 000 000 Kč, náklady na instalaci stroje 28 000 Kč, náklady na demontáž 30 000 Kč, likvidační hodnota stroje 200 000 Kč, doba životnosti 8 let, efektivní časový fond stroje za rok 2 800 h a fixní hodinová sazba $700 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$.

Náklady na hodinu provozu stroje jsou stanoveny podle vztahu (6.1) [73]:

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s + N_i + N_d - L_i}{Z \cdot F_{ef}} \quad [\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6.1)$$

Kde: S_ffixní hodinová sazba [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],

C_spořizovací cena [Kč],

N_{hs}náklady na hodinu provozu stroje [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],

N_ináklady na instalaci stroje [Kč],

N_dnáklady na demontáž po skončení životnosti [Kč],

L_ilikvidační hodnota stroje po skončení životnosti [Kč],

Zdoba životnosti [r],

F_{ef}efektivní časový fond stroje za rok [h].

$$N_{hs} = 700 + \frac{9000000 + 28000 + 30000 - 200000}{8 \cdot 2800} = 1095 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$$

Konzultované náklady na hodinu provozu stroje byly $1\,200 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$, vypočtená hodnota je $1095 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$. Vzhledem k odhadu jednotlivých parametrů se jedná o solidní výsledek. Lze tak usoudit, že skutečné náklady na hodinu provozu zvoleného SMS budou přesahovat $1000 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dalším důležitým aspektem, jež nezanedbatelně ovlivňuje náklady na provoz stroje, je spotřeba elektrické energie. Ta lze určit na základě znalosti celkového příkonu stroje a aktuální ceny za 1 kWh elektřiny. Hodnota této spotřeby by však neměla dosahovat tak vysokých hodnot, jak tomu je u CNC obráběcích strojů.

6.3 Náklady na nákup měřicího vybavení

V této části je uveden souhrn základních finančních prostředků potřebných pro zavedení SMS do výroby. Ceny jsou voleny na základě údajů z katalogů společnosti Renishaw plc. Cena stroje byla zvolena na základě konzultace s odborníkem. V ceně dotyků a prodlužovacích nástavců jsou zahrnuty náhradní kusy. V případě detailního přehledu by bylo nutné zmínit i další náklady, které vznikají při zavedení SMS do výroby. Jde například o výdaje za: elektrickou energii, licenci využívaného softwaru, plat obsluhy stroje či za náhradní sondu pro případ její poruchy. Dané náklady jsou uvedeny v tab. 12, pro srovnání jsou uvedeny i ceny konvenčních měřidel potřebných pro měření výše zmíněných parametrů zvolené součásti.

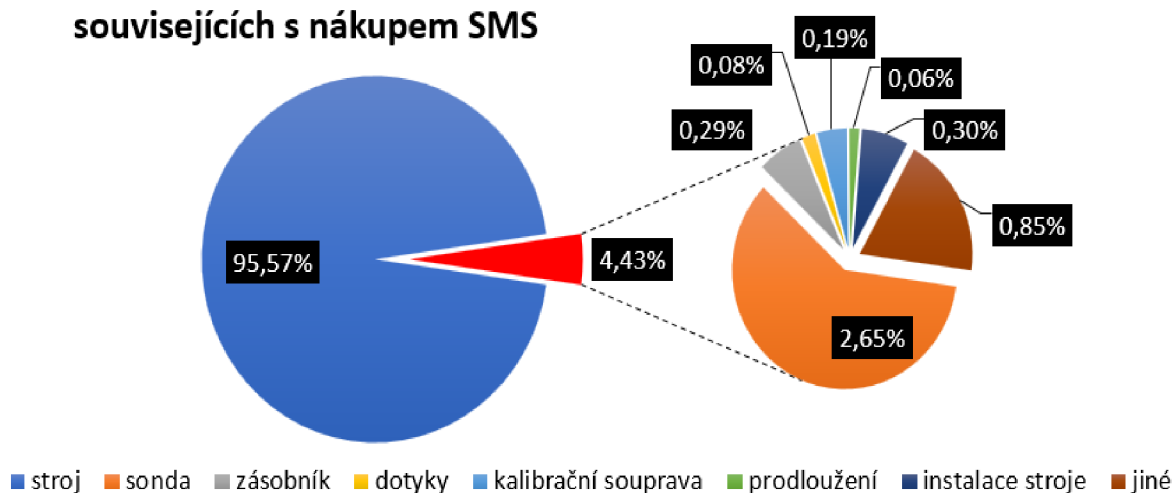
Tab. 12 Porovnání nákladů na nákup měřicího vybavení.

Přehled základních nákladů na nákup měřicího vybavení			
měření na SMS		konvenční způsob měření	
položka	cena [Kč]	položka	cena [Kč]
cena stroje	9 000 000	digitální mikrometr	4 200
skenovací sonda	250 000	třmenový mikrometr, vyměnitelné dotyky	4 600
zásobník dotyků	27 000	měrka pro měření sražených hran	5 200
dotyky	8 000	výškoměr	22 000
kalibrační souprava	18 000	zuboměr	11 400
prodlužovací nástavce	6 000	posuvné měřítko digitální	2 300
instalace stroje	28 000	přístroj na kontrolu obvodového házení	30 000

Je patrné, že se jedná o nezanedbatelné prostředky, jejichž investici je nutné dopředu velmi dobře promyslet. Správné řízení investic představuje nejdůležitější úkol dobře fungující firmy. Důsledkem špatného rozhodnutí u tak vysokých nákladů může být i její bankrot.

V grafu 1 je procentuální znázornění, představující přehled základních finančních prostředků potřebných k pořízení SMS. Lze vidět, že samotná cena stroje přesahuje 95 % a ze zbylých 4,43 % tvoří hlavní část nákup skenovací sondy. Z toho lze snadno vyvodit například potřebu nákupu náhradních dílů zvoleného příslušenství pro případ jeho poškození. Odstavení stroje a čekání na nový kus by bylo finančně velmi nevýhodné

Procentuální vyjádření nákladů souvisejících s nákupem SMS



Graf 1 Procentuální vyjádření nákladů souvisejících s nákupem SMS.

Diplomová práce je zaměřena především na posouzení a porovnání variant měření na SMS s konvenčními metodami měření. Na škodu by v návaznosti na tuto problematiku nebylo posouzení měření sondou přímo na CNC obráběcím stroji. Velkou výhodou této varianty je, že kompletní proměření může proběhnout již při upnutí součásti v obráběcím stroji a při neshodě rozměrů je možnost její okamžité opravy.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zpracování přehledu možností automatického měření v sériové výrobě, zvláště pak měření na souřadnicových měřicích strojích. Druhou částí řešené problematiky byl postup výroby a měření zvolené součásti vyráběné sériově v automatické obráběcí lince.

První část diplomové práce se zabývá způsoby měření strojírenských výrobků prováděných zejména na SMS a CNC obráběcích strojích. Jsou uvedeny jak dotykové, tak i bezdotykové metody. Příkladem bezdotykových metod jsou nástrojové bezkontaktní sondy či zařízení pro laserové skenování součástí. Principy měření pomocí konvenčních měřidel jsou zpracovány vzhledem k zaměření diplomové práce na automatizaci pouze v přílohách 1-7. Byly zde charakterizovány následující oblasti:

- dělení automatizovaných měřicích zařízení (SMS, sondy pro CNC stroje),
- základy průběhu měření na SMS,
- konstrukce SMS (vedení, stůl, pinola aj.),
- příslušenství SMS (měřicí software, zařízení pro upnutí obrobku aj.),
- koncepce SMS (mostová, výložníková, speciální aj.),
- princip funkce měřicích sond,
- snímací technologie (princip kinematických a tenzometrických sond),
- způsoby bezdotykového měření (laserové skenování aj.).

