

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol
turbodmychadel

Autor: **Bc. Václav Krch**
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

Poděkování

Rád bych poděkoval pracovníkům ZČU v Plzni, kteří se podíleli na mém studiu na Fakultě strojní, ZČU v Plzni. Zvláště pak panu Ing. Zdeňku Pospěchovi, Ph.D. ze ZČU, Fakulty strojní, katedry obrábění, který mi velkou měrou pomáhal při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval za odborné vedení mé diplomové práce konzultantovi Ing. Františku Podlahovi z kalibrační laboratoře ČZ a.s. Díky patří i pracovníkům kalibrační laboratoře, kteří mi umožnili přístup k měřicím přístrojům a podíleli se na měřící části diplomové práce.

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Krch	Jméno Václav	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Pospěch, Ph.D.	Jméno Zdeněk	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	88	TEXTOVÁ ČÁST	88	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce je zaměřená na měření tvarových ploch, především s ohledem na strategii a výsledky měření. Práce byla vypracována pro firmu ČZ a.s. a její Kalibrační laboratoř, kde probíhala i praktická část měření na turbínovém kole. V práci byly porovnány dva programy Holos a Calypso, které se pro měření tvarových ploch využívají. Výsledkem této diplomové práce je doporučení k přechodu ze stávajícího softwaru Holos na měření v softwaru Calypso, který s sebou přináší řadu výhod a zlepšení.
KLÍČOVÁ SLOVA	turbodmychadlo, turbínové kolo, Holos, Calypso, Kalibrační laboratoř, metodiky měření

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Krch	Name Václav	
FIELD OF STUDY			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Pospěch, Ph.D.	Name Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Proposal of methodology contoured surfaces of turbine wheel turbocharger		

FACULTY	Faculty of Technical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2013
----------------	--	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	88	TEXT PART	88	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	<p>The thesis is focused on contoured surfaces, especially with regard to strategy and results. The work was carried out for the company CZ a.s. and its Calibration Laboratory, where he conducted a practical measurement of the turbine wheel. In this work were compares two programs Holos and Calypso, which for contoured surfaces use. The result of this thesis is the recommendation to transition from the existing software Holos to measure the Calypso software, which brings with it many benefits and improvements.</p>
KEY WORDS	turbocharger, turbine wheel, Holos, Calypso, calibration laboratory, measurement methodology

Seznam použitých zkratek

BOZP	Bezpečnost a ochrana při práci
CAD	Počítačové projektování (Computer aided design)
CMM	Souřadnicový měřicí stroj (Coordinate Measuring Machine)
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČMI	Český metrologický institut
KL	Kalibrační laboratoř
MPA	Metodické pokyny pro akreditaci
MPE	Největší dovolená chyba (Maximum Permissible Error)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
RT	Rotační stůl
TDI	Turbo Diesel Intercooler
TVL	Technický vedoucí laboratoře
TK	Turbínové kolo
VDA	Svaz německých výrobců automobilů (Verband der Deutsche Automobilhersteller)

Obsah:

1. Úvod.....	10
1.1 Historie společnosti ČZ a.s.	11
1.2 Současnost ČZ a.s.	12
1.3 Výrobní sortiment ČZ a.s.	12
1.4 Jakost v ČZ a.s.	14
1.4.1 Zkušebny a laboratoře.....	15
1.4.2 Kalibrační laboratoř.....	15
2. Analýza současného stavu	16
2.1 Úvod do metrologie	16
2.2 Metrologie v ČZ a.s.	17
2.3 Kalibrační laboratoř ČZ a.s.	18
2.4 Cíle a politika jakosti v ČZ a.s.	20
2.5 Technické požadavky na KL	20
2.5.1 Osoby pracující v laboratoři.....	21
2.5.2 Prostory KL a podmínky měření.....	21
2.5.3 Zkušební a kalibrační metody	23
2.5.4 Zařízení KL	23
3. Požadavky na rozměrovou a tvarovou přesnost turbínových kol.....	24
3.1 Konstrukce turbodmychadla.....	24
3.2 Turbínové kolo	27
4. Možnosti měření tvarových ploch.	30
4.1 Kontaktní měření tvarových ploch	30
4.1.1 Digitální spínací sondy	30
4.1.2 Analogové snímací sondy	32
4.2 Bezkontaktní měření tvarových ploch	33
4.2.1 Bezkontaktní metody měření 3D ploch	33
4.2.2 Bezkontaktní systémy měření 3D ploch	35
4.2.2.1 Optické skenery	35
4.2.2.2 Laserové skenery	36
4.2.2.3 Ultrazvukové skenery	37

4.2.2.4	Rentgenové skenery	38
4.3	Úvod do souřadnicové měřicí techniky CMM	38
4.3.1	Typy konstrukcí	41
4.3.2	Prvky konstrukce CMM.....	43
4.3.3	Pohyblivé části CMM	44
4.3.4	Měřicí systémy CMM	44
4.3.5	Snímací systém CMM.....	45
4.3.5.1	Měřicí dotyky	46
4.3.6	Řídicí systém CMM.....	48
4.4	Měřicí technika Kalibrační laboratoře ČZ a.s.	48
4.5	Přesnost a chyby CMM.....	50
4.5.1	Přesnost měřicí sondy	52
4.5.2	Opotřebení kuličky dotyku.....	53
4.5.3	Přepočet souřadnic měřeného bodu	53
4.5.4	Faktory ovlivňující výsledek měření	54
5.	Návrh metodiky měření.....	55
5.1	Software HOLOS	55
5.1.1	Měření součásti ze zadaných dat CAD systému.....	56
5.1.2	Příprava měření turbínového kola	59
5.1.3	Měření ploch lopatek turbínového kola v programu HOLOS.....	60
5.2	Software CALYPSO	66
5.2.1	Měření součásti ze zadaných dat CAD systému.....	69
5.2.2	Příprava měření turbínového kola	72
5.2.3	Měření ploch lopatek turbínového kola v programu CALYPSO.....	72
5.3	Přínosy programu CALYPSO a ekonomické hodnocení	82
6.	Závěr	85
	Seznam použité literatury	87
	Seznam příloh.....	88

1 Úvod

Díky neustálému velkému rozvoji techniky, dochází k pokroku v každé oblasti lidské činnosti. K tomuto rozvoji došlo nejen v samotné průmyslové výrobě, ale také v metrologické oblasti, a to díky mnohem většímu nároku na přesnost výroby. Je tedy nutné používat v této oblasti nejkvalitnější měřicí přístroje a nejefektivnější metody měření. Díky tomu je umožněna spolupráce a obchod se stále větším množstvím zemí mezi sebou na celém světě. Metrologická oblast tak napomáhá při rozvoji moderních technologií a nejnovějších výrobků, které pak pomáhají konkurenceschopnosti domácího průmyslu, volnému pohybu zboží a také mezinárodnímu uznávání výsledků měření. Cíl metrologie a metrologií obsažených činností je tedy založen na důvěře ve správnost získaných informací. Tato důvěra je založena hlavně na laboratorní praxi kalibračních laboratoří, které pracují na základě jednotlivých norem a předpisů.

Předpisovou legislativu metrologie v České republice tvoří systém obecně závazných právních předpisů, které se dělí dle územní platnosti na celostátní a lokální. Celostátní předpisy jsou ustanoveny ve Sbírce zákonů České republiky. Tyto předpisy jsou ústavní zákony, zákonná opatření senátu, nařízení vlády, prováděcí předpisy ministerstev a správních úřadů, vyhlášky. Lokální právní předpisy vydávají krajské úřady, které vykonávají státní správu ve svých územních obvodech. Lokální předpisy jsou např. nařízení krajských úřadů nebo vyhlášky vydané obcemi.

Diplomová práce byla vypracovávána ve firmě ČZ a.s. ve Strakonících. Hlavním cílem této práce je prozkoumání doposud používaného programu HOLOS pro měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel v místní kalibrační laboratoři. Srovnán bude s jiným měřicím programem CALYPSO. Výsledkem této práce tedy bude rozhodnutí, zda současně používaný program pro měření tvarových ploch vyhovuje současným standardům a produktivitě práce. V případě zjištění nedostatečnosti současného způsobu měření bude proveden návrh na zlepšení a zavedení nové měřicí metodiky.

Většina zde uvedených informací je čerpána z firmy ČZ a.s. ve Strakonících, pro kterou je tato diplomová práce zpracována.

1.1 Historie společnosti ČZ a.s.

První dílna ve Strakonících se začala stavět již v září roku 1919, jednalo se o dílnu na výrobu zbraní s původním názvem „Jihočeská zbrojovka“.

Následovalo sloučení v roce 1922 s továrnou na zbraně ve Vejprtech a závodem v Praze vznikla akciová společnost s názvem „Česká zbrojovka v Praze továrny ve Strakonících“. Vyráběným artiklem se zde staly pistole, vzduchovky a automatické zbraně.

Hlavním mezníkem pro růst zbrojovky se stal rok 1929, v kterém byla získána továrna na výrobu jízdních kol v Kralupech nad Vltavou. V roce 1932 byla zahájena sériová výroba motorových kol a o další tři roky spatřily světlo světa strakonické motocykly pod značkou ČZ a tím byla odstartována slavná éra této značky. V krátké době se podnik stal největším výrobcem jednostopých vozidel v celém tehdejší Československu. Velké obchodní úspěchy byly velmi důležité pro následný růst výroby. Zavádí se výroba obráběcích strojů a především výroba řetězů. Zřetelný dopad na rozvoj České zbrojovky měla druhá světová válka a nucený přechod ne válečnou výrobu.

V prvním poválečném roce 1946 byla jako většina tehdy velkých průmyslových podniků akciová společnost znárodněna. Poválečná situace měla dopad na zbrojní výrobu ve Strakonících a vedla až k jejímu ukončení.

V padesátých a šedesátých letech prosadily sportovní úspěchy jezdců značku ČZ mezi nejúspěšnějšího světového výrobce cestovních a sportovních motocyklů. Zvyšující produkce motocyklů vedla k vybudování vlastní slévárny tlakových odlitků z hliníku a slévárny šedé litiny.

Osmdesátá léta byla ve znamení útlumu motocyklové produkce a firma začala přecházet, kromě stávající produkce řetězů, nástrojů, forem, odlitků a obráběcích strojů k výrobě autokomponentů – převodových skříní a turbodmychadel.

Následná léta byla ve znamení přeměny struktury a výrobní oblasti podniku a také i transformaci firmy na akciovou společnost v roce 1991.

Akciové společnosti se nevyhnula v roce 1993 kuponová privatizace a akcie přešly do rukou fyzických a právnických osob. V tomto období prochází celá firma ovlivněna rozvojem tržní ekonomiky restrukturalizací, jako reakcí na požadavek pružnosti a flexibility. Nastupuje decentralizace celé řady činností v hospodaření. Na základě výrobního hlediska vznikají

divize s vysokou mírou ekonomické samostatnosti, společnosti s ručením omezeným a ještě více se zvětšuje orientace na automobilový průmysl.

1.2 Současnost ČZ a.s.

V současné době patří skupina ČZ svým obratem mezi jednu z největších strojírenských společností v České republice a je předním importérem. Stávající orientace na automobilový průmysl klade požadavky špičkové kvality na celou společnost. S tím je spojena certifikace podle norem ISO řady 9001:2000, VDA 6.1, ISO/TS 16 949:2002. Společnost má dále akreditované laboratoře dle ISO 17 025, které fungují také jako nezávislé zkušebny pro třetí osoby. Dalším významným hlediskem, kterému se společnost věnuje a vynakládá na něj nemalé prostředky je životní prostředí. Bylo zahájeno zavedení systému environmentálního managementu (EMS) podle normy ISO 14001 a sním definovaná environmentální politika.

Dlouhodobé rozvíjení a podporování obchodních aktivit přináší pro celou společnost ČZ a.s. významné kontrakty v poslední době především na dodávky turbodmychadel a ostatních výrobků do celého světa. Portfolio výrobních oborů se i nadále rozšiřuje o produkci vysokozdvizných vozíků pod značkou DESTA.

V současné době je společnost ČZ a.s. moderním strojírenským podnikem, který se snaží především orientovat na potřeby zákazníka. Snaží se prioritně o rozvíjení oborů s přidanou hodnotou a dodávku výrobků na vyšším stupni zpracování. Přibližně 80 procent produkce je určena pro automobilový průmysl. Společnost zaměstnává zhruba 1400 zaměstnanců a spolu s dceřinými s.r.o. pak téměř 2 tisíce osob. Velkým strategickým cílem ČZ a.s. je široké zapojení do velkých dodavatelských řetězců nadnárodních společností z automobilového průmyslu. Jednou z hlavních konkurenčních výhod společnosti je její komplexní charakter výroby, který umožňuje napojení výrobních divizí, kterými podnik disponuje na vlastní slévarenské a nástrojařské kapacity.

1.3 Výrobní sortiment ČZ a.s.

Divize TURBO:

Jednou z nástupnických částí je i divize Turbo. Divize má vlastní vrcholové vedení, které zastřešuje generální vedení akciové společnosti ČZ Strakonice. Má vlastní vývojovou i strojně-technickou základnu, potřebnou k realizaci zakázky. Divize Turbo vyrábí v současné době přes 100 000 turbodmychadel ročně. Jedná se převážně o turbodmychadla pro nákladní

Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel

automobily a traktory. V poslední době se sortiment rozšiřuje i na menší užitková vozidla a dodávky. Připravuje se i výroba turbodmychadel pro osobní automobily. Největším odběratelem je americká firma John Deere vyrábějící traktory. V ČR jsou odběrateli prakticky všechny firmy zabývající se výrobou nákladních a užitkových vozidel jako Avia, Zetor, Liaz, Tatra, atp. Dále se exportují do Ruska, Číny, Indie, Holandska, Francie, Mexika, aj.

Divize AUTO:

V současnosti představuje hlavní výrobní program společnosti ČZ a.s. Zahrnuje také výrobní spolupráci se Škoda Auto, spočívající v dodávkách komponentů, konkrétně skříně diferenciálu, synchronních kroužků pro převodovky a víka předního a víko hlavy válců pro nový tříválcový motor Škoda 1,2 l. Odstartovány byly i dodávky pro další významné výrobce v oblasti automobilového průmyslu orientované na komponenty pro výrobu vodních a olejových čerpadel a turbodmychadel. Vstup ČZ do tohoto odvětví umožnilo především zavedení technologií splňujících vysoké nároky na kvalitu a přesnost, ale také účelná kooperace v rámci skupiny ČZ. V oblasti zabezpečení kvality bylo dosaženo certifikace výroby podle norem ISO 9002 a VDA 6.1.

Divize SLÉVÁRNA LITINY:

Svým dispozičním řešením a vybaveností se slévárna řadí mezi nejmodernější slévárny v ČR. Stále větší měrou se ve výrobním sortimentu slévárny objevují odlitky pro automobilový průmysl. Používané technologie - skořepinové formování dovolují výrobu i nejnáročnějších odlitků. Pro výrobu prototypů a kusových zakázek bylo zavedeno pracoviště ručního formování. Typickými představiteli vyráběných odlitků o hmotnosti do 10 kg, jsou žebrované válce vzduchem chlazených motorů a kompresorů, turbínové a ložiskové skříně turbodmychadel. Významná část produkce je určena pro potřeby sesterských divizí, zejména pak výroby turbodmychadel. Mimořádná kvalita odlitků, stavějící na vybudovaném a certifikovaném systému řízení jakosti podle DIN EN ISO 9002 a VDA 6.1 zařazují slévárnu mezi akceptovatelné dodavatele předních evropských automobilek.

Divize SLÉVÁRNY HLINÍKU:

Probíhá zde výroba odlitků z hliníku odlévaných pod tlakem. Ty jsou určeny zejména pro automobilový a spotřební průmysl. V oblasti zabezpečení kvality byl zaveden systém a bylo dosaženo certifikace výroby jak podle norem ISO 9002, tak i VDA 6.1. Prodejní teritorium tohoto oboru zahrnuje, kromě tuzemského trhu a Slovenska, zejména SRN. Podíl dodávek pro export činí tři čtvrtiny celkového obrátu. Nabídka na opracování odlitků v rámci výrobních

kapacit akciové společnosti vychází vstříc požadavkům zákazníků, jako důsledek trendu k poptávce po komponentech s vyšším stupněm zpracování.

Divize NÁSTROJÁRNA:

Dochází zde k výrobě nástrojů, konstrukci a výrobě tlakových forem na hliníkové a zinkové slitiny, forem na plasty a pryž, tvářecích nástrojů na plech, nástrojů na přesný stříh a speciálních řezných nástrojů. Vlastní nástrojařské kapacity jsou schopny uspokojit nejen potřeby společnosti, zejména sléváren hliníku a litiny, ale oslovit i nejnáročnější zákazníky, zejména z automobilového průmyslu. Je zde zavedena certifikace dle ISO 9001/2000.

Divize DESTA:

Relativně novým oborem v ČZ a.s. V celé divizi dochází k vývoji, výrobě a prodeji čelních vysokozdvizných vozíků motorových a akumulátorových pohonů značky DESTA.

Dceřiné společnosti:

Společnost ČZ ŘETĚZY s.r.o. výrobky této dceřiné společnosti jsou určeny pro jízdní kola, motocykly, automobily, všeobecné strojírenství, zemědělství i další průmyslová odvětví. Na světových trzích se prosazují řetězy ze Strakonice především díky používání moderní technologie - z velké části vlastní výroby, díky trvalé péči o vysokou kvalitu a životnost výrobků, ale také díky velké šíři vyráběného sortimentu.

ČZ Strojírna s.r.o. je výrobcem vysoce přesných brousících strojů na otvory i na vnější válcové plochy, speciálních brusek na díly vstřikovacích čerpadel automobilových motorů, jednoúčelových stavebnicových obráběcích strojů a transférních linek pro automobilový průmysl a řady speciálních strojů stavěných na přání zákazníka. Za dlouholetou tradici výroby vzniklo velké teritorium prodeje - Evropa, Spojené státy a Rusko.

1.4 Jakost v ČZ a.s.

Zabezpečování kvality je ve skupině ČZ a.s. věnována prvořadá pozornost. Je zde zabezpečena formou trvalého zlepšování všech procesů ve společnosti. Tyto jakostní systémy jsou utvářeny pro co nejlepší plnění požadavků odběratelů.

V souladu s tržními požadavky kladenými na oborově zaměřené závody je vystavěn a zlepšován i systém řízení kvality. Certifikace jako ověření splnění požadavků norem kvality je prováděno samostatně u jednotlivých útvarů, divizí, s.r.o.

Společnost ČZ a.s. provozuje odbor Zkušebny a laboratoře a Kalibrační laboratoř, které jsou akreditovány dle normy ISO/IEC 17 025:2005.

1.4.1 Zkušebny a laboratoře

- A) *Oddělení Mechanická laboratoř* – provádí se zde mechanické zkoušky tahem, rázem v ohybu, zkoušky tvrdosti, zkoušku hlubokotažnosti plechů, technologické zkoušky součástí i polotovarů. Možností je zde i poradenská činnost v oblasti materiálů a jejich zkoušení.
- B) *Oddělení Metalografická a metalurgická laboratoř* – dochází zde k hodnocení makrostruktury a mikrostruktury ocelí, neželezných kovů a litin. Také zabezpečuje zjišťování kvality materiálu strojních součástí, nástrojů, hutních výrobků a odlitků.
- C) *Oddělení Chemická laboratoř* – náplní práce je zde zjišťování chemického složení ocelí, litin, Al slitin, Cu slitin, rentgenové mikroanalýza chemického složení materiálů, hodnocení úrovně čistoty dílů, hodnocení kvality.

1.4.2 Kalibrační laboratoř

Kalibrační laboratoř v ČZ a.s. je akreditovanou laboratoří pro obory měření délek, rovinných úhlů, času, momentu síly, a tlaku. Laboratoř nabízí služby nejen v oblasti kalibrace pracovních měřidel pro interní potřebu společnosti, ale i pro potřeby externích zákazníků. Dále zajišťuje technické a provozní poradenství v oboru metrologie, zpracování směrnic pro zajišťování metrologického pořádku ve firmě a ostatní měření dílů, které nejsou předmětem akreditace. Celá diplomová práce a především měření turbínových kol bude prováděno v této laboratoři.

Český institut pro akreditaci, o.p.s. (ČIA) vydal KL Osvědčení o akreditaci na základě posouzení akreditačních kritérií podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 po zjištění, že Kalibrační laboratoř je odborně způsobilá objektivně a nezávisle vykonávat činnosti uvedené v rozsahu předmětu akreditace. Kalibrační laboratoř je tak oprávněná při své činnosti používat po dobu platnosti této normy označení „akreditovaná kalibrační laboratoř č. 2236“, pokud ovšem bude neustále dodržovat veškeré příslušné předpisy vztahující se k činnosti akreditované kalibrační laboratoře, včetně předpisů vydaných Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. Bude-li prokázáno, že KL neplní akreditační kritéria této výše uvedené normy a závazky podmiňující akreditaci, může ČIA účinnost tohoto osvědčení pozastavit nebo osvědčení o akreditaci zrušit.

2 Analýza současného stavu

2.1 Úvod do metrologie

Metrologie je technickým oborem, který se zabývá měřením a s ním souvisejícími činnostmi, které spadají do metrologie. Pod pojmem měření si ve strojírenské praxi nejčastěji představíme zjišťování charakteristické veličiny u dané součásti či polotovaru. Z pravidla je to rozměr, ale nemusí být vždy. Jako další charakteristickou veličinu si lze představit například zjišťování pevnosti, tvrdosti, případně chemického složení atd. Pro určení velikosti těchto měřených veličin slouží měřidla, kde si lze pod tímto názvem představit různě složité přístroje nebo přípravky, které jsou provázány s etalony jednotek daných veličin.

Řízení metrologie je v ČZ a.s. zajišťováno systémem řízení metrologie, který navazuje na požadavky norem ISO 9001:2000, ISO 16949:2002, VDA 6.1, ISO 10012:2003 a platnou metrologickou legislativu ČR. Celý systém je důkladně popsán v Metrologickém řádu firmy, který je hlavní organizační směrnicí.

Do metrologie lze zahrnout:

- a) měřicí jednotky a etalony
- b) měřidla a měřicí přístroje
- c) metody měření, posuzování jejich přesnosti
- d) způsoby zpracování výsledků měření
- e) okolní vlivy na měření

Metrologii lze členit na metrologii vědeckou, legální užitnou a metrologii fundamentální [2].

Pod *vědeckou metrologií* si lze představit odvětví, které se zabývá vývojem etalonů, nových způsobů měření, vývoj nových jednotek a uchovávání etalonů.

Legální metrologie se zabývá měřením tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost úředních a obchodních transakcí, bezpečnost práce a zdraví. Cílem je chránit občany před důsledkem špatného měření v těchto oblastech.

Užitná metrologie zajišťuje návaznost měření, vhodný výběr odpovídajících metod a postupů měření, vhodné používání správných měřidel. Celá užitná metrologie se odehrává na úrovni výrobních podniků.

Fundamentální metrologie představuje hlavní základ metrologického systému. Do této oblasti spadají soustavy měřicích jednotek, realizace jejich etalonů, soustavy fyzikálních

konstant, metody měření. Toto odvětví metrologie má charakter vědeckého výzkumu. Měření je rozhodujícím nástrojem přírodních věd (ale i biologie, medicíny atd.) a fundamentální metrologie je pak s výzkumem vázána jednak jako jeho nástroj, jednak jako uživatel výsledků.

Málo lidí si uvědomuje, že metrologie jako vědní obor zasahuje do každého oboru lidské činnosti, do všech aplikačních věd (fyzika, chemie, atd.), které by se bez měření neobešly.

2.2 Metrologie v ČZ a.s.

V současné době je v České republice základním právním předpisem v oblasti metrologie zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění pozdějších předpisů. Účelem zákona je zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Dalším účelem zákona je úprava práv a povinností jednotlivých subjektů hospodářské oblasti vymezených obchodním zákoníkem a živnostenským zákonem, na straně jedné a orgány státní správy i subjektů, na straně druhé, za účelem zabezpečení jednotnosti a správnosti měřidel [9].

Rozdělení oborů měření v ČZ a.s. vychází ze zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. [3]. Uvedený zákon rozděluje obecně měřidla na:

A) Etalony – měřidla sloužící k realizaci a uchování jednotky nebo stupnice a také k jejímu přenosu na měřidla s nižší přesností. Etalony je výhradně zakázáno používat k samotnému pracovnímu měření a slouží pouze k zabezpečování jednotnosti měřidel a měření. Jednotnost měřidel a samotné návaznosti je založena na schématech návaznosti, která specifikují schopnost výsledků měření prokázat na každé úrovni pro danou hodnotu měřené veličiny vztah k příslušnému etalonu vyššího řádu.

V ČZ a.s. jsou etalony jako nastavovací normály oboru měření pro měřidla geometrických veličin u jednotlivých měřících zařízení, např. měřící stanice na kontrolu úchylek tvaru a polohy, normály drsnosti. Etalony jsou skladovány a umístěny v laboratorních skříních KL a na místech k tomu určených.

B) Pracovní měřidla stanovená – měřidla, která jsou stanovená Ministerstvem průmyslu a obchodu s ohledem na význam. Tyto měřidla podléhají povinnému ověřování a musejí být označena úřední značkou. Měřidla z této skupiny se používají například při prodeji, poskytování služby zákazníkovi nebo pro stanovení škody. Je možné sem zařadit i měřidla,

kteřá mají vliv na BOZP nebo měřidla použitá k ochraně zdraví či k ochraně životního prostředí.

Použití těchto měřidel v ČZ a.s. se uskutečňuje pro obor měření měřidly mechanických veličin, do kterých patří měřidla síly, mechanických zkoušek materiálu, měřidla hmotnosti, měřidla mechanického pohybu. Dále je jejich využití v oboru měření geometrických veličin kam patří měřidla průtoku a objemu, v oboru měření elektrických a magnetických veličin se používají měřidla elektrických veličin.

C) Pracovní měřidla nestanovená – zmíněná oblast zahrnuje všechna ostatní měřidla, která nejsou zařazena v předešlých dvou skupinách. Zahrnuje nejvíce měřidel, která jsou často nazývána jako pracovní měřidla a rozlišují se na měřidla podléhající kalibraci a na měřidla, která kalibraci nepodléhají.

Použití těchto měřidel v ČZ a.s. se dělí na pracovní měřidla nestanovená podléhající kalibraci v pravidelně stanovených časových intervalech a na pracovní měřidla nestanovená nepodléhající kalibraci, která jsou nezaměnitelně označena a nesmí být součástí technologického postupu.

D) Certifikované referenční materiály – do této kategorie jsou zařazeny materiály a chemické látky, které mají přesně stanovené chemické složení nebo vlastnosti, určené pro speciální metody měření.

V ČZ a.s. se certifikované referenční materiály používají pouze ve zkušební laboratoři.

Důležitou součástí je návaznost měřidel. Veškerá měřidla jsou podle zásad návaznosti vztažena k mezinárodním etalonům příslušných měřících jednotek. Tímto způsobem je ve firmě zajištěna celosvětová shodnost měření.

2.3 Kalibrační laboratoř ČZ a.s.

Jednou z důležitých věcí v kalibrační laboratoři je stanovit odpovědnosti pracujících osob, samotnou organizační a řídicí strukturu. Správné fungování laboratoře jako celku závisí především na osobách, které pracují ve firmě, ale také na jejich přístupu k práci a v neposlední řadě také na jejich vzájemné komunikaci.

Kalibrační laboratoř je odpovědná za to, že provádí kalibrační a zkušební činnosti požadovaným způsobem, aby uspokojila potřeby zákazníka, řídicích orgánů a především,

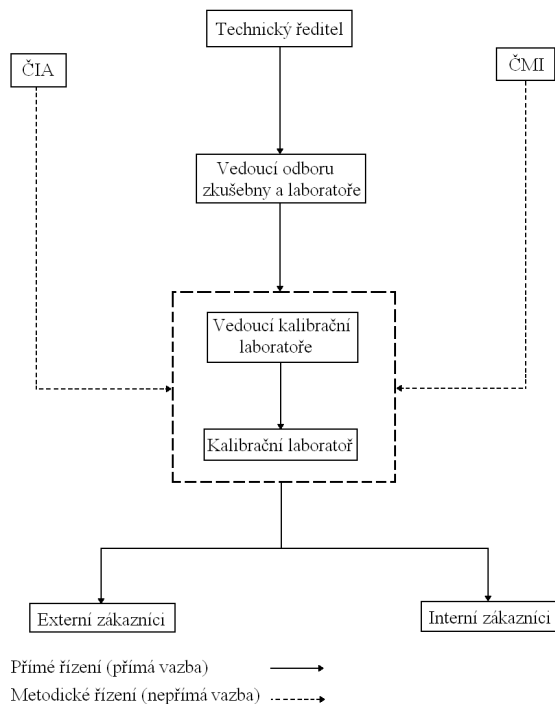
splnila požadavky dané mezinárodní normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. Uvedená norma stanovuje všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří [6].

Hlavní řídicí externí dokumenty evidované v kalibrační laboratoři jsou:

- zákon č. 505/1990, Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů
- vyhlášky MPO
- norma ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
- metodické pokyny pro akreditaci

Je-li laboratoř součástí nějaké organizace (jako je to v tomto případě), která provádí jiné činnosti než je zkoušení a kalibrace, tak je potřeba stanovit odpovědnosti všech osob, které pracují v této organizaci a podílejí se na činnostech kalibrační laboratoře. Laboratoř má stanovené své vedoucí a techniky mající pravomoc a zdroje nutné k plnění svých povinností včetně možnosti uplatňovat, udržovat a zlepšovat současný systém managementu. V Laboratoři je nutné stanovit vlastní organizační strukturu laboratoře, aby si osoby pracující v laboratoři byly vědomy důležitosti svých činností a toho, jak se podílejí na dosahování cílů.

Kalibrační laboratoř ČZ a.s. je organizačně začleněna ve schématu generálního řízení pod úsekem technického ředitele. Následující obrázek zobrazuje externí a interní vazby kalibrační laboratoře. **Obrázek č. 1: Schéma interních a externích vazeb**



Zdroj: [7, str. 19]

2.4 Cíle a politika jakosti ČZ a.s.

Současná politika jakosti zajišťuje plnění potřeb a očekávání všech zákazníků v souvislosti s trvalým zlepšováním všech činností a jejich neustálé zlepšování. Vrcholové vedení kalibrační laboratoře se aktivně angažuje na zvyšování odborné praxe, znalostí a dovedností zaměstnanců, dále pak na kvalitě prováděných kalibrací při poskytování služeb interním a externím zákazníkům. Dále prohlašuje, že úroveň měření a poskytovaných služeb je v souladu s metrologickými předpisy a normami.

Celá kalibrační laboratoř má vytyčené požadavky a cíle:

- trvalé dodržování a zlepšování systému kvality
- účelně reagovat na požadavky služeb za účelem jejich zkvalitnění
- provádět kalibrace dle kalibračních postupů
- zvyšovat spokojenost svých zákazníků
- zvyšovat důvěryhodnost svých výsledků měření
- zvyšovat odbornou znalost zaměstnanců
- neustále zdokonalovat systém managementu odpovědnosti jednotlivých pracovníků

Každý zaměstnanec pracující v kalibrační laboratoři se angažuje tak, že se svými podněty, náměty, názory, návrhy aktivně podílí na trvalém zlepšování systému managementu.

2.5 Technické požadavky na KL

Nejen úspěšný management zajišťuje správné a bezchybné fungování kalibrační laboratoře, ale také odpovídající podmínky a prostředí pro zajištění správnosti a jakosti měření.