Dále je zohledněn vliv teploty a prostředí na měřicí zařízení a měření jako takové. SMS už dávno nejsou zařízení schopná pracovat pouze v laboratorním prostředí. Pro účely sériové výroby je nutná jejich přítomnost přímo v obráběcí lince a schopnost bojovat s nepříznivými vlivy dílenského prostředí, mezi které se řadí například kolísající okolní teplota a vibrace. Běžně požadovaný pracovní rozsah teplot činí 20 ± 2 °C. V případě odchylky od této hodnoty se používá koeficient teplotní kompenzace, který závisí na materiálu. Teplotu součásti je možné změřit přímo na stroji pomocí teplotních čidel nebo ručně. Stroj provádí algoritmy teplotní kompenzace v reálném čase. Řeší se i problematika měřicích dotyků, které představují část měřicího systému, jež zprostředkovává kontakt se součástí a zajišťuje prvotní přenos informace. Volba vhodného dotyku je poměrně složitá záležitost, je nutné zvážit celou řadu parametrů a doporučení.

V druhé části diplomové práce proběhla volba vzorové součásti. Jedná se o hřídel s ozubením z ruční elektrické podbíječky. Vzhledem k tomu, že není znám přesný materiál, byla vhodným materiálem zvolena ocel dle ČSN 41 4220. Dále je vypracován výkres a technologický postup součásti. Pro tyto účely proběhla i volba a výpočet vhodného polotovaru. Byl navrhnut přířez z tyče válcované za tepla Ø35-228,5 ČSN EN 10060. Hmotnost hotové součásti je 0,724 kg. Vzhledem k vypočtenému koeficientu využití materiálu, který činí necelých 42 %, což ještě leží v dolní hranici praxí přípustného intervalu, bylo s tímto polotovarem i dále kalkulováno. Volba obráběcích strojů i nástrojů proběhla na základě požadavku výroby v automatizované lince. Byly tak zvoleny moderní CNC stroje, od automatizované pásové CNC pily až po CNC brusku. Na základě toho byl zhotoven i nástrojový list s 8 nástroji. V poslední fázi byly určeny řezné podmínky na základě: doporučených řezných podmínek uvedených v katalozích nástrojů, výpočtů a následné optimalizace z důvodu omezení vybraného strojního vybavení.

Další část se zabývala popisem samotného měření. Po konzultaci byl jako vhodný vybrán speciální SMS s označením WGT 280 od společnosti Wenzel Group, který mnohem lépe splňuje požadavky pro měření ozubení než klasické SMS. Součástí je ve stroji upnuta pomocí trnu, přičemž hlava s dotykem je umístěna na sloupu stojícím vedle trnu a nasměrována kolmo k ose měřené součásti. Pro měření je zvolena analogová skenovací sonda SP600M od společnosti Renishaw plc. Stroj je obsluhován pomocí rozsáhlého modulárního měřicího softwaru TMain. Pro zvolenou součást byl jako vhodný zvolen modul TShaft. Celý program pro měření a vyhodnocení výsledků lze automaticky generovat na základě vstupních parametrů popisujících geometrii součásti. Cyklus měření může být následně realizován automaticky bez nutnosti zásahu obsluhy.

Součástí řešené problematiky je i stručné technicko-ekonomické zhodnocení, ve kterém jsou rozebrány probírané metody měření, především z časového a finančního hlediska. Srovnáváno je měření na SMS a měření za pomoci konvenčních měřidel. Je patrné, že zavedení SMS do automatické výrobní linky zajistí vysokou rychlost měření a vyhodnocování výsledků. Na druhou stranu je třeba vzít do úvahy vysoké náklady na pořízení a provoz daného zařízení a prostředků s tím spojených. Očekává se však, že se tyto náklady po čase díky mnohem vyšší produktivitě měření vrátí. Na tuto problematiku by mohlo navázat srovnání zmíněných hledisek při měření pomocí sond přímo na CNC obráběcím stroji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. *Strojírenská metrologie II*. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
2. ELUC. *Měření a kontrola strojních součástí*. [online], [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1888>
3. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2005 / 6, 15.06.2005 v rubrice Trendy / Měření, Strana 18. Čeněk Nenáhlo, Česká metrologická společnost. [online], [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/strojirenska-merici-technika.html>
4. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2003 / 6, 18.06.2003 v rubrice Trendy / Měření, Strana 20. [online], [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-strojirenske-merici-techniky.html>
5. ELUC. *Měření komparační*. [online], [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1892>
6. ELUC. *Měření přímé*. [online], [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1891>
7. BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.
8. ELUC. *Souřadnicové měřicí stroje*. [online], [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1111>
9. Mitutoyo Česko s.r.o. *Souřadnicové měřicí stroje*. [online], [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2609_Mitutoyo_KMG.pdf
10. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2011 / 3, 16.03.2011 v rubrice Trendy / Měření, Strana 42. [online], [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>
11. WHP TECHNIK s.r.o. *Měřicí stroje souřadnicové*. [online], [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.whp.cz/merici-stroje-souradnicove.html>
12. TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie. Část I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2004. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
13. POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. 76 s. ISBN 80-7083-326-2.
14. Mitutoyo Česko s.r.o. *Katalog měřicích přístrojů 2017–2019*. ©Mitutoyo 06/2017. 636 s.
15. Nano Metrology Co., Ltd. *CMM Environment Conditions*. [online], [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.cmm-nano.com/info/cmm-environment-conditions-1188264.html>
16. WEI HONG PRECISION INSTRUMENT. *The effect of temperature for Coordinate Measuring Machine*. [online], ©2013 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.whcmm.com.tw/en/%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%94%AF%E6%8F%B4/effect-temperature-coordinate-measuring-machine>

17. Hexagon Metrology. *DEA GLOBAL Silver*. [online], ©2011 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.aquadem.cz/wp-content/uploads/2018/02/DEA-GLOBAL-Silver.pdf>
18. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. *Stanovení koeficientu teplotní roztažnosti*. [online], [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP1_lab_08.pdf
19. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
20. Renishaw plc. *Upínací přípravky Renishaw: upínání dílců na souřadnicových měřicích strojích*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky-renishawupinani-dilcu-na-souradnicovych-mericich-strojich--20993>
21. Kalibrační laboratoř Zindler. *Upínací sada ECO-FIX L*. [online], [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.klz.inshop.cz/k551049-upinaci-sada-eco-fix-l-se-zakladni-deskou-500x400-mm-98-dilu>
22. Nikon Metrology NV. *LK V-GP High accuracy gantry CMM*. [online], ©2017 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.nikonmetrology.com/en-gb/product/high-accuracy-gantry-cmm>
23. Nikon Metrology NV. *ALTERA SL High-speed scanning bridge CMM*. [online], ©2017 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.nikonmetrology.com/en-gb/product/altera-sl-high-speed-scanning-bridge-cmm>
24. Automated Manufacturing Inc. *CMM Inspection*. [online], [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <https://www.automatedmfginc.com/cmm-inspection-software>
25. Renishaw plc. *Doteky a příslušenství*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/19af14f819b14b87a64966a37be3a90e.pdf>
26. Renishaw plc. *Na špičce – průvodce výběrem doteku pro CMM*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/na-spicece-pruvodce-vyberem-doteku-pro-cmm--10927>
27. Renishaw plc. *Doteky pro měření*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/doteky-pro-mereni--6628>
28. Renishaw plc. *Typy doteků*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/typy-doteku--6627>
29. Renishaw plc. *Technologie nástrojových sond*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/technologie-nastrojovych-sond--32934>
30. Pro-control. *Válcový dotek, závit M2*. [online], ©2018 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.pro-control.cz/valcovy-dotek--zavit-m2>
31. Renishaw plc. *Materiály*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/materialy--6423>