V celkovém pohledu je správnost a spolehlivost všech prováděných zkoušek nebo kalibrací, které se provádějí v KL, ovlivněno mnoha faktory. Jedním z hlavních faktorů je hledisko vytvoření vhodného pracovního prostředí pro práci osob pracujících v kalibrační laboratoři. Faktory z hlediska fyzických podmínek, kterými jsou např. ergonomie, osvětlení, vibrace, prašnost, hluchost, vlhkost a faktory z hlediska podmínek psychických, jako jsou např. mezilidské vztahy na pracovišti, komunikace, motivace. Další faktory ovlivňující

správnost a spolehlivost zkoušek můžeme najít v oblasti zkoušeních a kalibračních metod, zařízení, vzorkování atd.

2.5.1 Osoby pracující v laboratoři

Management zajišťuje pro osoby pracující v laboratoři vhodné pracovní prostředí, stanovuje opatření k ochraně a bezpečnosti zdraví při práci. Dále je důležité zajištění rozvoje a vzdělávání pracovníků. Důraz je kladen na způsobilost pracovníků k činnostem, ke kterým jsou určeni.

Osoby pracující v kalibrační laboratoři včetně vrcholového vedení jsou ve stálém pracovním poměru v počtu osm osob s funkčním zařazením. O přijímání a propouštění osob pracujících v laboratoři rozhoduje vedoucí KL společně s personálním oddělením na základě organizačních směrnic. Pracovníci v kalibrační laboratoři včetně vrcholového vedení jsou vázáni důvěrností informací. Prohlášení o důvěrnosti je součástí pracovní složky osob pracujících v laboratoři.

Výcvik je vždy prováděn s ohledem na konkrétní prováděné funkce a činnosti v kalibrační laboratoři. Profesní a mimoprofesní výcvik je organizován a realizován interně laboratoří a také prostřednictvím odboru Personalistika vždy periodicky na dobu jednoho kalendářního roku. Jde-li o přijetí nové osoby, která bude pracovat v KL nebo jde jen o změnu pracovní činnosti v laboratoři, pak musí osoby projít výcvikem za odpovídajícího dozoru. Dozorem se rozumí vedoucí kalibrační laboratoře. V případě, že se pořídí nové nebo jiné měřicí zařízení provádí výcvik zpravidla školicí středisko dodavatele.

2.5.2 Prostory KL a podmínky měření

Základním požadavkem na prostory kalibrační laboratoře a na podmínky měření je jejich vhodnost pro měření. Musí zajistit jakost výsledků. Vybavenost laboratoře pro provádění zkoušek nebo kalibrací musí být taková, aby bylo možno správného provádění zkoušek či kalibrací. Je na laboratoři, aby zajistila, že pod vlivem prostředí výsledky nepozbudou platnosti nebo aby podmínky prostředí negativně neovlivňovaly požadovanou jakost jakéhokoliv měření. Laboratoř monitoruje, řídí a zaznamenává podmínky prostředí v souladu s požadavky metod a postupů.

Kalibrační laboratoř je umístěna v přízemí dvou budov, divize TURBO a AUTO. V divizi AUTO jsou situovány 4 klimatizované místnosti spolu se vstupní chodbou, technická

kancelář a kancelář vedoucího laboratoře. Celá laboratoř v divizi AUTO je situována na severozápad a zdi místností jsou součástí obvodových zdí celé budovy. Okna jsou dvojitá, utěsněná kovotěsem a trvale zakrytá žaluziemi proti slunečnímu svitu. Stálou teplotu a vlhkost zde zabezpečují podstropní klimatizační jednotky TOSHIBA a čerstvý vzduch je do laboratoře dodáván přírodními jednotkami vestavěnými pod okny.

V divizi TURBO je pouze jeden klimatizovaný prostor, který je určený pro 3D měření a technická kancelář. Praktická část této diplomové práce se odehrávala v této místnosti. Tato místnost je stavebně situována do vnitřních prostor budovy, a proto v ní není žádné okno. Konstantní teplota a vlhkost je zde udržována nástěnnou klimatizační jednotkou a čerstvý vzduch je do místnosti dodáván přírodní jednotkou.

Protipožární ochranu osoby pracující v KL provádějí ve smyslu platné požární poplachové směrnice, která je umístěna na zdi v přístupové chodbě do laboratoře v divizi Auto a v technické kanceláři laboratoře pro 3D měření v divizi Turbo. Všechny dveře v laboratořích včetně hlavních vchodových, které jsou navíc opatřeny bezpečnostním zámekem, jsou protipožární.

KL je začleněna v rámci společnosti ČZ a.s. do systému zavedení environmentálního managementu dle norem ČSN EN ISO 14001. Na základě zavedení systému dle citované normy musí laboratoř dodržovat v plném rozsahu třídění odpadu a jeho odvoz na určená sběrná místa.

Tabulka č.1: Požadované parametry prostředí

Název	Hodnota	Poznámka
Teplota	20 °C ± 1 °C	± 1°C v měřeném místě, hodnota je udržována klimatizační jednotkou
Relativní vlhkost	20 až 85 %	STSEV 1155-78 dop. vlhkost 58 % hodnota je udržována klimatizační jednotkou

Zdroj: [7, str. 46]

Hodnoty teploty a vlhkosti v tabulce jsou v KL nepřetržitě sledovány a zaznamenávány v týdenních cyklech zkalibrovaným thermohygrografem - nový typ 873E na záznamový papír. Kalibrace je prováděna ČMI Brno. Odchyly parametru od jmenovitých hodnot jsou korigovány klimatizační jednotkou. Záznamy musí obsahovat jak původní, tak korigované

údaje, které archivuje a uchovává manažer kvality. Kromě thermohygrografů je teplota v laboratoři sledována nástěnnými laboratorními teploměry. Kalibraci teploměrů zajišťuje a provádí akreditovaná kalibrační laboratoř.

2.5.3 Zkušební a kalibrační metody

K zajištění požadavků zákazníka laboratoř používá takové metody, které nejlépe zajistí splnění všech požadavků zákazníka a zajistí tak jakost všech výsledných měření. Laboratoř je tedy nucena užívat v rámci svého rozsahu činností pro všechny zkoušky a kalibrace vhodné metody a postupy. Nezbytné je mít všechny instrukce odpovídající používání a provozu veškerého příslušného zařízení. Laboratoř využívá tedy takové zkušební anebo kalibrační metody splňující potřeby zákazníka a takové metody, které jsou vhodné pro zkoušky a kalibrace, které laboratoř provádí.

Metody neuvedené v normách nebo normativních dokumentech, které je třeba použít pro splnění požadavků zákazníka, musí být předmětem dohody se zákazníkem a musí zahrnovat specifikaci požadavků zákazníka a účel zkoušení nebo kalibrace.

2.5.4 Zařízení KL

Certifikovaná kalibrační laboratoř provádějící zkoušky nebo kalibrace tedy i KL ČZ a.s. musí mít vždy odpovídající vybavení, aby mohla zajistit správnost výsledků měření. Nezbytné jsou veškeré potřebné prostředky pro vzorkování, měření a zkušební zařízení požadované pro správné provádění zkoušek a kalibrací. Každé zařízení je obsluhováno oprávněnými osobami. O každé položce zařízení, která je významná z hlediska provádění zkoušek nebo kalibrací jsou udržovány záznamy, které musí obsahovat alespoň identifikaci zařízení, název výrobce, kontroly, umístění. Laboratoř má postupy pro bezpečnou přepravu, manipulaci, skladování, používání a plánovanou údržbu zařízení pro zajištění jeho řádné funkce.

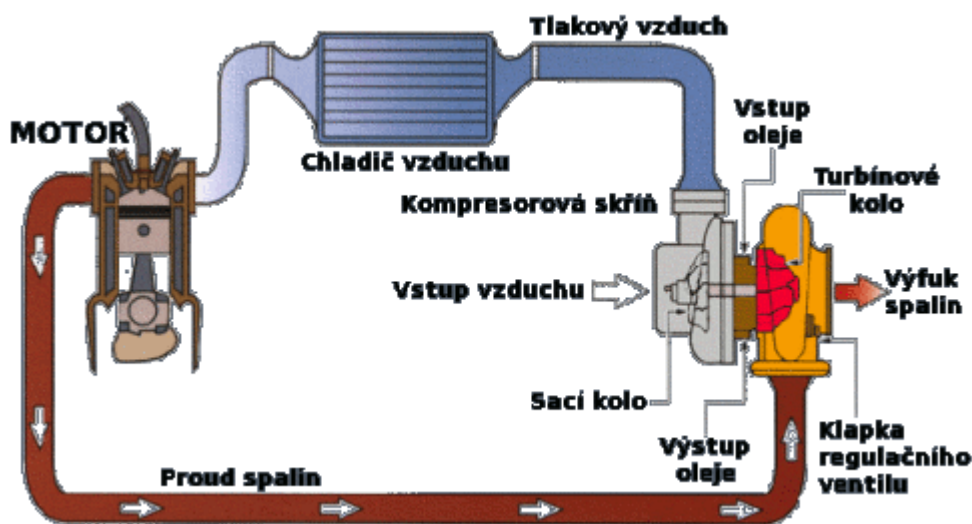
3 Požadavky na rozměrovou a tvarovou přesnost turbínových kol

3.1 Konstrukce turbodmychadla

U většiny dnes vyráběných užitkových a osobních automobilů je konstrukčním standardem vznětový motor s přímým vstřikováním přeplňovaný turbodmychadlem s chlazením plnicího vzduchu, známý pod zkratkou jako TDI (Turbo Diesel Intercooler). Rozmáhá se však i trend, který zapříčiňuje přidávání turbodmychadel do zážehových motorů.

Pod pojmem přeplňování rozumíme plnění válce novou směsí nebo vzduchem. Toto přeplňování probíhá zpravidla za zvýšeného tlaku, tedy větším než je atmosférický. Přeplňování turbodmychadlem využívá energii výfukových plynů, která by jinak přicházela nazmar. Výfukové plyny pohánějí turbínu, která je spřažena na stejné hřídeli s odstředivým dmychadlem. Dmychadlo nasává čerstvý vzduch a dopravuje ho stlačený mnohdy přes chladič do motoru a výrazně tak zvyšuje jeho objemovou účinnost oproti klasickému nepřepřehovanému motoru. Turbodmychadlo tedy zvyšuje tlak vzduchu vstupujícího do motoru a tím i jeho měrnou hmotnost. Je možné tedy do motoru pustit při stejných otáčkách a objemu více směsi paliva společně se vzduchem. Pro zachování stejného poměru je však třeba zvýšit množství přiváděného paliva a to zapříčiňuje výrazný nárůst výkonu motoru.

Obrázek č. 2 : Schéma zapojení turbodmychadla v motoru



Zdroj: [14]

Používají se turbodmychadla zvyšující tlak maximálně o 0,8 barů, i když jsou dosažitelné i vyšší tlaky. Typické turbodmychadlo vzhledem ke své konstrukci začne zvyšovat tlak teprve

od 2500 otáček motoru za minutu u motorů zážehových a 1800 otáček za minutu u turbodieselových motorů. Nevýhodou velkých plnicích tlaků je, že při stlačování vzduchu dojde k jeho zahřívání. Nárůst teploty palivové směsi je limitující u benzínových motorů, kde vysoká teplota způsobí samovznícení směsi ve válci ještě předtím, než dojde k zapálení pomocí svíčky. Další nevýhodou pro oba typy motorů je, že díky vysoké teplotě směsi dojde ke snížení účinnosti motoru. Tento problém je většinou řešen použitím mezichladiče stlačeného vzduchu, který teplotu v oběhu opět sníží.

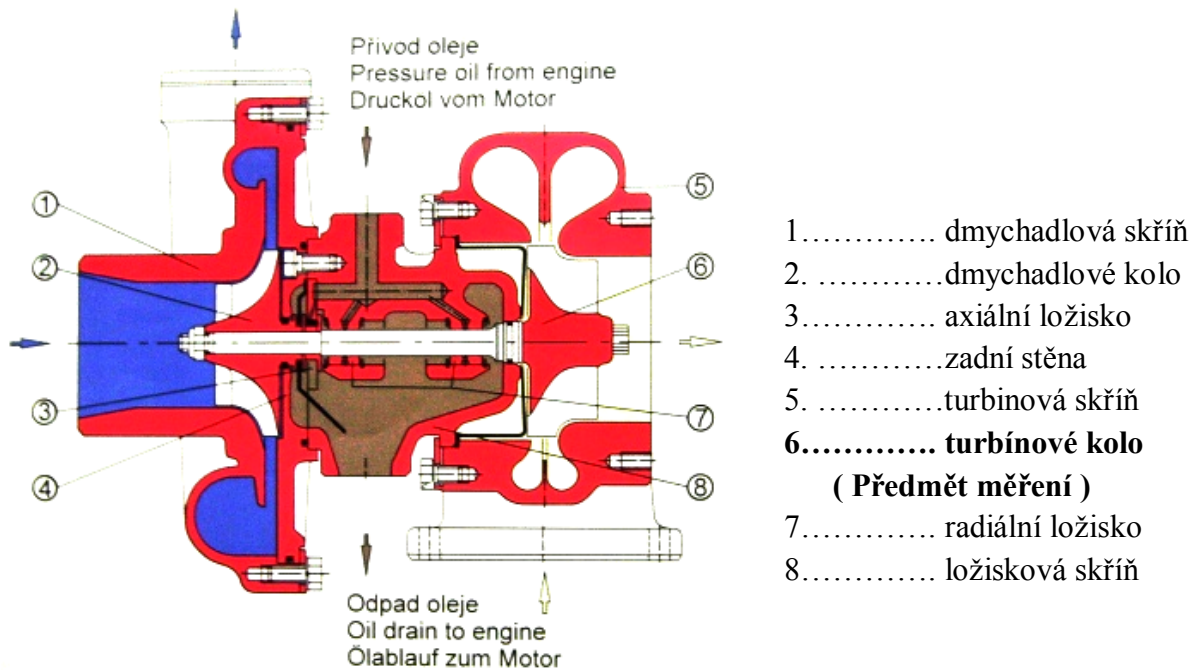
Motory automobilů, především nákladních, musí dodávat vysoký krouticí moment již při nízkých otáčkách. Konstrukce turbodmychadla je tedy přizpůsobena malé hmotnosti proudu výfukových plynů. Aby nedocházelo při vyšších hmotnostech proudu k přílišnému zvýšení plnicího tlaku, musí být při vyšších otáčkách a zatížení motoru otáčky turbíny regulovány. Regulaci zajistíme odvedením části výfukových plynů obtokovým ventilem přímo do výfuku. Obtok je ovládán ventilem s předepnutou pružinou, proti jejíž síle působí tlak v sacím potrubí. Dosáhne-li tlak přednastavené hodnoty, obtok se otevírá. U této pneumaticko-mechanické regulace je ovládací ventil přímo řízen plnicím tlakem na výstupu dmychadla. V závislosti na zatížení je obtokovým ventilem zhoršována účinnost. Zrychlování z nízkých otáček tedy vede ke zpožděné odezvě turbodmychadla. Tato odezva je známa jako tzv turbo-efekt. Turbo-efekt je tedy způsoben neschopností turbodmychadla zrychlit z nízkých počátečních otáček v odezvě na náhlé zvýšení krouticího momentu motoru, který je vyžadován během zrychlování vozidla. To je ovlivněno především setrvačností rotoru turbodmychadla, která musí být nejdříve výfukovými plyny překonána.

Novější turbodmychadla využívají elektronické regulace plnicího tlaku. Plnicí tlak z výstupu dmychadla se k obtokovému ventilu přivádí přes elektromagnetem ovládaný tlakový ventil, který nastavuje tlak v membránové dýze obtokového ventilu podle řídicího signálu z elektronické jednotky. V závislosti na něm je spojitě otevírán nebo přivírán průchod plynů obtokovým kanálem. Otáčky turbíny a tedy i plnicí tlak je přitom měněn spojitě.

Nejnovějším a nejvýhodnějším řešením je v současnosti mechanismus proměnné geometrické turbíny, která umožňuje řídit rychlost výfukových plynů tak, že zvyšuje rychlost těchto plynů proudících do turbíny při nízkých otáčkách motoru a zpomaluje rychlost plynů proudících do turbíny v ostatních režimech motoru. To vše způsobuje schopnost natáčení lopatek turbínového kola, které se natáčí v závislosti na rychlosti proudících výfukových plynů. Tím je dosahováno rychlejší odezvy přepřínování při nízkých otáčkách se zvýšením

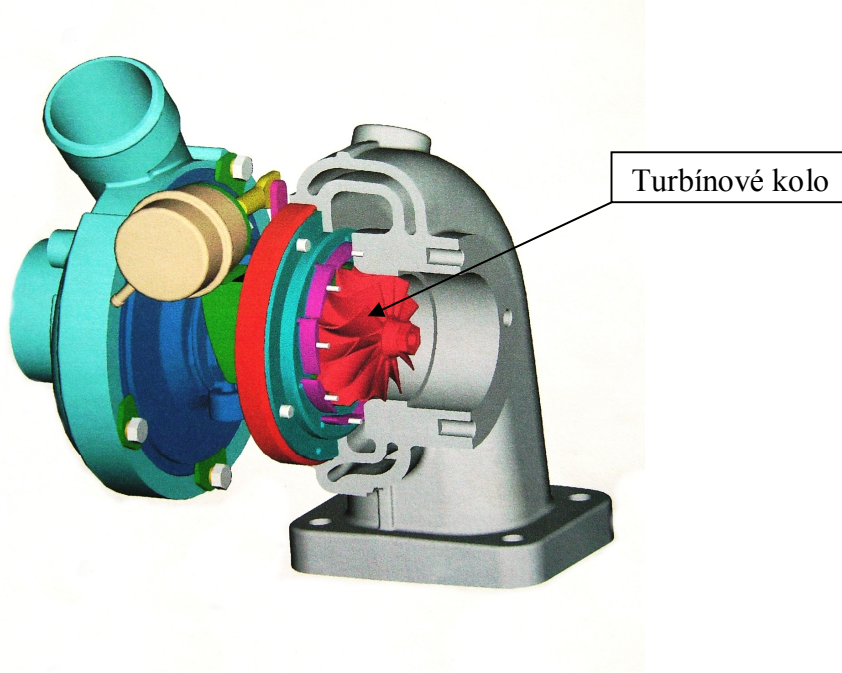
krouticího momentu a řízení i zpětného tlaku při vysokých otáčkách, to vše přináší podstatné zvýšení výkonu a snížení spotřeby.

Obrázek č. 3 : Popis základních částí turbodmychadla



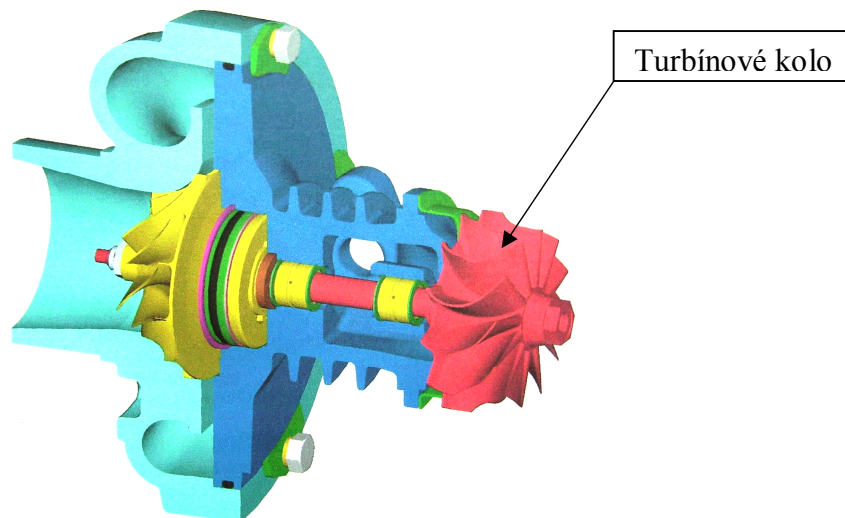
Zdroj: [8]

Obrázek č. 4 : Schéma sestavy turbodmychadla v řezu



Zdroj: [9]

Obrázek č. 5 : Schéma sestavy turbodmychadla v řezu



Zdroj: [9]

3.2 Turbínové kola

Výroba turbínových kol pro divizi Turbo ČZ a.s. ve Strakonících probíhá v závodě PBS Velká Bíteš za pomoci metody vytavitelných modelů. Odlitky jsou vyráběny ze slitiny INCONEL - IN 713C případně IN 713LC. Chemické složení použitých materiálů je uvedeno v příloze č. 3. Turbínová kola jsou zde vyráběny ve velkém rozsahu rozměrů od $\varnothing 55 \div \varnothing 376$ mm a hmotnosti $0,15 \div 44$ kg.

Na dodávaná turbínová kola jsou kladeny velké nároky na přesnost a jakost odlitků. Podkladem pro určení kvality a jakosti odlitků včetně drsnosti jsou výkresy schválené kupujícím a prodávajícím. Bohužel se díky chránění svého know-how nepodařilo zajistit výrobní výkres turbínového kola a přiložit ho k této diplomové práci.

Největší přípustná odchylka od správného tvaru hřbetu a koryta lopatky je $+ 0,12$ mm. Tato odchylka je měřena ve směru normály příslušné plochy. Proávající provádí kontrolu základních rozměrů jedenkrát měsíčně, nebo se kontrola provede u každého nového platného odlévaného typu kol.

Negativní tvarové vady (prohlubeniny) mohou být hluboké max. $0,30$ mm do průměru $1,5$ mm a max. $0,15$ mm do průměru 1 mm. Na jedné lopatce a na jejím rádiusovém přechodu do náboje jsou přípustné nejvýše tři vady o výše uvedené velikosti za předpokladu, že tyto

vady jsou navzájem vzdáleny od sebe min. 5 mm a nesmí se na lopatce nacházet proti sobě. Maximální povolený počet vad na náboji kola je 10.

Všechny vyvýšené vady musí být vybroušeny do okolního tvaru za předpokladu, že budou dodrženy rozměry a na povrchové ploše nevznikne vrub. Také každá zřetelně viditelná stopa po dělicí rovině formy nad 0,25 mm musí být řádně vybroušená. Pomocí broušení se odstraňují otřepy na odtokových hranách, které jsou vyšší než 0,25 mm.

Žádné vady odlitků nesmí být opravovány zavařováním. Je zakázáno rovnání a nastavování lopatek do patřičného tvaru.

Odlitky jsou vyráběny litím, metodou vytavitelného modelu v 1. třídě přesnosti. Tavení a lití je prováděno ve vakuu. Každý odlitek je následně tryskán. Místo a značení odlitků je stanoveno výkresovou dokumentací. Znak výrobce je "VB".

Všechny odlitky jsou vyráběny se zárukou mechanických hodnot, které jsou měřeny na odděleně litých zkušebních tyčích. Mechanické vlastnosti při teplotě 20°C : Tvrdost 285 – 398 HBW (30-42 HRC), R_m min. 745 N/mm², $R_{p0,2}$ min 677 N/mm², A min. 3%. Odlitky jsou dodávány do ČZ a.s. bez tepelného zpracování.

Kontrola rozměrů, jakosti povrchu, chem. složení, mechanických vlastností, tvrdostí a jiných vlastností odlitků ve výrobě je prováděna podle technologického postupu. O všech měřeních a zkouškách v průběhu výroby vede PBS Velká Bíteš evidenci, která je archivována po dobu 5 let. Je možné tak výsledky všech zkoušek kdykoliv předložit.

Kontrola výchozího materiálu se provádí pomocí kontroly chemického složení každé dodané tavby před uvedením do výroby. Materiál odlitků se kontroluje pomocí 7 zkušebních tyčí, které jsou odlity z každé základní tavby společně s odlitky. Zkoušky prováděné na zkušebních tyčích: pevnost v tahu, mez kluzu, zkouška tvrdosti a tažnost. Zkoušky se považují za úspěšné, pokud vyhoví jednotlivé zkoušky na dvou zkušebních tyčích v řadě.

Odlité turbínové kolo se zaručenou jakostí pak tedy putuje do ČZ a.s. ve Strakonicih, kde v divizi Turbo, proběhne ještě několik úprav, než může být celé kolo vsazeno do celé sestavy turbodmychadla. Prvním krokem je vyvrtání otvoru a stražení šestihranu na čelní straně kola. Následuje za pomoci odporového svařování pod tlakem navaření hřídele na spodní stranu kola. Jako předposlední úprava je provedeno broušení boční kontury lopatek. Finální úpravou je vyvážení celého celku turbínového kola. Nevývažek se upravuje broušením případně vrtáním.

Obrázek č. 6 : Turbínové kolo



Zdroj: [9]

Samotné měření profilu lopatek turbínových kol probíhá v kalibrační laboratoři, která je součástí komplexu divize Turbo. Měření se provádí buď na samotném odlitku, který je dopravován do KL přímo z PBS Velká Bíteš nebo až po celkovém obrobení a vyvážení v divizi Turbo. Hlavní podnět pro měření zadává samozřejmě KL její zákazník, v tomhle případě jde tedy o divizi Turbo. Zpravidla se měří v případech, kdy je třeba ověřit výrobní postup dodávaných turbínových kol. Tedy při zavádění nových typů kol, úpravách licích forem, repasování forem. V druhém případě se měření provádí až po všech úpravách prováděných ve Strakonících. Měření tedy potvrdí, že všechny prováděné operace neovlivnily do žádné míry tvar lopatek turbínového kola.

4 Možnosti měření tvarových ploch

V současnosti je na trhu měřicí techniky nepřehledné množství měřicích zařízení a metod, které je možné použít pro měření tvarových ploch. Následující kapitola bude popisovat nejpoužívanější z nich.

Měření tvarových ploch je možné rozdělit na dvě velké skupiny. Měření tvarových ploch kontaktní a bezkontaktní.

4.1 Kontaktní měření tvarových ploch

Kontaktní systémy měření jsou v dnešní praxi nejpoužívanější. Jejich společnou vlastností je, že pro získání jakékoliv měřené informace je nutný fyzický kontakt měřicího dotyku s proměřovanou součástí. Je ovšem možné získání zkreslených hodnot díky síle, která je vyvíjena na měřicí dotyk může při měření měkkých materiálů dojít k jisté deformaci tvaru součásti.

Obrázek č. 7 : Kontaktní měření



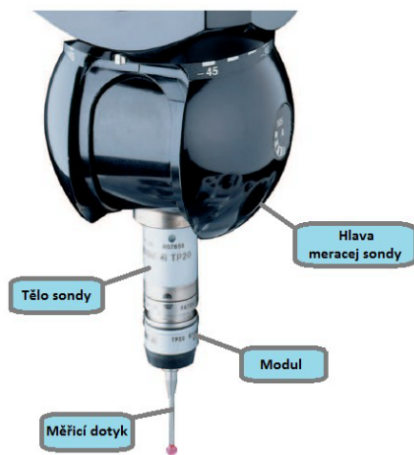
Zdroj: [16]

4.1.1 Digitální spínací sondy

Uvedený systém pracuje tak, že v okamžiku, kdy se měřicí dotyk dotkne měřeného kusu, spínací sonda vydá signál, dojde k okamžitému zastavení pohybu a následnému odečtení aktuálních souřadnic. Existují dva způsoby, jak docílit tohoto přenosu. První způsob je pomocí *elektromechanické sondy* a druhý *piezoelektrickou sondou*.

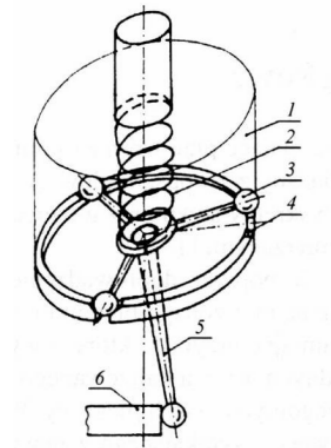
Spínací sonda je složena z několika základních částí – tělo sondy, modulu a dotyku, kde tělo sondy je zašroubováno do hlavy měřicí sondy. Modul je k tělu přichycen magneticky. Usnadňuje to výměnu modulu a chrání před poškozením celou měřicí sondu. Díky tomuto snímacímu systému můžeme získávat diskrétní hodnoty (rastr bodů), není možné spojitě snímání souřadnic tzv. skenování.

Obrázek č. 8 : Spínací sonda TP20
od firmy Renishaw



Zdroj: [13, str. 77]

Obrázek č. 9 : Kinematické schéma
elektromechanické sondy



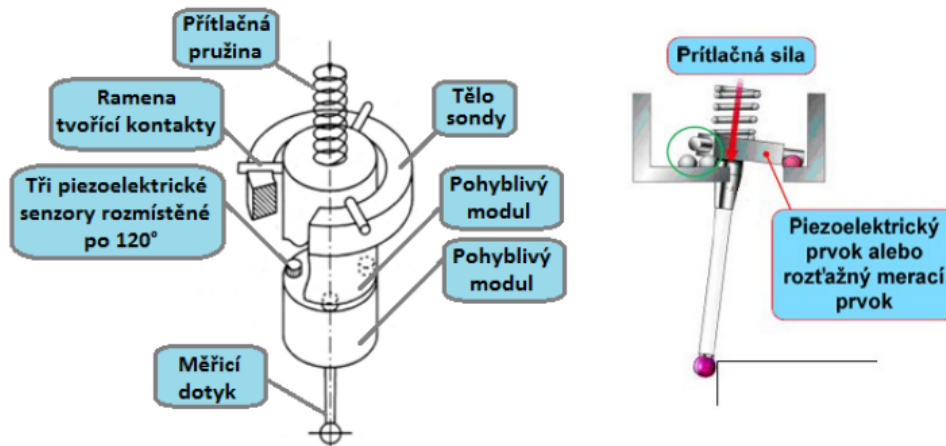
Zdroj: [13, str. 78]

Elektromechanická sonda- vnitřek sondy vyplňuje elektrický obvod (obr. č. 9), který obsahuje součást ve tvaru hvězdice, rozpínací kontakty vzájemně pootočené o 120°. Prsteneček na konci měřicího dotyku v klidovém stavu propojuje všechny kontakty. Ve chvíli, kdy dojde k vychýlení měřicího dotyku z klidové polohy, dojde k rozpojení jednoho z kontaktů a tak stroj odečte polohu sondy. Elektromechanická sonda se dopouští drobné chyby, díky časové prodlevě při rozpojení kontaktu. Než dojde k rozpojení kontaktu, vznikne malé vychýlení měřicího dotyku sondy a také k posunu osy stroje oproti skutečnému okamžiku, kdy došlo ke skutečnému dotyku s měřenou součástí. Nedostatek lze odstranit použitím piezoelektrické sondy.

Piezelektrická sonda- velice citlivé sondy, které mají dvojnásobnou indikaci měřeného bodu:

- A) Indikace piezokrystaly- již při malém vychýlení se uvnitř sondy deformují piezokrystaly, které vydávají elektrické impulsy pro odečtení požadovaných souřadnic
- B) Indikace elektromechanicky- při větším vychýlení dochází k rozpojení elektrického kontaktu, vzniklý impuls zastaví pohyb stroje a dojde k zápisu měřené souřadnice.

Obrázek č. 10 : Schéma kontaktní sondy s elektrokontaktním snímačem



Zdroj: [13, str. 78]

4.1.2 Analogové snímací sondy

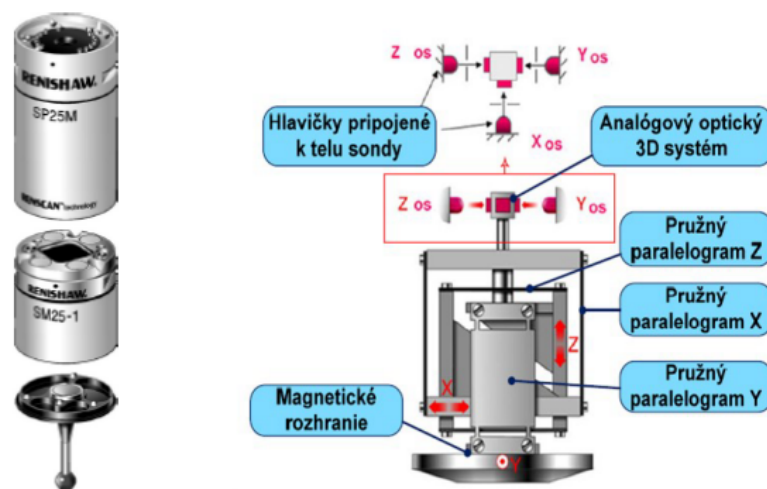
Systém snímací sondy je složen z těla sondy, které je umístěna v pouzdře snímací hlavy a ještě je uložena v dvojitém, nebo trojitém paralelogramu.