32. Renishaw plc. *Brožura: RMP60 obrobková sonda s radiovým přenosem signálu*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/68c420189e65469c839a5bfe20f3d3ff.pdf>
33. Renishaw plc. *Snímací systémy pro CNC obráběcí stroje*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/652050b1403b4ea2927d69c8643876c6.pdf>
34. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2003 / 5, 21.05.2003 v rubrice Trendy / Obrábění, Strana 33. [online], [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-mereni-na-obrabecich-strojich.html>
35. Technology-support s.r.o. *Proč měřit na CNC obráběcích stroji?* [online], ©2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/proc-merit-na-cnc-obrabecim-stroji-3>
36. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2008 / 5, 12.05.2008 v rubrice Výroba / Měření, Strana 58. [online], [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snimaci-technologie.html>
37. Renishaw plc. *Technologie obrobkových sond*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/technologie-obrobkovych-sond--32933>
38. Renishaw plc. *Technický článek: OMP400 – Tenzometrická sonda*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://resources.renishaw.com/cs/details/technicky-clanek-omp400-tenzometricka-sonda--19529>
39. Renishaw plc. *Brožura: Proč si vybrat RENGAGE™?* [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://resources.renishaw.com/cs/details/brozura-proc-si-vybrat-rengage--61430>
40. Renishaw plc. *Renishaw's non-contact laser tool setting technology*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: [http://resources.renishaw.com/en/details/\(TE511\)+Renishaw's+non-contact+laser+tool+setting+technology\(32426\)](http://resources.renishaw.com/en/details/(TE511)+Renishaw's+non-contact+laser+tool+setting+technology(32426))
41. PERNIKÁŘ, Jiří, Josef VAČKÁŘ a Miroslav TYKAL. *Jakost a metrologie. Část: metrologie*. Brno: CERM s.r.o., 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
42. NAVRÁTIL Robert, *Technologie skenování ve 3D*. [online], [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
43. Nikon Metrology NV. *LC15Dx - Closing the gap with tactile probe accuracy*. [online], ©2017 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.nikonmetrology.com/en-gb/product/lc15dx>
44. VKV Praha s.r.o. [online], ©2012 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.vkvpraha.cz/>
45. Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava. *Mechanizace a provádění železničních staveb (ČÁST I)*. [online], ©2009 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/140>

46. Wikipedie. *Podbiječka*. [online], [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Podb%C3%ADje%C4%8Dka>
47. JKZ Bučovice, a.s. *16MnCr5*. [online], [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrucni-oceli/csn-14-220-17131-16mncr5/>
48. VUT FSI, ÚST. *Ocel 14 220*. [online], [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_14220.pdf
49. Knifecz. ČSN 41 4220. [online], [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.knife.cz/DesktopModules/YetAnotherForumDotNet/resource.ashx?a=27759>
50. KOCMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. *Ročníkový projekt II – obrábění*. [online], 2002. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
51. PILOUS. *ARG 330 CF-NC AUTOMAT*. [online], ©2016 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/cnc-automaty/arg-330-cf-nc-automat>
52. TST Servis, a.s. *SBL 300 CNC*. [online], [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.tstservis.cz/obrabeci-stroje/soustruhy/cnc-soustruhy/sbl-300-cnc/>
53. ISCAR LTD. [online], ©2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/index.aspx/countryid/1>
54. Sandvik Coromant. *T-Max P shank tool for turning*. [online], [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/Pages/productdetails.aspx?c=dwlnr%202525m%2008>
55. Stimzet. *Středicí vrtáky a navrtáváky*. [online], [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/csn221110_cz.html
56. Dormer Pramet. [online], [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/Pages/default.aspx?country=cz>
57. SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a. s. *Frézky OFA 75 CNC 6*. [online], [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/frezky/ofa-75-cnc-6.aspx>
58. KASIKTOOLS s.r.o. *Odvalovací frézy*. [online], [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.kasiktools.cz/cz/nase-nabidka/odvalovaci-frezy>
59. Strojimport a.s. *Brusky hrotové univerzální*. [online], [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.strojimport.cz/produkty/produktybrusky/produktyproduktybruskybruskyhrotove-univerzalni/>
60. Gearspect Group a.s. *Odvalovací Brusky na ozubení*. [online], [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.gearspect.com/cz/gcm/ggm/sbo340.html>
61. ELUC. *Volba brousícího kotouče*. [online], [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1258>
62. TYROLIT. *Odvalovací broušení*. [online], [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.tyrolit.cz/oblasti/obrabeni-kovu-precizni-brouseni/druhy-pouziti/brouseni-ozubnych-kol/odvalovaci-brouseni.html>

63. Brusivo Jimi. *Brusné kotouče ploché*. [online], ©2018 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.brusivojimi.com/brusne-kotouce-ploche/100x10x20-a99b60k9v-415850-detail>
64. ELUC. *Tvar brusných kotoučů*. [online], [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1256>
65. Dormer Pramet. *Příručka obrábění*. [online], 2004 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrabeni.pdf
66. System 3D. *Gear measuring machines WGT 280 - WGT 3000*. [online], ©2012 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: http://system3d.eu/en/strona/480/wgt280_wgt3000_en?PHPSESSID=0896f6b864f8ae65e57f02120d8a8c3a
67. Wenzel America, LTD. *Top Class Gear Metrology*. [online], ©2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.tespaIndia.com/pdf/GearTec-WGT-Brochure.pdf>
68. Renishaw plc. *SP600*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/sp600--6687>
69. Wenzel America, LTD. *TGear inspection software*. [online], ©2017 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.wenzelamerica.com/product/tgear-gear-inspection-software/>
70. PETŘKOVSKÁ, L. Technická měření a metrologie – teoretický základ, Prezentace: *Souřadnicové měřicí stroje*. [online], VŠB Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz>
71. Slideplayer. *Příprava plánu měření pro přírubu*. [online], ©2018 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3084428/>
72. Renishaw plc. *Kalibrační koule*. [online], ©2001-2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/kalibracni-koule--6677>
73. PROKOP, J. *TECHNOLOGICKÉ-EKONOMICKÉ ASPEKTY PROVOZU CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ*. Prezentace, VUT Brno, 2014.
74. SŠ – COPT. *Mikrometrická měřidla*. [online], [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=31461&revision=-1&instance=2>
75. Meridla-nastroje. *Mikrometrická měřidla*. [online], ©2012 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.meridla-nastroje.cz/meridla/mikrometricka-meridla/>
76. ELUC. *Mikrometrická měřidla*. [online], [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1079>
77. ELUC. *Posuvná měřidla*. [online], [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1078>
78. SŠ – COPT. *Posuvná měřidla*. [online], [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=29782&revision=-1&instance=2>
79. ČECH, Jaroslav, Libor JANÍČEK a Jiří PERNIKÁŘ. *Strojírenská metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 189 s. ISBN 80-214-2252-1.
80. WHP TECHNIK s.r.o. *Úchylkoměry*. [online], [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.whp.cz/digitalni-a-analogove-uchylkomery.html>

81. ELUC. *Délkoměry*. [online], [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1084>
82. UNIMETRA spol. s r.o. *Katalog produktů*. [online], ©2018 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/>
83. PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. *Délkoměry STEINMEYER*. [online], ©2014 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/delkomery/>
84. ELUC. *Měření kalibry*. [online], [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1893>
85. SŠPU Opava. *Kalibry*. [online], [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/sablony/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-10.pdf
86. WHP TECHNIK s.r.o. *Kalibry*. [online], [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.whp.cz/kalibry.html>
87. Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice, příspěvková organizace. *Mezní kalibry*. [online], [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_3_SPU-meridla-mezni_kalibry_uchylkomery_uhly_rovinnost.pdf
88. ELUC. *Využití měrek*. [online], [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1896>
89. TM Technik s.r.o. *Katalog cz MICROTECH, Měřicí přístroje 2017-2018*. 38 s.
90. ELUC. *Měření vnějších rozměrů*. [online], [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1894>
91. Pražské tramvaje. *Strojní podbíječky v pražských ulicích*. [online], [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2006041009>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	Počítačem podporované navrhování (computer-aided design)
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače (computer numerical control)
DXF	Výměnný formát dat (data exchange format)
EP 2	Typ ruční elektrické podbíječky
HB	Tvrдость podle Brinellovy stupnice
HDMI	Digitální rozhraní používané mezi zdrojem audio a video signálu a kompatibilním zobrazovacím zařízením (high definition multimedia interface)
HSS	Rychlořezná ocel (high speed steel)
HSS-M42	Rychlořezná ocel s obsahem kobaltu
IGES	Výměnný formát dat (Initial Graphics Exchange Specification)
IT	Značení stupně přesnosti
Plc.	Public limited company
PC	Osobní počítač (personal computer)
Rengage	Technologie měření některých sond společnosti Renishaw plc.
SMS	Souřadnicový měřicí stroj
SMS ALTERA SL	Označení typu mostového měřicího stroje
SMS DuraMax	Označení typu výložníkového měřicího stroje
SMS LK V-GP	Označení typu portálového měřicího stroje
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
TMain	Měřicí software
TShaft	Modul programu TMain
TStylus	Část měřicího programu TMain určená pro definici snímačů
VBD	Vyměnitelná břitová destička
VDA	Výměnný formát dat (Vereinbarte Deutsche Automobilindustrie)
WC	Splachovací toaleta (water closet)
µm	Jednotka mikrometr
°C	Celsiův stupeň
3D	Třírozměrný (3-Dimension)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
D_0	[mm]	Průměr polotovaru
$d_{s \max}$	[mm]	Největší průměr zvolené součásti
f_{\min}	[mm · min ⁻¹]	Minutový posuv
f_{ot}	[mm · ot ⁻¹]	Posuv na otáčku
f_z	[mm · zub ⁻¹]	Posuv na zub
k_m	[%]	Koeficient využití materiálu
l_0	[mm]	Délka polotovaru
l_{\max}	[mm]	Celková délka součásti
l_u	[mm]	Šířka prořezu
$l_{tyč}$	[m]	Délka tyče
m_{sou}	[kg]	Hmotnost hotové součásti
$m_{tyč}$	[kg]	Hmotnost tyče
n	[-]	Počet přířezů z jedné tyče
p_d	[mm]	Přídavek na průměr
p_l	[mm]	Přídavek na délku
v_c	[m · min ⁻¹]	Řezná rychlost
z	[-]	Počet zubů
ρ	[kg · m ⁻³]	Hustota materiálu
$\bar{\alpha}$	[K ⁻¹]	Střední koeficient teplotní délkové roztažnosti
Δt	[K]	Změna teploty

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Mikrometrická měřidla
Příloha 2	Posuvná měřidla
Příloha 3	Úchylkoměry
Příloha 4	Délkoměry
Příloha 5	Mezní kalibry
Příloha 6	Koncové měrky
Příloha 7	Pasametry
Příloha 8	Příklad novějších typů podbíječek
Příloha 9	Výkres zvolené součásti
Příloha 10	Technologický postup součásti
Příloha 11	Pásová pila ARG 330 CF-NC AUTOMAT
Příloha 12	Parametry CNC soustružnického centra SBL 300 CNC
Příloha 13	Technické parametry frézky OFA 75 CNC 6
Příloha 14	Technické parametry brusky BUB E CNC
Příloha 15	Parametry skenovací sondy SP600M

PŘÍLOHA 1

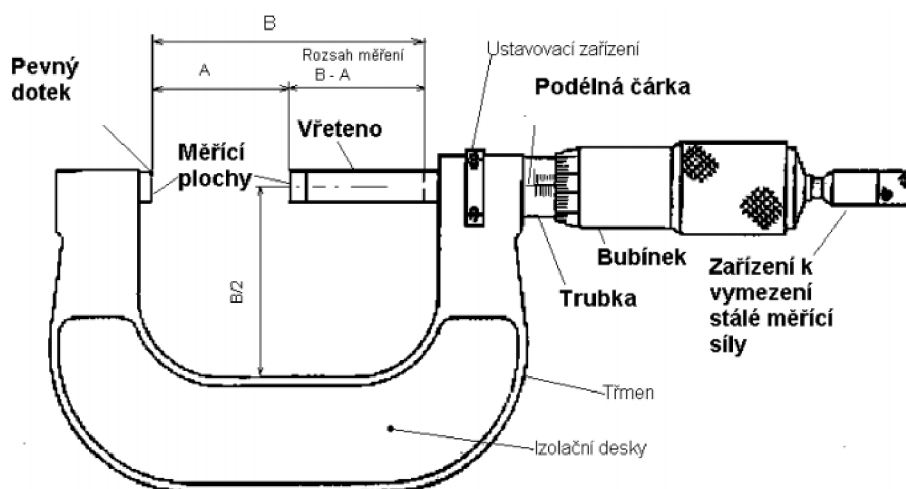
Mikrometrická měřidla

Mikrometrická měřidla jsou přístroje umožňující měření vnějších i vnitřních rozměrů. Měřicím prvkem je mikrometrický šroub délky nejčastěji 25 mm (měřicí rozsah), který má stoupání 0,5 mm, případně 1 mm (posun měřicího dotyku na 1 otáčku měřícího bubínku). Maximální úchylka stoupání závitu je $\pm 3 \mu\text{m}$ [74].

Stálý tlak pohyblivého dotyku na součást zajišťuje spojka s pružinou. Speciálního provedení dotyků mikrometrických měřidel lze využít například při měření: drážek, osazení, ozubení, nástrojů se třemi nebo s pěti břity, tloušťky stěn trubek, ložisek, závitů aj. [75].

Mikrometrická měřidla mohou mít různá provedení lišící se měřicím rozsahem, tvarem dotyků apod. Řadí se mezi ně třmenové mikrometry, mikropasametry, mikrometrické hloubkoměry, mikrometrické odpichy, dutinoměry, speciální mikrometry a další [76].

Jedním ze základních zástupců jsou třmenové mikrometry, které se používají pro měření vnějších rozměrů. Jsou konstruovány pro různé měřicí rozsahy a jsou odstupňované po 25 mm (0–25, 25–50, 50–75, 75–100, 100–125 atd.) [mm] [76]. Jejich konstrukce a hlavní části jsou znázorněny na obr. 52.



Obr. 52 Konstrukce a části třmenového mikrometru [74].

Odečet naměřených dat je závislý na druhu mikrometrického měřidla. Dělí se na analogová a digitální. U analogových je podélná stupnice mikrometru dělena po 0,5 mm, otočný bubínek má 50 dílků. Při otočení bubínku o 1 dílek se posune měřicí dotyk o 0,01 mm. Digitální mikrometrická měřidla jsou vybavena elektronickým odměřovacím systémem. Hodnota číslicového kroku je 1 μm . Digitální přístroje umožňují vynulování v jakékoliv poloze, ukládání naměřených hodnot a výstup dat na počítač za účelem dalšího zpracování [76].

Posuvná měřidla





Posuvná měřidla představují rozsáhlou skupinu jednoduchých měřidel, sloužících k přímému měření délkových rozměrů a to vnějších, vnitřních i hloubek. Řadí se mezi ně posuvná měřítka, posuvné hloubkoměry, posuvné výškoměry a posuvná měřítka speciální jako jsou například zuboměry. Naměřená hodnota je odečtena ze stupnice s noniem, z kruhového číselníku, případně za pomoci digitálního odměrování [77]. Porovnání posuvných měřidel je uvedeno v tab. 13.