Princip skenující sondy: Když měřicí systém zaznamená kontakt měřicího dotyku s měřenou součástí, vypne přítlak, který vyvozuje přítláčnou sílu a následně zapne pohony pro příslušné osy. Je tak docíleno, že měřicí dotyk je v neustálém kontaktu s měřenou součástí.

Celý snímací systém může pracovat ve dvou režimech:

- ve statickém režimu je indukční měřicí systém v „0“ poloze a umožňuje tak snímání správných hodnot souřadnic. Jde o tzv. diskrétní snímání
- v dynamickém režimu, který umožňuje spojitě snímání složitých tvarů

Obrázek č. 11 : Analogová snímací sonda



Zdroj: [13, str. 79]

4.2 Bezkontaktní měření tvarových ploch

U bezkontaktního snímání se pro měření využívá fyzikálních principů. Nejčastěji používaný princip je optický, indukční, kapacitní, ultrazvukový, magnetický atd. Jejich použití závisí na typu měřené součásti. Na rozdíl od kontaktních metod, zde nejsou vyvíjeny žádné síly při měření a nedochází tak k deformaci materiálu měřené součásti.

Do skupiny měření tvarových ploch řadíme optická zařízení, která pracují na principu bezkontaktní způsobu snímání tzv. 3D digitalizace. Digitální 3D plocha reálného objektu je získána měřením třetí souřadnice za pomoci použití optické metody triangulace, optické interferometrie a měření doby letu světla.

4.2.1 Bezkontaktní metody měření 3D ploch

Při bezkontaktním snímání povrchů skutečných součástek je využíváno převážně tři základních metod, které spočívají na optických principech:

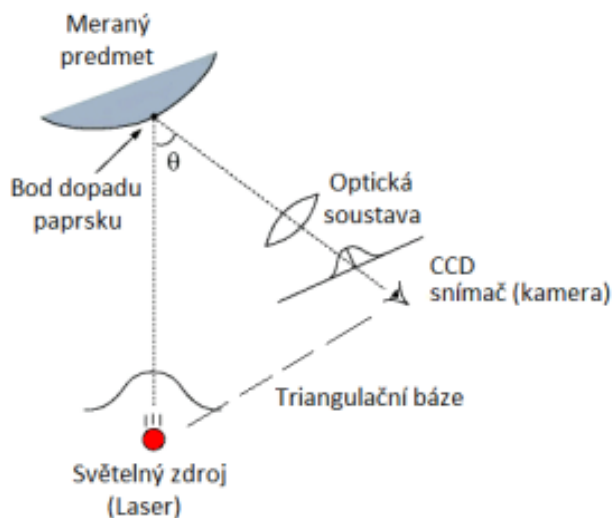
- triangulace (aktivní, pasivní)
- optická interferometrie
- měření doby letu světla

Aktivní triangulace

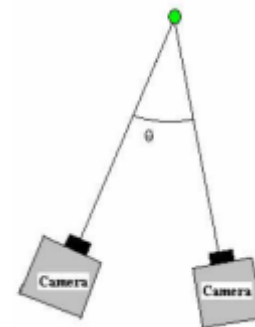
Metoda je založena na fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu při nasvícení jeho povrchu aktivním světelným zdrojem (např. LASER, LED dioda) a současném snímáním

povrchu objektu snímačem. Výsledkem je rastrový obraz. Triangulační trojúhelník tvoří zdroj světla spolu se snímačem a osvětlovaným objektem. Spojnice mezi světelným bodem a snímačem se nazývá triangulační báze. Úhel na straně světelného paprsku zdroje je konstantní a na straně snímače je určen proměnnou pozicí osvětlovacího bodu na snímači. Díky velikosti tohoto úhlu lze ze znalosti triangulační báze určit vzdálenost měřeného bodu na povrchu objektu.

Obrázek č. 12 : Schéma aktivní triangulace Obrázek č. 13 : Schéma pasivní triangulace



Zdroj: [13, str. 98]



Zdroj: [13, str. 101]

Pasivní triangulace

Pasivní triangulační technika zahrnuje různé formy digitální fotogrammetrie. Nejčastěji zde používaná metoda je stereovidění, která pracuje na podobném principu jako lidský zrak při odhadu vzdálenosti. Za použití dvojice snímačů (kamer) u kterých známe jejich vzájemnou vzdálenost středů, získáme 2 stereoskopické snímky, které představují perspektivní obrazy. Z úhlu snímaného sdruženými paprsky tak lze získat vzdálenost povrchu od středu pohledu obou snímačů [13].

Optická interferometrie

Metoda je založena na principu měření doby letu koherentního záření, kdy je vlnění světelného paprsku rozděleno na měřený a referenční paprsek. Vlnění mezi sebou interferují a výsledek je zachycen snímačem (fotodioda, CDD kamera). Při měření je dále využito

vlastností polarizačního děliče a dvou odrážeců, přičemž tato metoda umožňuje měřit pouze relativní vzdálenost zkoumaných bodů. Absolutní měření lze provést až po kalibraci.[13].

Měření doby letu světla

Z doby letu světelného paprsku, tedy od času kdy byl vyslán světelným zdrojem, odražen od snímaného předmětu, až po jeho zachycení snímacím senzorem, lze jednoduše stanovit vzdálenost bodu na povrchu objektu. Jedná se o korelaci rychlosti vhodného referenčního signálu s měřeným modulovaným optickým signálem. Velkou nevýhodou je vysoká rychlost světla, z toho vyplívají vysoké nároky na měřicí zařízení [13].

4.2.2 Bezkontaktní systémy měření 3D ploch

Bezkontaktní systémy můžeme rozdělit na principy pro měření 2D objektů a 3D objektů. Jelikož se tato práce zabývá měřením tvarových tedy 3D ploch, nebudou zde dále popisovány principy pro měření 2D ploch.

Systémy pro měření 3D ploch řadíme do bezkontaktních způsobů snímání „3D digitalizace“. Bezdotykové systémy měření se považují za skenery (digitizéry). Podoba snímaného objektu se získá pomocí využití výše popsaných metod triangulace a interference světla [13].

Rozdělení skenerů dle konstrukce:

Stacionární (pevné) - vázány na jedno místo, skenovaný předmět se musí dopravit k nim

Mobilní (pohyblivé) - schopné přesunu ke skenované součásti

Rozdělení dle použité technologie snímání:

- optické skenery
- laserové skenery
- ultrazvukové skenery
- rentgenové skenery

4.2.2.1 Optické skenery

Princip optických skenerů spočívá v tom, že skenovaný objekt je snímán z několika úhlů. Při každém natočení se součástka naskenuje (vyfotí) a data jsou odeslána do počítače, kde jsou následně zpracována [13].

Skenuje se zde za pomoci kamery nebo fotoaparátu. Natáčení měřené součásti může být ruční nebo pomocí otočného stolu. Po naskenování objektu ze všech úhlů pohledu je pomocí metody aproximace vytvořen digitalizovaný model.

Je třeba však mít neustále na paměti, že optické skenery pořizují pouze dvourozměrné fotografie, to sebou přináší řadu výhod i nevýhod. Výhodou je, že informace o povrchu skenované součásti jsou obsáhnuty už ve skenovaných datech, není je tak potřeba uměle dotvářet. Velkou nevýhodou tohoto systému je neschopnost rozlišení neprůchozí díry.

Využití těchto skenerů se nachází při měření deformací, vibrací a v neposlední řadě je možné používat těchto systémů při souřadnicovém měření.

Do tří 3D optických skenerů je možné řadit:

- Pruhový projektor
- Optický měřicí systém TripTop
- Systém ATOS
- Systém ATOS III Triple Scan

Obrázek č. 14 : Zařízení TripTop



Zdroj: [13, str. 88]

Obrázek č. 15 : Optický skener ATOS III Triple Scan



Zdroj: [13, str. 89]

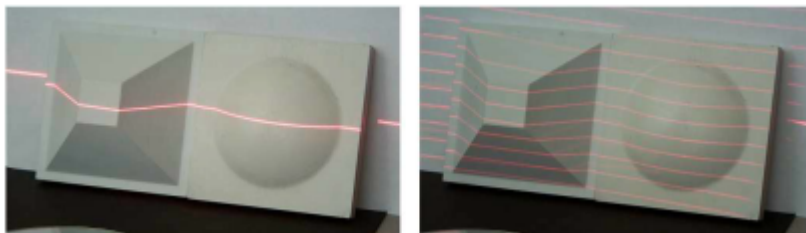
4.2.2.2 Laserové skenery

Založeny na principu triangulace, kde je využíváno vlastností laserového paprsku. Na měřený předmět je kolmo vyslán paprsek, který se odrazí a vrátí se zpět do skeneru, kde dojde k vyhodnocení. Vyhodnocuje se doba, která uplyne od vyslání paprsku po jeho návrat do skeneru. Zakřivení plochy je možné zjistit díky úhlu, pod kterým se paprsek vrátí zpět. Za pomoci těchto informací získáme rozměrové vlastnosti a zakřivení ploch měřeného předmětu.

Díky spojení obou základních informací získá skener přesnou polohu skenovaného bodu, která je následně odeslána do počítače. Tímto způsobem je nutné orotovat celý objekt. Kvalita snímání je ovlivněna hustotou pokrytí plochy laserovým paprskem.

Výhodou laserových skenerů je vysoká přesnost měřené geometrie, snadná obsluha, schopnost rozlišení neprůchozích otvorů a možnost skenování rozměrných těles. Do nevýhod řadíme nízkou produktivitu měření oproti jiným metodám, vyšší pořizovací cena a nevhodnost metody pro skenování průhledných povrchů.

Obrázek č. 16 : Příklad laserového skenování



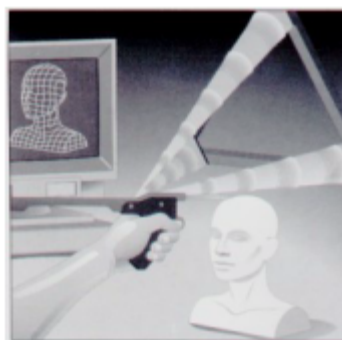
Zdroj: [13, str. 89]

4.2.2.3 Ultrazvukové skenery

Ultrazvukové skenery řadíme do mobilních skenerů. Ke snímání objektu dochází díky manuální ultrazvukové sondě ve tvaru pistole s kovovým hrotem, který se přikládá ke skenovanému povrchu. Při přiložení na povrch se stiskne páčka a sonda vyšle signál. Tento signál je dekodován pomocí ultrazvukových čidel do prostorových souřadnic, které pak mohou být vyslány do CAD systému.

Výhodou těchto skenerů je nízká pořizovací cena. Malá přesnost měření (desetiny mm) je označována jako nevýhoda.

Obrázek č. 17 : Ultrazvukový skener Freepoint



Zdroj: [13, str. 96]

4.2.2.4 Rentgenové skenery

Technologie skenování je založena na principu získávání vnitřní geometrie měřených součástek pomocí rentgenového záření, tak jako u klasických rentgenů používaných ve zdravotnictví. Jen je použita větší intenzita záření [13].

Rentgenové skenování je často zaměňováno s tzv. defektoskopií, která slouží k odhalení skrytých vad materiálů.

Výhodou je možnost snímání vnitřních rozměrů bez porušení skenovaného předmětu. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady.

Obrázek č. 18 : Rentgenový skener CT X-Ray



Zdroj: [13, str. 96]

Všechny výše uvedené metody využívané pro měření tvarových ploch nedostačují pro náš cíl měření především svojí přesností měření a některé i svojí metodikou měření. Proto se nadále budeme věnovat jen souřadnicové měřicí technice, která je nejvhodnějším řešením pro druh měření turbínových kol a především je používána v KL ČZ a.s. a tedy i při měření v této diplomové práci.

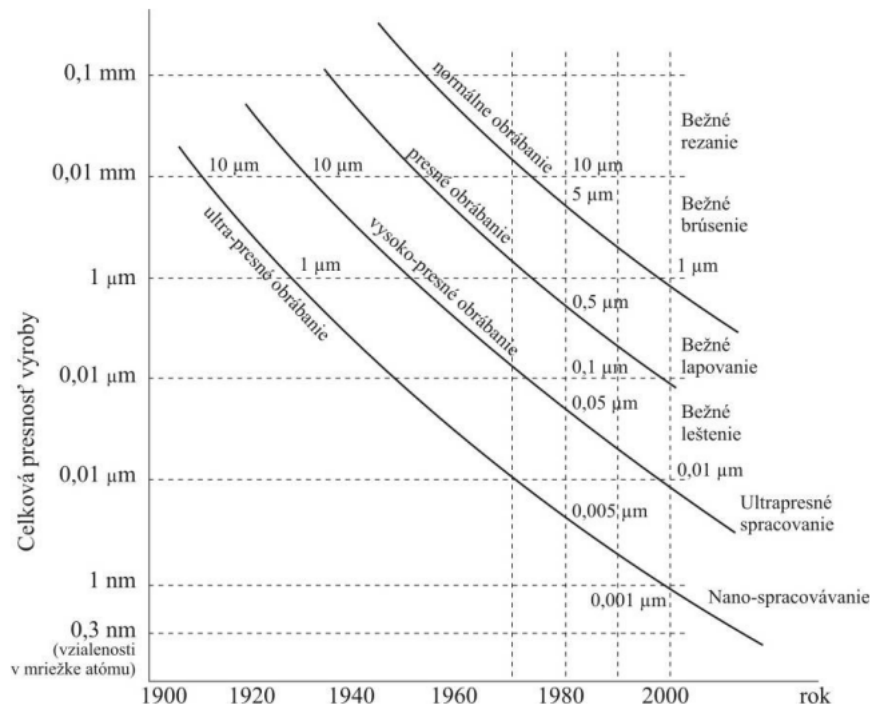
Souřadnicové stroje jsou upřednostňovány před jinými měřicími přístroji díky své univerzálnosti, flexibilitě, lehké obsluze, nejistotě měření a přesnosti.

4.3 Úvod do souřadnicové měřicí techniky CMM

Pro přesné měření tvarových ploch se využívá souřadnicových měřicích strojů, které dosahují požadovaných přesností, a proto jsou tak často vyhledávány a využívány pro složitá a přesná měření tvarových ploch. Tyto měřicí stroje zasahují do všech průmyslových odvětví (letecký průmysl, automobilový průmysl, zdravotnictví, potravinářství, farmaceutický průmysl atd.) a hrají v nich podstatnou roli. Staly se také neoddelitelnou součástí výrobního procesu. Řadí se k nejrychleji se rozvíjejícím měřicím prostředkům a díky svojí univerzálnosti

a flexibilitě našly CMM (Coordinate Measuring Machine) svoje místo nejen v laboratorním zařízení, ale také uplatnění v oblasti strojírenské výroby. CMM je díky svému širokému spektru využití praktické a cenově výhodné zařízení, které na rozdíl od jiných měřicích procesů mají schopnost rychle a přesně zachytit data a vyhodnotit je.

Obrázek č. 19 : Trendy výrobní přesnosti



Zdroj: [13, str. 47]

Souřadnicové měřicí přístroje jsou vhodně zejména při následujících podmínkách:

- **Malé série** (při kusové výrobě tvarově složitých součástí, které nelze změřit jinou metodou)
- **Velké série** (díky rychlému proměření součástí, možnosti opakovatelnosti stejných měřicích programů je možné měřit velké množství dílů)
- **Flexibilita** (měření různých charakteristik)
- **Přerušování výroby** (kdykoliv musí být díl zkontrolován a musí být vyhotovený a schválený jeden vzorek dílu předtím, než bude následovat další výrobní proces, obráběcí centrum tak může díky CMM ušetřit více peněz díky redukování času, který je ušetřen kontrolou).

Všeobecně se od měřicích přístrojů očekává:

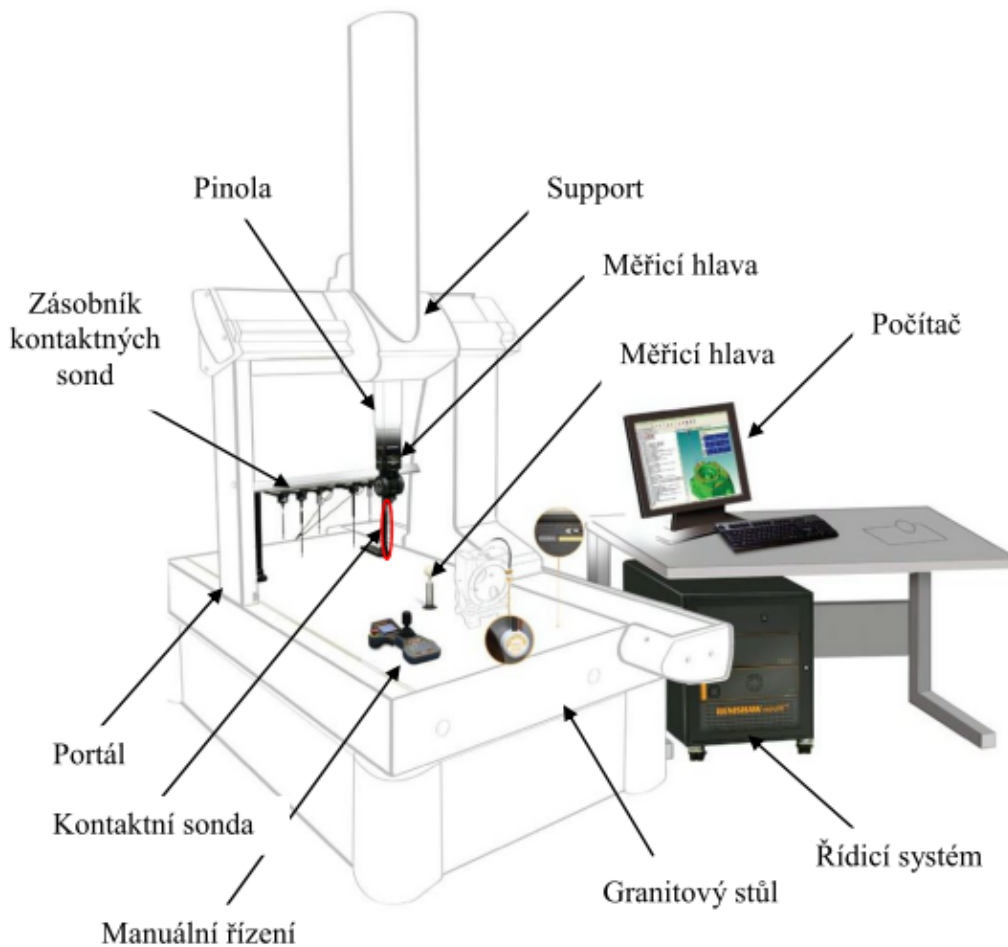
- absolutní měření rozměru ve směru x, y, a z
- měření vzdálenosti mezi definovanými body
- určení obrysové křivky z naměřených bodů
- generování křivek
- určení geometrických odchylek tvaru a polohy
- automatické porovnání požadované a skutečné hodnoty
- kontrola sdružených součástí
- výpočet průsečíků os
- výpočet středů a průměrů děr různými metodami
- zjištění sklonu osy díry
- zjištění středu oblouku
- automatické nastavování naměřených objektů
- automatická korekce na dotyk
- transformace souřadnic (kartézské – polární)

Všechny CMM jsou složeny z několika částí, které tvoří jeden celek vzájemně propojený.

Dílčí součásti jsou:

- pohonný systém
- odměřovací systém
- snímací systém
- řídicí systém
- počítač se softwarem
- mechanická část stroje

Obrázek č. 20 : Základní části měřicího stroje



Zdroj: [13, str. 49]

4.3.1 Typy konstrukcí CMM

V současné době mnoho výrobců CMM nabízí celou řadu měřicích strojů od malých stolních přístrojů až po velké a komplikovanější mostové přístroje. Jejich uplatnění je především při kontrole rozměrů, tvaru a polohy geometrických útvarů, které se vyskytují na výrobcích veškeré průmyslové výroby průmyslového odvětví.

Dle konstrukce lze dělit souřadnicové měřicí stroje na:

Jednosouřadnicové, dvousouřadnicové a třísouřadnicové měřicí stroje. Nejvyšší uplatnění nachází měřicí stroje, které dokáží měřit ve třech osách. Budeme se tedy dále zabývat jen CMM, které odpovídají této charakteristice.

Podle normy ČSN EN ISO 10 360-1 se CMM rozdělují dle základních geometrických uspořádání:

- stojanový typ
- výložníkový typ
- portálový typ
- mostový typ

Stojanový (sloupový) typ (obr. 21 a) - měřený předmět je upínán na stůl, kterým je možno pohybovat ve směru „x“ a „y“ a měřicí pinola se pohybuje ve směru osy „z“. Stroje tohoto provedení se řadí mezi jedny z nejpřesnější a jsou vhodné pro malé rozsahy měření. Měřicí stroj je také možné dovybavit kruhovým stolem s úhlovou stupnicí. Charakteristickými znaky tohoto typu je tuhá konstrukce a dobrý přístup k měřenému předmětu.

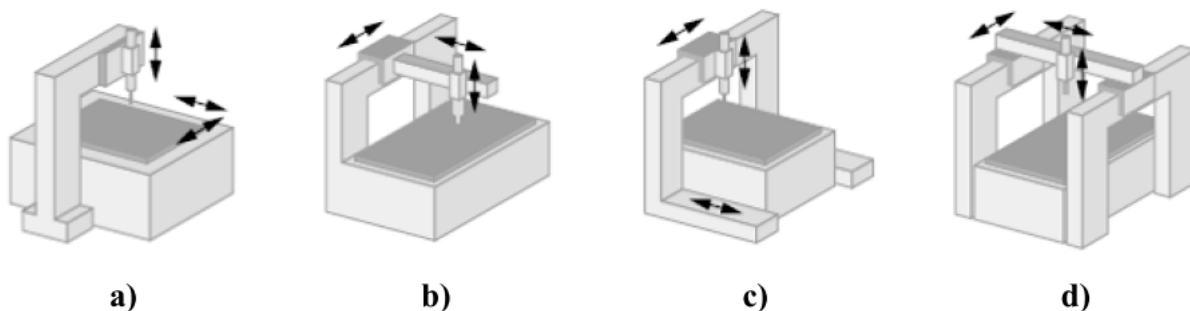
Výložníkový typ (obr. 21 b) - na nepohyblivý stůl stroje se upíná měřený předmět, přičemž pohyblivá pinola na výložníku se může pohybovat ve směru osy „y“ a kolmo v ose „x“. V ose „y“ je možné měnit vyložení pinoly od základní vodící plochy. Z tohoto důvodu je nutné celkové vyvážení stroje. Tyto typy strojů jsou charakteristické krátkou osou „y“ z důvodu zachování dobré tuhosti a dobrým přístupem k měřené součásti zpravidla pro dlouhé a úzké součásti.

Portálový typ (obr. 21 c) - nejrozšířenější konstrukce stroje. Nachází své uplatnění především pro střední a velké rozsahy měření. Hlavní charakteristikou je vysoká tuhost, která umožňuje nejpřesnější měření ze všech zde uvedených typů. Konstrukčně je možné tento typ rozdělit do dvou kategorií:

- a) pohyblivý portál (obr. 22 a) - portál se pohybuje nad pevným stolem, přístup do měřícího prostoru stroje je omezen díky konstrukci
- b) pevný portál (obr. 22 b) - portál je zde nepohyblivý, stůl se pohybuje v ose „x“

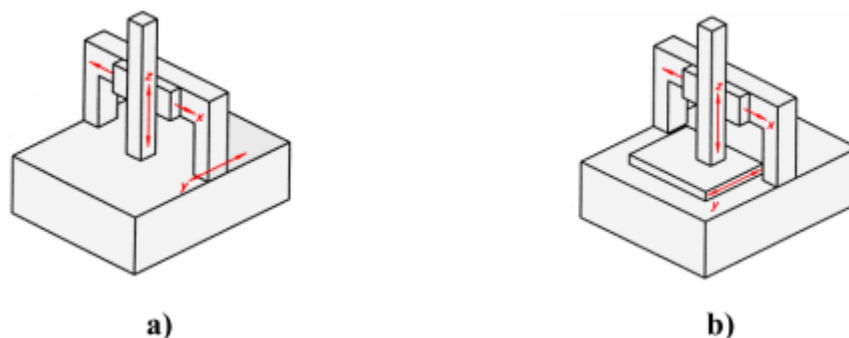
Mostový typ (obr. 21 d) – nejčastěji je využíván v automobilovém a leteckém průmyslu pro měření nadměrných součástek díky svojí velikosti a rozsahem měření. Je charakteristický velkým rozsahem měření v ose „x“ v desítkách metrů.

Obrázek č. 21 : Typy uspořádání CMM



Zdroj: [13, str. 51]

Obrázek č. 22 : Portálový CMM



Zdroj: [13, str. 52]

4.3.2 Prvky konstrukce CMM

Typy konstrukcí měřících strojů uvedené v předchozí kapitole se skládají z jednotlivých mechanických prvků, které dohromady tvoří CMM. Základní prvky jsou:

Rám - zpravidla jde o svařenec s co největší tuhostí, aby byla splněna jeho nosná funkce pro ostatní části mechanického systému stroje.

Stůl - je základnou pro ustavení měřeného předmětu. Vyrábí se především z granitu a ocelolitiny. Horní plocha stolu musí být broušená z důvodů rovinnosti funkčních ploch a také obsahuje otvory se závity pro správné ustavení polohy měřené součásti za pomoci upínek a šroubů. Pracovní stůl musí být odolný proti korozi, objemově stálý, minimální tep. roztažný, opravitelný při poškození a v neposlední řadě musí mít dlouhou životnost.

Sloupy, mostové konstrukce, portály - vyráběné jako svařence nebo odlitky pro jednotlivé měřící stroje s důrazem na dostatečnou tuhost a rozměrovou stálost.

Most - je složená konstrukce, která tvoří uzavřený celek, přičemž překlad mostu je základ pro vedení příčných saní.

Pinola - tyč zpravidla čtvercového profilu. Vyráběná z litiny, slitiny hliníku případně granitu. Může být dle CMM navržena jako vertikální a horizontální.

4.3.3 Pohyblivé části CMM

Důležitým článkem v konstrukci CMM jsou jeho pohyblivé části, které zaručí vzájemný pohyb dílčích částí vůči sobě. Požadavků, které jsou kladeny na realizaci pohybu v jednotlivých osách, je několik. Stálost rozměrů, přímočarost, minimální vůle, kolmost a co nejmenší pasivní odpory.

V současné době se řešení vzájemných pohybů částí CMM (pinola, stůl,...) provádí třemi způsoby uložení pohyblivých částí:

Kluzné uložení - jen na kovových plochách při malých rozměrech CMM. Velkou nevýhodou je velký odpor ve stykových plochách, využití pro malé posuvové rychlosti, neustálý přísun mazacího média. Výhodou je velká tuhost a vysoká kvalita vedení.

Valivé uložení - nejjednodušší provedení tohoto uložení je pomocí přesné kladky nebo pomocí valivého hnízda. Vynikají díky svému nízkému valivému odporu a odolností proti opotřebení.

Aerostatická uložení - tento druh uložení dovoluje vzájemný pohyb dvou částí stroje bez tření díky vzduchovým polštářům. Jsou nejvyhledávanějším druhem uložení díky téměř nulovému odporu, plynulosti pohybu, vysoké tuhosti.

4.3.4 Měřicí systémy CMM

Hlavní funkcí měřicích systémů stroje je získat souřadnice ze snímaných bodů v kartézských (polárních) souřadnicích, které mohou být dále zapsány v analogovém nebo číslicovém tvaru. Nejčastěji používané měřicí systémy:

- odměřovací pravítka (relativní, absolutní)
- laserinterferometr

Měřicí systém do určité míry ovlivňuje přesnost měření. K ovlivnění dochází díky rozlišovací schopnosti a periodické chybě měřítka na měřené délce.

4.3.5 Snímací systém CMM

Uvedený systém je další součástí CMM, díky kterému můžeme snímat potřebné body pro měření. Za pomoci programu pak můžeme vyhodnotit numerickou informaci o měřené veličině.

Celý snímací systém je propojený s pinolou a je složen ze:

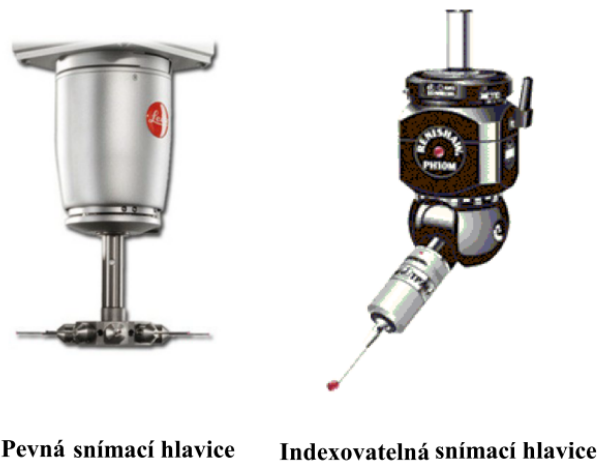
- snímací hlavy
- prodloužení snímací hlavy a systému její výměny
- snímací dotyk a jeho systém výměny
- prodloužení snímacího dotyku

Jednou z nejdůležitějších součástí snímacího systému jsou snímací hlavy, které můžeme rozdělit do dvou kategorií:

Pevné hlavice - nelze je natáčet v prostoru, ale na rozdíl od indexované hlavice dosahují vyšší přesnosti měření.

Indexované hlavice - pro přesné polohování snímacích sond. Umožňuje natáčení sondy v libovolných osách a zajistit ji v žádané poloze a úhlu. Opakovatelnost hlavice umožňuje vyvolání těchto poloh zpět.

Obrázek č. 23 : Snímací hlavice



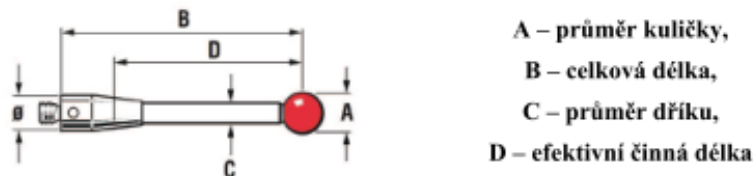
Zdroj: [13, str. 66]

4.3.5.1 Měřicí dotyky

Měřicí dotyky jsou součástí snímacího systému. Zprostředkovávají požadovaný kontakt mezi sondou a měřeným předmětem a také způsobují sepnutí v mechanismu sondy. Tento dotek vyvolává signál, díky kterému je možné zaznamenat souřadnice nasnímaného bodu.

Typ a především rozměr dotyku závisí na snímaném předmětu a na požadované přesnosti. Nejdůležitější věcí, kterou požadujeme od dotyku je jeho tuhost a dokonalý tvar měřicí kuličky.