Nejběžnějším druhem posuvných měřidel je posuvné měřítko – posuvka (obr. 53). Jde o nejrozšířenější dílenská měřidla v průmyslové výrobě. Jsou vysoce univerzální, slouží k měření průměrů hřídelí a děr, vzdáleností, roztečí a hloubek, k měření geometrických úchylek aj. V případě měřítka s noniem je na pevné části měřidla milimetrová stupnice a na posuvné části přesná noniová stupnice. Nonius umožňuje odečítání s přesností 0,1 mm, 0,05 mm nebo 0,02 mm – dle typu noniové stupnice. Běžným posuvným měřítkem můžeme měřit rozměry do 150 mm, jsou však i posuvná měřítka s větším rozsahem [7, 77, 78, 79].



Obr. 53 Digitální posuvné měřítko společnosti Mitutoyo [14].

Tab. 13 Přehled posuvných měřidel [14, 77, 78].

Druh posuvného měřidla	využití	základní informace	schéma
posuvná měřítka	měření vnějších a vnitřních rozměrů včetně hloubek	princip dvou po sobě vzájemně posuvných částí	
posuvné hloubkoměry	měření hloubek děr a osazení	větší jistota a přesnost než hloubkoměr posuvného měřítka	
posuvné výškoměry	slouží k orýsování a k měření výšek	stupnice je nastavitelná na nulu, součástí je rýsovací jehla	
zvláštní druhy (zuboměr aj.)	posuvný zuboměr – pro měření tloušťky zubu ozubených kol	cena je vysoká z důvodu složité a drahé výroby	

Úchylkoměry

Úchylkoměry (obr. 54) se využívají při zjišťování odchylek tvaru a polohy v měřicích přípravcích a ke kontrole házivosti. Úchylkoměr tedy neměří absolutní délku, ale rozdíl od výchozí nastavené hodnoty. Rozlišení může být setina nebo i tisícina milimetru. Rovněž jsou ideálním pomocníkem k ustavování nebo středění obrobků na strojích [79, 80].

Jejich základní dělení je na úchylkoměry číselníkové, digitální a páčkové. Rozdíly jsou především v přesnosti, délce dotyku či páčky a ve způsobu upnutí. Někdy bývají úchylkoměry součástí dalších měřidel (tloušťkoměry materiálu, hloubkoměr s úchylkoměrem aj.) [79, 80].



Obr. 54 Vlevo číselníkový, vpravo digitální úchylkoměr společnosti Mitutoyo [14].

Délkoměry

Délkoměry patří k nejdůležitějším přístrojům pro nastavování a kalibraci délkových měřidel v metrologických laboratořích. Používají se pro přesné měření na výrobcích, ke kalibraci měřidel (válečkových kalibrů, závitových kroužků, závitových trnů, číselníkových úchylkoměrů aj.). Starší délkoměry byly mechanické, v současné době jsou délkoměry vybaveny inkrementálními odměřovacími systémy a periferními zařízeními (PC, tiskárna apod.) [81, 82]. Příklad moderního délkoměru je na obr. 55.



Obr. 55 Univerzální délkoměr LM 300.01 [83].

Mezní kalibry

Důvodem využití kalibrů (obr. 56) je zrychlit průběh měření, a to při sériové i hromadné výrobě. K danému rozměru určité velikosti se musí pořídit kalibr právě na tento rozměr a s předepsanou tolerancí. Není to měřidlo univerzální. Kalibrem se vyhodnotí, zda je rozměr vyroben správně nebo nesprávně a jedná se tedy o neshodný díl. Kalibr má přesně vyhotovené dva rozměry. Jeden z rozměrů bývá označen červenou barvou (případně může být opatřen zápichem) a nazývá se „zmetková strana“. Druhý rozměr se nazývá „dobrá strana“. Kalibry se vyrábí ve 2 variantách a sice pro měření vnitřních nebo vnějších tvarů a rozměrů. Základním pravidlem měření je, že se obě strany kalibru nasouvají na měřený rozměr nebo do něj. Pokud rozměr vyhovuje, musí jít dobrá strana kalibru nasunout v celém rozsahu a druhá strana nesmí jít nasunout [7, 84, 85, 86]. Princip měření je zjednodušen vtab. 14.

Kalibry se využívají například při měření: délek na obrobku, drážek, průměru kruhového profilu, průměru děr, závitů vnějších i vnitřních. V některých případech, zejména při kontrole závitů v dílenském prostředí, představuje kontrola mezním kalibrem často jediný způsob, jak se racionálně a ekonomicky přesvědčit o kvalitě vyráběného závitu [84, 87].

I přes to, že tvary a rozměry mezních kalibrů nepodlehly řadu let žádných podstatným úpravám, přesto dochází v některých případech k výrazným změnám. Například dánská firma Leitech U.S. Limited vyrábí mezní závitové kalibry pro kontrolu matic, které mohou navíc měřit hloubku závitové díry [3].

Tab. 14 Princip měření mezním kalibrem [85].

zmetková strana	dobrá strana	kontrolovaný rozměr
nejde nasunout	jde nasunout	vyhovuje
jde nasunout	jde nasunout	neopravitelný neshodný díl
nejde nasunout	nejde nasunout	opravitelný neshodný díl



Obr. 56 Válečkový kalibr pro kontrolu rozměru 20H8 [84].

Koncové (základní, Johansonovy) měrky

Koncové měrky (obr. 57) usnadňují kontrolu rozměrů svým jednoduchým provedením. Uplatňují se jako vtažný a pracovní etalon pro měření délek, k nastavování a ke kontrole měřicích přístrojů, měřidel, přípravků a pro přesné měření při seřizování délkových měřicích zařízení. Používají se jednotlivě nebo jako kombinace měrek sestavených do bloků. Mohou být vyrobeny z různých materiálů. Příkladem jsou ocelové, keramické či měrky tvrdokovové. Vyrábí se ve 4 třídách přesnosti [7, 14, 88].



Obr. 57 Vlevo sada měrek, vpravo jednotlivé koncové měrky [14].

Pasametry

Pasometr je porovnávací měřidlo, které měří odchylky od nastaveného rozměru. Někdy se řadí mezi speciální nebo přesné mikrometry. Přesnost měření dosahuje jedné tisícin milimetru. V zásadě se jedná o mikrometr s vestavěným číselníkovým úchylkoměrem. Většinou se vyrábějí do rozsahu 150 mm v 6 velikostech. Jsou odstupňovány po 25 mm. Na rozdíl od klasických mikrometrů jsou oba jejich dotyky pohyblivé [89, 90]. Typický vzhled pasometru je znázorněn na obr. 58.



Obr. 58 Pasometr společnosti Microtech CZ s.r.o. [89].

Příklad novějších typů podbíječek

- lehké strojní podbíječky – Příkladem jsou podbíječky firmy Plasser & Theurer UNIMA 3 (obr. 59) a Minima II (obr. 60) [45, 91].



Obr. 59 Podbíječka UNIMA 3 [45].



Obr. 60 Podbíječka Minima II [91].

- střední automatické strojní podbíječky – Příkladem zařízení střední kategorie je podbíječka ASP 401 (obr. 61) [45].



Obr. 61 Podbíječka ASP 401 [45].

- těžké strojní podbíječky – Skupina podbíječek větších velikostí a hmotností, které se liší rozvorem, typem podbíjecích agregátů a výbavou. Řadí se sem traťová podbíječka Plasser 08-32 SP (obr. 62) [45].