Obrázek č. 24 : Rozměry dotyku



Zdroj: [13, str. 69]

Proto je důležitý materiál kuličky:

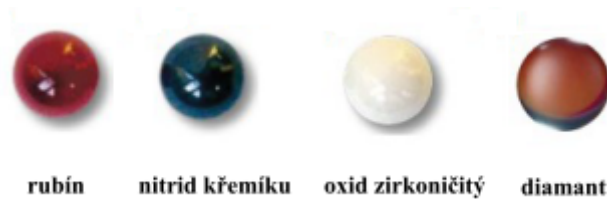
Rubín - nejpoužívanější materiál pro většinu měřících situací. Jsou ale prokázány dva případy, při kterých se rubín nedoporučuje. První případ je při měření hliníkových materiálů, kde může docházet k adheznímu otěru a na povrchu kuličky se tak může usazovat hliník. Odstranění tohoto nedostatku se docílí použitím nitridu křemíku. Druhý případ se vyskytuje při skenování litinových povrchů, kde dochází při kontaktu obou materiálů k velkému opotřebení rubínové kuličky. Doporučují se tedy použití kuličky z oxidu zirkoničitého.

Nitrid křemíku - velmi tvrdý materiál, který je odolný proti opotřebení. Nevhodný pro ocelové povrch, kdy vykazuje velkou míru opotřebení otěrem.

Oxid zirkoničitý - pevný keramický materiál, který je díky svým povrchovým vlastnostem vhodný pro agresivní aplikaci u litinových měřených součástí.

Diamant - nejlepší ze všech konvenčních materiálů. Poskytuje nejpřesnější měření díky extrémní tvrdosti a minimálnímu tření, které zapříčiňuje dokonale hladký povrch diamantové kuličky. Vhodné pro drtivou většinu měřících situací. Nevýhodou je jen pořizovací cena.

Obrázek č. 25 : Materiál kuličky



Zdroj: [13, str. 70]

Existuje několik pravidel pro správný výběr dotyku, aby bylo dosaženo co možná největší přesnosti při měření:

- volit co nejkratší dotyk (zamezení průhybu)
- zvolit co nejmenší počet prodlužovacích nástavců (každý spoj dotyku může vyvolat nežádoucí nepřesnosti)
- volit co největší průměr kuličky (díky velké kuličce se volí i větší průměr dřívku a tím je zvětšena i jeho tuhost)

Základní rozdělení dotyků:

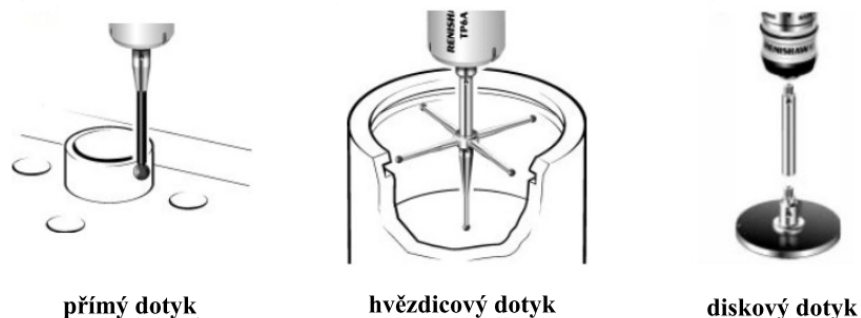
Přímé - jednoduchý tvar složený pouze z kuličky a stopky.

Hvězdicovité - složité konfigurace několika doteků umožňující snímání různě složitých prvků, otvorů, kde je několik dřívků s kuličkou pevně připevněno ke střednímu dílu.

Diskové - využívána pro snímání drážek a zápichů. Měření je podobné jako měření s dotykem o velkém průměru, je ale využita pouze jen poměrná část povrchu pro kontakt.

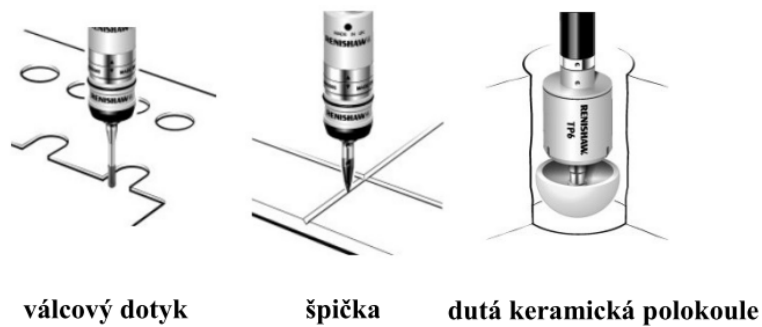
Doteky pro speciální účely - válcový dotyk, špička, dutá keramická polokoule, dotyk na ustavení nástrojů.

Obrázek č. 26 : Základní typy dotyků



Zdroj: [13, str. 71]

Obrázek č. 27 : Doteky pro speciální účely



Zdroj: [13, str. 71]

4.3.6 Řídicí systém CMM

Jeho úlohou je řídit a koordinovat pohyby jednotlivých pohyblivých částí CMM. Realizuje příkazy obsluhy na měření. Tzn. pohyb sondy, suportu pinoly a mnoha jiných částí. Hlavním požadavkem je zabezpečit plynulý a jemný pohyb, což dělá tuto úlohu velmi složitou. Dále zajišťuje konstantní sílu měření pro okamžité odečtení souřadnice bodu, když dojde ke kontaktu měřicího doteku se součástí.

Ovládání celého řídicího systému může být:

- manuální s podporou počítače
- automatické, řízené přímo počítačem

Dle způsobu vedení dotyku dělíme řídicí systém na:

- řízení od bodu k bodu
- řízení po drahách
- tvarové řízení
- vektorové řízení

Nejen, že řídicí systém zabezpečuje řízení pohybů stroje, ale také zpracovává údaje z měřících sond a upravuje výstupy před odesláním do měřicího softwaru.

4.4 Měřicí technika Kalibrační laboratoře ČZ a.s.

Kalibrační laboratoř v ČZ a.s. disponuje 3D měřícím strojem, na kterém je provedena praktická část měření této diplomové práce. Jde o stroj řady UPMC 550 CARAT Zeiss, který vyniká dobrou přesností a nízkou nejistotou měření.

Obrázek č. 28 : 3D stroj UPMC 550 CARAT Zeiss



Stroj je koncipován jako měřicí stroj s CNC řízením, centrálním pohonem portálu pro měření bez zrychlení a zajišťuje konstantní přesnost v celém měřicím rozsahu. Speciální provedení CARAT zaručuje tepelnou odolnost příčnicku. Měřicí zařízení je vybaveno servopohony pro elektronickou kontrolu pohonů a omezení posuvné síly ve všech osách. Nedílnou součástí je i kompenzace průhybu desky stolu pro dosažení maximální přesnosti měření. K doplňkovému vybavení stroje patří otočný stůl, jako doplnění čtvrté osy pro měření.

Portálový měřicí stroj UPMC je vhodný pro přesná měření v celém spektru 3D měřicí techniky, pro měření vzorových kusů i sériových dílů. Široké uplatnění najde i v oblasti vývoje a zajištění kvality, jakož i při kalibraci měřidel.

Tabulka č. 2 : Parametry měřicího stroje UPMC 550 CARAT Zeiss

Měřicí rozsah	X 550 mm Y 500 mm Z 450 mm
Jmenovité rozměry stroje	Šířka 1290 mm Délka 1620 mm Výška 2725 mm
Váha stroje	2050 kg
Max. hmotnost měřeného dílu	600 kg
Rychlosti posuvů	Rychloposuv – 0 až 65 mm/s Pracovní posuv – 0 až 5 mm/s
Nejistota měření stroje*	osová délková: $U_{1k=2} = \pm (0,9 + L/500) [\mu\text{m}]$ osová úhlová: $U_{1k=2} = \pm 2.6 ''$ prostorová délková: $U_{3k=2} = \pm (1,2 + L/500) [\mu\text{m}]$ prostorová úhlová: $U_{3k=2} = \pm 2.5 ''$ L . . . maximální měřený rozměr [mm]

Zdroj: [8]

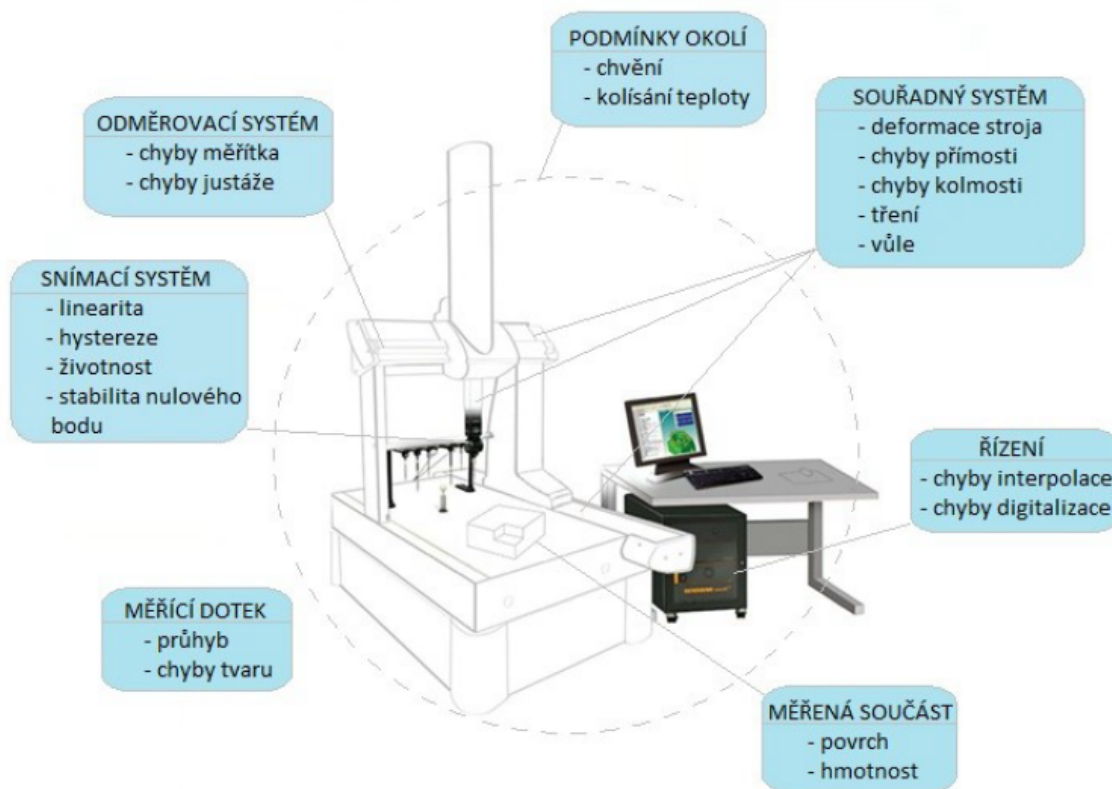
* Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

4.5 Přesnost a chyby CMM

Přesnost CMM je vlastnost, která charakterizuje schopnost stroje dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Vyjadřuje kvalitativně stupeň přiblížení naměřených hodnot hodnotám skutečným. Přesnost měření na CMM je ovlivněna dílčími nepřesnostmi [13].

Souřadnicový měřicí stroj je velmi složitý systém skládající se s mnoha konstrukčních dílů, které mohou být zdrojem chyb. Nejdůležitější zdroje chyb, které se vyskytují při měření, jsou uvedeny na obrázku.

Obrázek č. 29 : Zdroje chyb měření



Zdroj: [13, str. 104]

Každé měření sebou přináší jistou chybu. Tato chyba vyjadřuje rozdíl od jmenovitého rozměru. Tyto rozdíly jsou stanoveny na základě ověřování rozměrových a geometrických specifikací. Každá specifikace přesnosti má dle normy ČSN EN ISO 10360 svoje označení MPE (Maximum Permissible Error) přičemž měřicí úloha je charakterizována indexem (např. MPE_E – největší dovolená chyba při měření rozměru) [13].

Největší dovolená chyba při měření rozměru (MPE_E) – slouží ke stanovení odchylky délkových rozměrů. Je nutné měřit kalibrované koncové rozměry, nebo stupňovité koncové měřky v 5 různých délkách a v 7 libovolných pozicích v měřícím rozsahu přístroje. Každý rozměr je nutné měřit nejméně třikrát. Tyto rozměry se následně porovnají s kalibračními

hodnotami a vzájemná odchylka nesmí překročit specifikaci v závislosti na délce. Specifikace v závislosti na délce se uvádí ve tvaru:

$$MPE_E = \pm \text{minimum} (A+L/K)$$

A – kladná konstanta v mikrometrech udávaná výrobcem

K – bezrozměrná kladná konstanta udávaná výrobcem

L – měřený rozměr v milimetrech

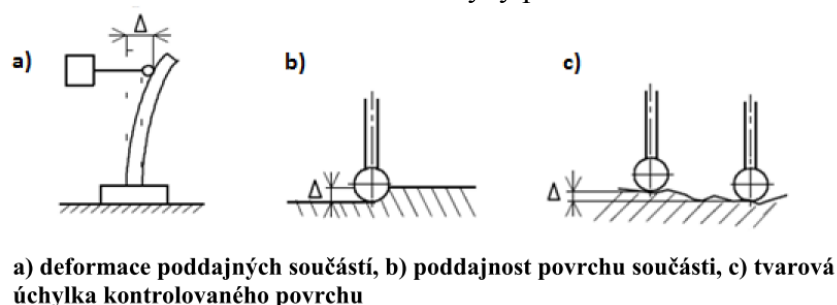
Největší dovolená chyba snímání (MPE_P) – ke stanovení této kontaktní odchylky se měří kalibrační kulička o průměru 10 až 50 mm se zanedbatelnou tvarovou chybou na 25 místech doporučených normou ČSN EN ISO 10360-2. Z takto naměřených hodnot se vypočítá Gaussova vyrovnávací kulička. Rozsah radiálních vzdáleností od kalibrační kuličky nesmí překročit specifikaci [13].

Největší dovolená chyba kontaktního snímání (MPE_{THP}) – pro stanovení snímané kontaktní odchylky se nasnímá kalibrační kulička s průměrem 25 mm, se zanedbatelnou tvarovou chybou, na 4 drahách stanovených normou ČSN EN ISO 10360-4. Při porovnání naměřených hodnot se specifikací MPE_{THP} musí být splněna podmínka: Rozsah radiálních odchylek od kalibrační kuličky nesmí překročit specifikaci, která odpovídá MPE_P . Navíc, je potřeba uvést čas T potřebný k vykonání kontroly, protože rychlost měření má také výrazný vliv na výsledek měření [13].

4.5.1. Přesnost měřící sondy

Důležitou roli v přesnosti měření hraje měřící sonda a měřený objekt, který se pomocí ní měří. Na obrázku č. 30 jsou znázorněné chyby, které vznikají při měření poddajných součástí, součástí s poddajným povrchem nebo součástí s velkou tvarovou úchylkou kontrolovaného povrchu.

Obrázek č. 30 : Chyby při měření

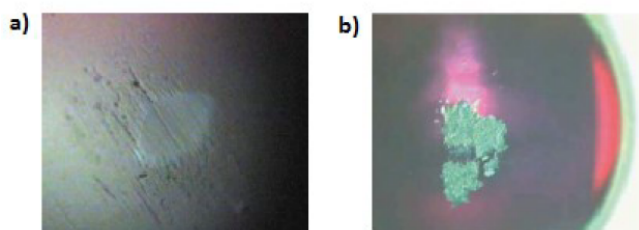


Zdroj: [13, str. 105]

4.5.2. Opotřebení kuličky dotyku

I opotřebení kuličky má výrazný vliv na vznik chyb při měření. Samotné opotřebení vzniká při styku snímací kuličky s měřeným předmětem. V místě dotyku vzniká opotřebení a tak dochází k systematické chybě, kdy skutečný rozměr snímací kuličky má v místě opotřebení jinou hodnotu, než je hodnota se kterou CMM počítá.