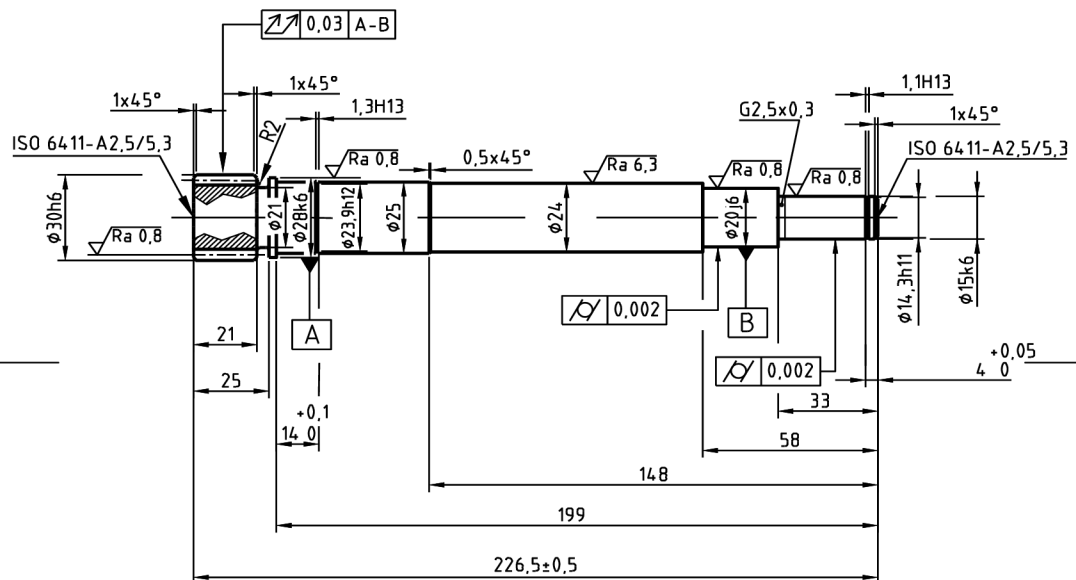


Obr. 62 Podbíječka Plasser 08-32 SP [45].

PŘÍLOHA 9

Výkres zvolené součásti

Modul	m	2
Počet zubů	z	13
Normální základní profil	-	ČSN 01 4607
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	-
Smysl stoup. boční křivky zubu	-	-
Jednotkové posunutí	x	-
Stupeň přesnosti podle	-	8-C ČSN 01 4682
Průměr základní kružnice	d_b	24,43
Průměr roztečné kružnice	d	26
Průměr patní kružnice	d_f	21



CEMENTOVAT DO HL. 0,4-0,6
KALIT NA HRC 58-62

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓)	Hrany: $\begin{matrix} \swarrow -0,3 \\ \searrow +0,3 \end{matrix}$	Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 MK Tolerování ISO-8015 Promítání $\left[\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \right]$
Materiál 14 220	Polotovár Ø35-228,5 ČSN EN 10060	Hmotnost 0,724 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE FSI VUT v Brně	Druh dokumentu VÝKRES_SOUČÁSTI	Název OZUBENA_HRIDEL	
	Kreslil FÚSEK_JAKUB	Číslo dokumentu 1_A4_2018/15/3	
	Schválil		
	Datum vydání 2018-03-15		List /

PŘÍLOHA 10 – 1/4

Technologický postup součásti

VUT v Brně, FSI		Vyhotovil: Fúsek Jakub					
Ústav strojírenské technologie		Datum: 08.05.2018					
Technologický postup							
Název součásti: ozubená hřídel				Materiál: 14 220			
Číslo výkresu: P10				Polotovár: Ø35-228,5 ČSN EN 10060			
č. op.	pracoviště (stroj)	popis práce	výrobní nástroje, měřidla	řezné podmínky			
				v _c	f	a _p	i
01/14	Pásová pila ARG 330 CF 05957	Upnout, řezat tyč na délku 228,5 ± 0,5	T1	60			
02/14	OTK 09863	Kontrolovat délku 228,5 ± 0,5 četnost 10 %	Digitální posuvné měřítko 0-250 mm				
03/14	Soustružnické centrum SBL 300 CNC 34125	Upnout součást do sklíčidla za libovolnou stranu, dorazit na čelo	Digitální posuvné měřítko 0-250 mm				
		Zarovnat čelo na délku 227,5 ± 0,5	T2	220	0,3	1	1
		Navrtat středící důlek ISO 6411 - A2,5/5,3	T3	18	0,04		2
		Otočit součást, upnout do sklíčidla, dorazit na čelo	Digitální posuvné měřítko 0-250 mm				
		Zarovnat čelo na délku 226,5 ± 0,5	T2	220	0,3	1	1
		Navrtat středící důlek ISO 6411 - A2,5/5,3	T3	18	0,04		2

Technologický postup součásti

04/14	OTK 09863	Kontrolovat délku $226,5 \pm 0,5$ četnost 20 %	Digitální posuvné měřítka 0-250 mm				
05/14	Soustružnické centrum SBL 300 CNC 34125	Upnout součást mezi hroty					
		Hrubovat: $\varnothing 35$ na $\varnothing 31 \pm 0,3$; $\varnothing 31 \pm 0,3$ na $\varnothing 29 \pm 0,3$ v délce 205,5; $\varnothing 29 \pm 0,3$ na $\varnothing 26 \pm 0,3$ v délce 199; $\varnothing 26 \pm 0,3$ na $\varnothing 21 \pm 0,3$ v délce 58, $\varnothing 21 \pm 0,3$ na $\varnothing 16 \pm 0,3$ v délce 33	T2	220	0,25	3	2
		Srazit hranu $1 \times 45^\circ$; soustružit na čisto $\varnothing 16 \pm 0,3$ na $\varnothing 15,3$ v délce 33, $\varnothing 21 \pm 0,3$ na $\varnothing 20,3$ v délce 58; dokončit $\varnothing 26 \pm 0,3$ na $\varnothing 24$ v délce 148; srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$; dokončit $\varnothing 26 \pm 0,3$ na $\varnothing 25$ v délce 199 srazit 2x hranu $1 \times 45^\circ$; soustružit na čisto $\varnothing 31 \pm 0,3$ na $\varnothing 30$ v délce 21; $\varnothing 29 \pm 0,3$ na $\varnothing 28,3$ v délce 27,5	T4	250	0,1	2	1
		Soustružit zápich $G2,5 \times 0,3$ v délce 33, drážku o šířce $1,1H13$ a $\varnothing 14,3h11$ v délce 4; drážku o šířce $1,3H13$ a $\varnothing 23,9h12$ v délce 186; dokončit $\varnothing 28,3$ na $\varnothing 21$ v délce 25 rádius R2	T5	160	0,08	0,5	

Technologický postup součásti

06/14	OTK 09863	Kontrolovat vnější rozměry četnost 20 %	Digitální posuvné měřítka 0-250 mm; digitální mikrometr; výškoměr				
07/14	Frézka OFA 75 CNC 6 35823	Upnout za obrobený Ø24; frézovat ozubení dle výkresové dokumentace s přídavkem na broušení (0,1 na bok zubu); odjehlít	T6; digitální posuvné měřítka 0-250 mm				
08/14	OTK 09863	Kontrolovat ozubení četnost 50 %	Třmenový mikrometr; digitální posuvné měřítka 0-250 mm; úchylkoměr s kulovým dotykem				
09/14	KALÍRNA 51823	Vizuální kontrola stavu dílců; cementovat do hloubky 0,4-0,6; kalit na 58-62 HRC; kontrolovat tvrdost	Tvrdoměr				
10/14	Bruska univerzální hrotová BUB E CNC 35521	Upnout mezi hroty; brousit: Ø15,3 na Ø15k6 v délce 33 na drsnost Ra 0,8; Ø20,3 na Ø20j6 v délce 58 na drsnost Ra 0,8; Ø28,3 na Ø28k6 v délce 27,5 na drsnost Ra 0,8	T7	40 m/s			
11/14	Odvalovací bruska na ozubení SBO 340/400 CNC 35881	Brousit ozubení dle výkresové dokumentace	T8	40 m/s			

Technologický postup součásti

12/14	OTK 09863	Kontrolovat broušené rozměry - rozměry, drsnost a geometrické tolerance četnost 50 %	Digitální posuvné měřítko 0-250 mm; digitální mikrometr; výškoměr; třmenový mikrometr s talířovými dotyky; profiloměr TR100; souřadnicový měřicí stroj; zuboměr	
13/14	Pračka 26326	Odmastit		
14/14	Expedice 09913	Balit; uložit do palet		

Pásová pila ARG 330 CF-NC AUTOMAT

NABÍDKOVÝ LIST

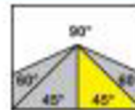
**Pilous**

Železná 9, 619 00 Brno, Czech Republic

Tel.: +420 543 25 20 10

e-mail: metal@pilous.cz, www.pilous.cz

ARG 330 CF-NC automat



3670 x 34 x 1,1

	90°	+45°
●	330	250
■	320	240
■	360 x 250	250 x 150

Hlavní motor	400 V, 50 Hz, 3 kW
Motor čerpadla	400 V, 50 Hz, 0,12 kW
Motor hydraulického agregátu	400 V, 50 Hz, 0,55 kW
Servomotor posuvu	2 kW
Rychlost pásu	15-90 m/min.
Pracovní výška svěraku	850 mm
Óleř v hydraulickém systému	cca 25 l (ISO 6743/4-HM, DIN 51 524 část 2-HLP)
Nádrž chladič kapaliny	cca 40 l
Rozměry stroje (min.)	1930 x 2070 x 1600 mm
Rozměry stroje (max.)	1930 x 2070 x 2000 mm (v rozměrech není uvedena noha ovládacího panelu)
Hmotnost stroje	1450 kg

Pásová pila ARG 330 CF-NC AUTOMAT

POPIS PRODUKTU

Plně automatizovaná pásová pila s CNC řízením nachází všeobecné uplatnění při dělení velkých sérií i v těch nejtěžších a non-stop provozech. A to i těžkých obrobků větších průřezů. Oproti typům ARG 250 a 300 CF-NC, používajících pilový pás 27 x 0,9 mm, je tento model osazen pilovým pásem 34 x 1,1 mm, což výrazně zvyšuje produktivitu stroje a přesnost řezu, zvláště při dělení plných materiálů větších průřezů.

Zcela nová, převratná koncepce odličky ramene pily a nový unikátní design. Odlička ramene pily je po celé délce ve svých nosných částech dutý, tvoří uzavřený profil. To zaručuje optimální tuhost celého systému a maximálně přesný řez. Stroj je vybaven posuvem materiálu pomocí průmyslového servopohonu s novým řídicím systémem. Servomotor společně s kuličkovým šroubem zaručují vysokou rychlost a maximální přesnost podávání materiálu a to i u několikanásobného podání při řezání delších kusů. Možnost nastavení tří rychlostí podávání 27, 42 nebo 50 mm/s dle váhy a délky děleného materiálu. Maximální délka jednorázového podání je 500 mm. Centrální ovládací panel s velkým barevným dotykovým displejem (7,5") zaručuje jednoduché intuitivní ovládání všech funkcí stroje. Řídicí jednotka umožňuje naprogramování až 60 programů pro rychlé nastavení požadované délky podání při opakované výrobě. Každý program je možné opatřit poznámkou, např. číslem výkresu. Možnost naprogramování a řezání různého počtu kusů o různých délkách bez nutnosti další obsluhy stroje. Stroj je možné ovládat v plně automatickém, poloautomatickém nebo ručním režimu. Při nastavení do ručního režimu jsou ovládány všechny funkce stroje odděleně. Upínání materiálu a posuv ramene pilového pásu do řezu a zpět, do požadované polohy dle průřezu materiálu, jsou ovládány hydraulicky. Tzv. „plovoucí“ konstrukce podávacího svěráku zaručuje přesné podávání i nerovných a hrubých materiálů. Regulace tlaku podávacího i pevného svěráku v standardní výbavě. K dosažení maximální produktivity řezání přispívá i možnost nastavení optimální rychlosti pilového pásu pomocí frekvenčního měniče v rozsahu 15–90 minin., což výrazně přispívá i k přesnosti řezu a životnosti pilových pásů. Základem maximální přesnosti podávání materiálu je velmi robustní provedení stroje se všemi hlavními díly v šedé litině a masivní konstrukce podávacího systému. Velký podstavec a celková masivní konstrukce zaručují mimořádnou stabilitu stroje i při řezání těžkých obrobků. Podstavec je vybaven velkou vyjímatelnou nádobou na třísky a umožňuje instalaci šnekového dopravníku třísek. Průmyslový pilový pás 34 x 1,1 mm je vyráběn v mnoha variantách a umožňuje průmyslové dělení široké škály materiálů, včetně nerez nebo nástrojových ocelí.

- Plynulé manuální nastavení úhlu řezu v rozsahu 90°–45°. Možnost dělení materiálu pod úhlem i v automatickém režimu.
- Velmi robustní konstrukce stroje, tvořená odličky v šedé litině, zaručuje bezpečné pohlcování vibrací.
- Moderní koncepce ramene pilového pásu umožňuje velké řezné rozsahy při kolmých řezech i při dělení pod úhlem.
- Velký průměr oběžných kol a precizní třístranné tvrdokovové vedení zaručují dlouhodobou životnost pilového pásu a přesnost řezu.
- Naddimenzované uložení oběžných kol, systému naplněcího kola a všech rotačních částí zvyšuje dlouhodobou životnost stroje.
- Tichý a bezúdržbový pohon pilového pásu je zajištěn průmyslovým elektromotorem se šnekovou převodovkou.
- Ke stroji je zapojen kompletní chladicí systém s výkonným čerpadlem a možností samostatné regulace průtoku na obou vodících kostkách a dalším nastavitelném vývodu. Vana emulze s výkonným čerpadlem je umístěna v podstavci stroje.
- Kontrola správného napnutí nebo přetržení pilového pásu. Při přetržení pilového pásu se stroj automaticky vypne.
- Snadné intuitivní ovládání pomocí ergonomicky umístěných ovládacích prvků na centrálním ovládacím panelu.

Pásová pila ARG 330 CF-NC AUTOMAT

M42

Univerzální pilový pás, vhodný pro širokou paletu materiálů včetně nástrojových ocelí a nerezí do tvrdosti 45 HRC. Zuby jsou zhotoveny z oceli HSS-M42 s obsahem kobaltu.

M51

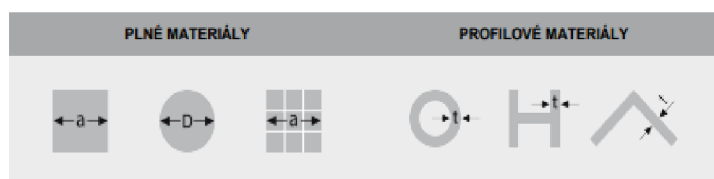
Pilový pás pro nástrojové a nerezové oceli s tvrdostí do 50 HRC. Špičky zubů jsou zhotoveny z oceli HSS-M51 s obsahem kobaltu a wolframu.

Tvrdokovový pás

Skládá se z nosného pásu ze speciální oceli do kterého jsou vyfrézovány zuby, na které jsou navazeny speciálně broušené tvrdokovové destičky. Tvrdokovový osazený pilový pás, vhodný pro dělení materiálů povrchově kalených, chromované součásti, výkovky a materiály s extrémní houževnatostí a tvrdostí do 62 HRC.

Řezný rozsah

Pro optimální výkon pilového pásu, je rozhodující správná volba velikosti zubu pilového pásu v závislosti na velikosti děleného materiálu.



Variabilní ozubení		Konstantní ozubení		Variabilní ozubení		Konstantní ozubení	
a(D) [mm]		a(D) [mm]		t [mm]		t [mm]	
0-25	10/14	0-10	18	0-4	10/14	0-1	18
20-40	8/12 (8/11)	5-20	14	3-6	8/12 (8/11)	0-3	14
30-60	6/10	20-40	10	6-9	6/10	4-7	10
40-70	5/8 (5/7)	40-80	6	9-13	5/8 (5/7)	8-11	6
60-110	4/6	80-120	4	12-16	4/6	12-15	4
80-140	3/4	120-200	3	16-22	3/4	16-20	3
120-350	2/3	200-400	2	20-35	2/3	21-30	2
250-550	1,4-2	300-800	1,25	30-85	1,4-2	31-90	1,25
380-750	1/1,5			40-85	1/1,5		
550-3000	0,75/1,25			80-200	0,75-1,25		

PŘÍLOHA 12 – 1/2

Parametry CNC soustružnického centra SBL 300 CNC

Pracovní rozsah

Max. obehný priemer	mm	530
Max. sústružený priemer	mm	260
Dĺžka sústruženia v skľučovadle a v koniku	mm	500
Dĺžka sústruženia v skľučovadlách	mm	485
Max priemer tyčového polotovaru	mm	42/51*/74*
Max priemer tyčového polotovaru s adaptérom pre podávač tyčí	mm	34/43*/66*

Hlavné vreteno

Ukončenie vretena (DIN 55026)		A2-5/A2-6*/A2-8*
Vrtanie vretena	mm	57/65*/92*
Priemer vretena pod prednými ložiskami	mm	80/100*/120*
Max. otáčky vretena	min ⁻¹	4000/5000*/3500*
Upínanie	mm	170/210*/254*

Pohon vretena

Výkon elektromotora hlavného pohonu S1	kW	7/9*/11*/15*
Výkon elektromotora hlavného pohonu S6	kW	10/13*/16,5*/23*
Krútiaci moment (podľa opcie) S1	Nm	79,7–215,7*

Superty s pohonmi

X-os

Rozsah posuvov priečneho suportu	mm.min ⁻¹	1÷10000
Rýchloposuv priečneho suportu	mm.min ⁻¹	24000
Pracovný zdvih	mm	198
Pracovný zdvih s radiálnou nástrojovou hlavou*	mm	168*

Y-os*

Rozsah posuvov suportu Y-osi	mm.min ⁻¹	1÷5000
Rýchloposuv suportu Y-osi	mm.min ⁻¹	7500
Pracovný zdvih suportu Y-osi	mm	+/-40

C-os*

Spojité riadenie	°	0-360 po 0,001
Max. otáčky vretena	min ⁻¹	40/36*/32*
Krútiaci moment (podľa opcie) S1	mm	410/450*/500*

Z-os

Rozsah posuvov pozdĺžneho suportu	mm.min ⁻¹	1÷10000
Rýchloposuv pozdĺžneho suportu	mm.min ⁻¹	30000
Pracovný zdvih	mm	550
Pracovný zdvih s radiálnou nástrojovou hlavou*	mm	485*

Z2-os*

Rozsah posuvov suportu protivretena*	mm.min ⁻¹	1÷10000
Rýchloposuv suportu protivretena*	mm.min ⁻¹	30000
Pracovný zdvih suportu protivretena*	mm	530

PŘÍLOHA 12 – 2/2

Parametry CNC soustružnického centra SBL 300 CNC

Koník

Vnitřní kužel hrotové objímky		MORSE 4
Zdvih pinoly/konika	mm	500
Rozsah přítláčej síly	daN	50–600
Ovládání		NC programovatelný pojazd

Rozměry stroja

Výška	mm	1820
Šířka	mm	2020
Délka s misou/s dopravníkom triesok vpravo*	mm	3320/4220*

Hmotnosť

Hmotnosť – vyhotovenie s koníkom	kg	cca 3500*
Hmotnosť – vyhotovenie s protivretenníkom*	kg	cca 4000*

Riadiace systémy

SIEMENS 840D SolutionLine + ShopTurn		áno
FANUC 0iTD + Manual Guide i		áno

SBL 300 2-vretenová

Protivreteno

Ukončenie vretena (DIN55026)		A2-5
Vrtanie vretena	mm	57
Priemer vretena pod prednými ložiskami	mm	80
Max. otáčky vretena	min ⁻¹	4000/5000*
Priemer skľučovadla	mm	170

Pohon protivretena

Výkon elektromotora protivretena S1	kW	7/9*
Výkon elektromotora protivretena S6	kW	10/13*
Krútiaci moment (podľa opcie) S1	Nm	79,7–122,4*

Protivreteno C-os*

Spojité riadenie	°	0-360 po 0,001
Max. otáčky protivretena	min ⁻¹	40
Krútiaci moment (podľa opcie) S1	mm	410

Nástrojové systémy

12-polohová radiálna nástrojová hlava SAUTER s pohonom rotačných nástrojov*		
12-polohová radiálna nástrojová hlava SAUTER s Y-osou s pohonom rotačných nástrojov*		

* špeciálne vyhotovenie

Technické parametry frézky OFA 75 CNC 6

Technické parametry	
Max. modul frézovaného ozubení	12 mm
Max. modul frézovaného ozubení pro frézování oceli do 600 MPa 14 mm	14 mm
Max. Ø frézovaného ozubení bez hlavy	750 mm
Max. Ø frézovaného ozubení bez hlavy opěrného stojanu	900 mm
Min. počet zubů frézovaného kola	3
Max. úhel natočení suportu	+ - 45 °
Max./min. vzdálenost osy nástroje:	
od osy stolu	580/60 mm
od plochy stolu	850/220 mm
Kužel ve vřetenu	MORSE 5
Max. dráha suportu	630 mm
Tangenciální přestavení nástroje	250 mm
Max. průměr nástroje	195 mm
Max. délka nástroje	300 mm
Rozsah otáček nástroje	25-450 mm-1
Výkon hlavního motoru	28 kW
Pracovní posuv	
axiální	0,01-340 mm.min-1
radiální	0,01 -170 mm.min-1
tangenciální	0,1 - 170 mm.min-1
Rychloposuv	
axiální	2 500 mm.min-1
radialní	3 000 mm.min-1
tangenciální	3 000 mm.min-1
Celkový příkon	70 kVA
Rozměry	
délka	4 050 mm
šířka	3 530 mm
výška	3 100 mm
Hmotnost	13 500 kg

Technické parametry brusky BUB E CNC

		BUB E CNC
Oběžný průměr	(mm)	320 / 400 / 500 (600)
Vzdálenost hrotů	(mm)	1000 / 1500 / 2000
Max. hmotnost obrobku	(kg)	500
Natočení brousícího vřeteníku	(°)	+45 / -15 (ruční)
Max. počet nástrojů	(ks)	1+1
Obvodová rychlost brousícího kotouče	(m.s ⁻¹)	25 ÷ 45 (10 ÷50 volitelně)
Brousící kotouč (průměr x šířka x díra)	(mm)	Ø 500 x 80 x Ø 203
Výkon elektromotoru brousícího vřeteníku	(kW)	11
Dosahované přesnosti	(µm)	2 ÷ 4

Parametry skenovací sondy SP600M

SP600M

Délka: 107,5 mm

Hmotnost: 216 g

Upevnění: Mechanismus

Renishaw Autojoint PH10M

PLUS, PH10MQ PLUS nebo

PH6M

Jednotka interface	Analogová interface karty AC1 nebo AC2
Charakteristické znaky sondy	Třísosé měření (X, Y, Z), lineární a paralelní pohyb ve všech osách
Měřicí rozsah	± 1 mm ($\pm 0,04$ palce) (X, Y, Z)
Rozsah vychýlení	X, Y a -Z, s kinematickou ochranou
Rozlišení	0,1 μ m s interface kartou AC2 0,5 μ m s interface kartou AC1
Tuhost pružiny	1,2 N/mm (X, Y a Z)
Tlumení	20 % (X, Y, Z) zpravidla při 23 °C
Rozsah pracovních teplot	10 °C (50 °F) až 40 °C (104 °F)
Napájení	+12 V až -12 V, 5 V (± 10 %)
Výstupy (X, Y, Z)	Analogový proporcionální napěťový výstup: 4 V až 8,5 V/mm
Upevnění doteků	M4