Obrázek č. 31 : Opotřebení kuličky dotyku



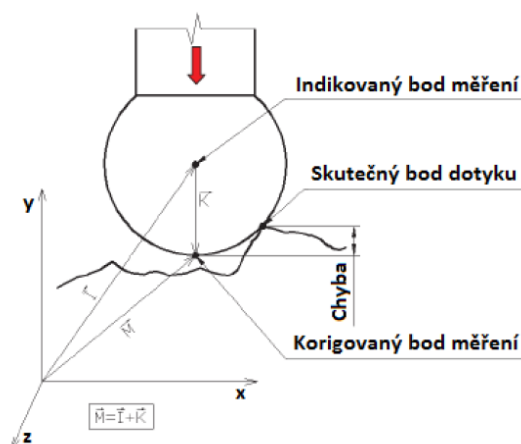
a) Opotřebení otěrem, b) Usazování hliníku na povrchu kuličky

Zdroj: [13, str. 106]

4.5.3. Přepočítání souřadnic měřeného bodu

Hlavním problémem nastává při dotyku snímací sondy s měřenou součástí, kdy často dochází ke zkreslení změřené souřadnice. V okamžiku, kdy se měřící dotek dotkne povrchu měřené součásti, dojde k zaznamenání prostorových souřadnic. CMM přepočítá souřadnice do korigovaného bodu měření, který je předpokládaným bodem na povrchu měřeného objektu. Zde nastává zkreslení výsledků, protože korigovaný bod nemusí být vždy shodný se skutečným bodem dotyku. Korekční vektor se pak rovná poloměru snímací koule a je doplněn o korekci systematické chyby, která vzniká při měření. Celá tato problematika je zachycena na obr. č. 32.

Obrázek č. 32 : Přepočítání souřadnic ze snímaného bodu

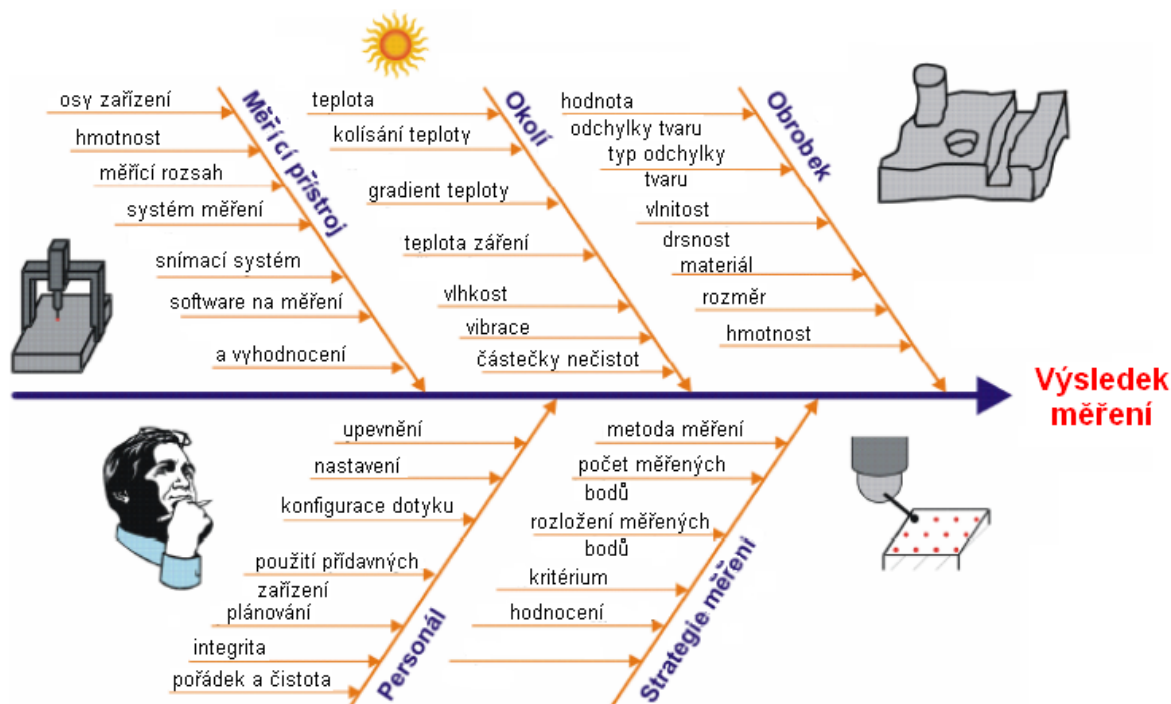


Zdroj: [13, str. 106]

4.5.4. Faktory ovlivňující výsledek měření

Existuje mnoho faktorů, které přispívají k nejistotě měření. Můžeme je rozdělit do několika skupin: měřicí přístroj, okolí, měřený předmět, personál (obsluha stroje), strategie měření. Každá jednotlivá skupina má svůj specifický vliv na velikost odchylky měření od skutečné hodnoty.

Obrázek č. 33 : Faktory ovlivňující výsledky měření



Zdroj: [13, str. 109]

5 Návrh metodiky měření

Souřadnicové měřicí stroje do firmy Carl Zeiss jsou dodávány s obsluhujícími softwary, jde především o HOLOS a měřicí software CALYPSO.

5.1 Software HOLOS

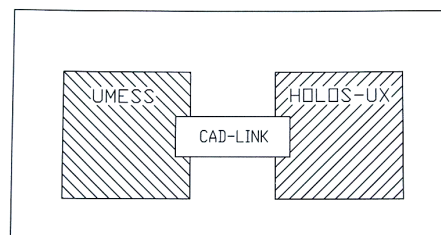
Pro zabezpečení jakosti celého výrobního procesu přistupuje k etapám návrhu (CAD) a procesu vlastní výroby (CAM) požadavek na změření odchylek tvaru zhotoveného výrobku od tvaru navrženého v konstrukci.

V podstatě existují dvě varianty, jak využít měřicí softwary. Pro modely navržené v CAD prostředí je možné porovnat navržený model se skutečnou součástí a změřit tak odchylku od navrženého modelu s měřenou součástí. Pro modely bez vytvořených CAD dat lze proměřením definovaných částí a řezů určit tvar povrchu výrobku tak, aby mohlo být provedeno předání dat do CAD systému pro další zpracování a tvarové úpravy, jde o tzv digitalizaci modelu. HOLOS zajišťuje provedení obou těchto úloh na souřadnicovém měřicím stroji ve spojení s měřicím softwarem UMESS.

Souřadnicové měřicí stroje firmy Zeiss používají jako řídicí a vyhodnocovací počítače pro složitější měření pracovní stanice Hewlett Packard s operačním systémem UNIX. HOLOS je na těchto pracovních stanicích provozován společně s moduly základního měřicího softwaru UMESS, eventuálně s dalšími moduly pro měření ozubení nebo statistických vyhodnocování výsledků měření. Přenos dat mezi CAD/CAM systémem a programem HOLOS je prováděn pomocí síťových přenosů nebo běžných přenosových rozhraní ve standardních formátech, které jsou výstupem prakticky všech využívaných CAD systémů.

Spojení programu HOLOS s měřicím software, a tím s vlastním měřicím strojem, je realizováno pomocí speciálního rozhraní CAD-LINK. Toto rozhraní umožňuje předávání požadavků na měření ze strany HOLOSU a zpětný přenos naměřených dat od měřicího stroje.

Obrázek č. 34 : Systémové rozhraní

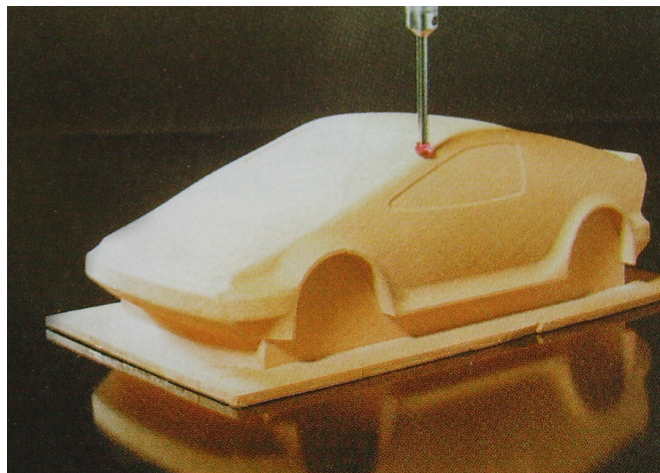


5.1.1 Měření součástí ze zadaných dat CAD systému

Jak již bylo uvedeno, software HOLOS využívá dvě varianty měření. V této diplomové práci se budeme zabývat první variantou, která je využívána v Kalibrační laboratoři ČZ a.s., která porovnává skutečný předmět s teoretickým modelem z CAD systému.

Měřená součást, která je objektem měření, je upnuta do pracovního prostoru souřadnicového měřicího stroje. Proveďte se základní prostorové vyrovnání měřeného objektu. Řídící software dovoluje proměření součásti v definovaných bodech nebo rovinných řezech, pomocí určité sestavené kombinací dotyků.

Obrázek č. 35 : Měření dotykovým snímačem



Zdroj: [8]

Následně je navržená geometrie součásti ve formátu VDA nahrána z CAD systému do software HOLOS. Model je dále zobrazován v grafické části obrazovky tohoto systému. V grafické části obrazovky jsou zobrazovány plochy, stěny těles součásti nebo jednotlivé segmenty ploch, křivky a body. Dále jsou zadány parametry pro průběh měření a na modelu je proveden výběr bodů, v nichž bude vyčíslena odchylka od jmenovité hodnoty. Požadavky jsou pomocí rozhraní CAD-LINK předány měřicímu stroji. Neměřené hodnoty pomocí CMM jsou pak zpětně přeneseny do softwaru HOLOS, kde jsou podle požadavku obsluhy číselně nebo graficky vyhodnoceny.

Pro správné vyhodnocení je důležité početní vyrovnání součásti upnuté v pracovním prostoru měřicího stroje a modelu zadaného v softwaru HOLOS. Správná poloha v HOLOSU je dosažena pomocí tzv. 3D připasování snímaných bodů na součásti k bodům zobrazeného modelu. Tímto způsobem jsou tak určeny korekční hodnoty pro zpřesnění souřadného systému s využitím translací a rotací ve všech stupních volnosti.

Samotné proměření součásti je uskutečněno ručním snímáním bodů na měřícím stroji nebo vyvoláním automatického průběhu měření. Průběh měření je definován v samotném programu HOLOS na zobrazeném modelu.

Pro automatický průběh měření je třeba provést:

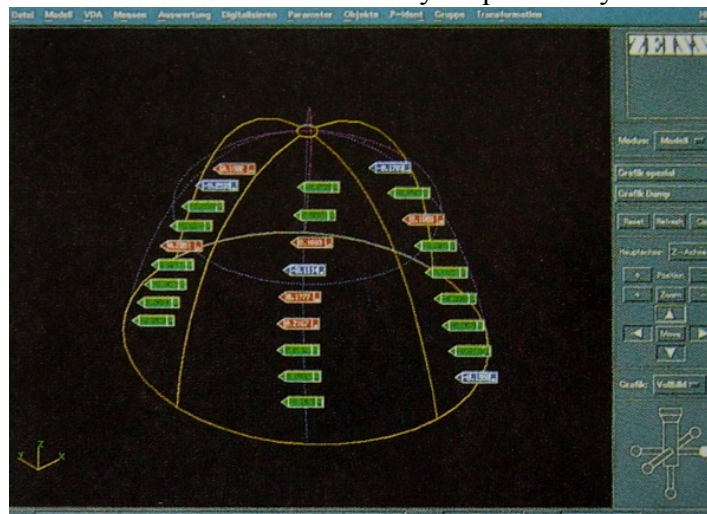
- 1) Výběr všech objektů měření (výběr ploch a segmentů ploch na povrchu předmětu).
- 2) Zadání parametrů průběhu měření pro automatické generování poloh mezi snímáním bodů a bezpečné přejezdy přes části povrchu součásti.
- 3) Výběr bodů, v nichž bude měření vykonáno (graficky na zobrazovaném modelu, číselným zadáním souřadnic nebo převzetím bodů určených v CAD systému). Je možné definovat síť bodů projektovaných na model nebo rastr bodů s možností ovlivnění hustoty generovaných bodů parametrickým popisem a zakřivením plochy.

Nastavení automatických průběhů měření lze uchovávat v označeném katalogu, z něhož mohou být opakovaně využívány.

Z provedených měření lze získat protokol s výpisem vypočtených číselných odchylek od vytvořeného modelu. Hodnocení výsledků měření umožňuje grafické zobrazení odchylek. V závislosti na zadané úloze a požadovaném výsledku měření je možné zvolit optimální způsob zobrazení odchylek.

První možnost zobrazení je ve tvaru symbolů (vlaječek) doplněných o číselný údaj viz obr. 36. Barvy značí polohu odchylky v tolerančním poli, číselná hodnota informuje o velikosti a směru odchylky.

Obrázek č. 36 : Zobrazení odchylek pomocí symbolů

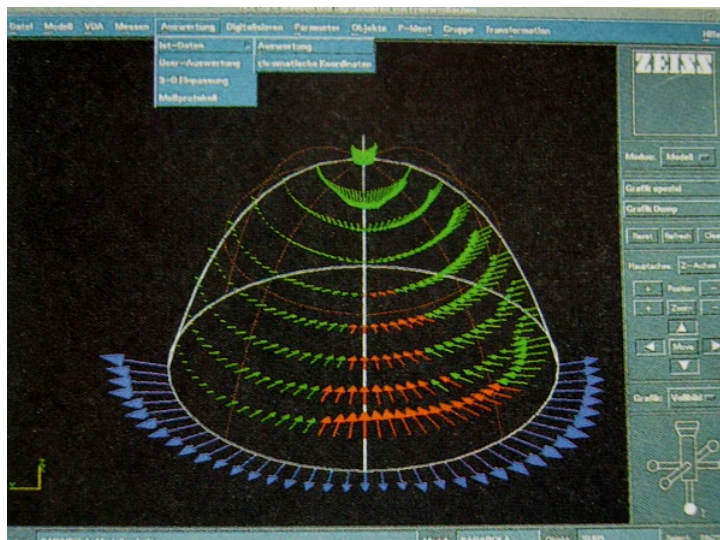


Zdroj: [8]

Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel

Dalším grafickým způsobem, jak zobrazit výsledky je vektorové zobrazení viz obr. 37. Zobrazení je ve tvaru šipek, jejichž velikost a směr určují změřenou odchylku.

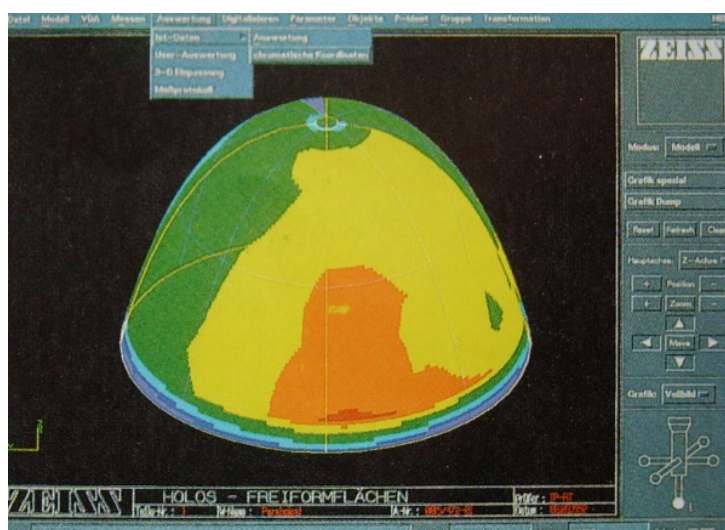
Obrázek č. 37 : Zobrazení odchylek pomocí vektorů



Zdroj: [8]

Poslední možnost zobrazení výsledku měření skýtá zobrazení pomocí chromatických souřadnic viz obr. 38. Výrazná forma zobrazení. Oblastem se stejnou polohou v tolerančním poli je přiřazena stejná barva. Překročení tolerance je signalizováno červenou barvou, chybějící materiál barvou modrou, šířka barevného pásma může být zvolena libovolně.

Obrázek č. 38 : Zobrazení odchylek pomocí chromatického rozhraní



Zdroj: [8]

5.1.2 Příprava měření turbínového kola

Pro měření turbínového kola je nutné použití otočného stolu, který je doplňkem k měřicímu souřadnicovému stroji. Otočný stůl umožňuje jednak upnutí měřeného předmětu, tak zároveň jeho natočení do požadované polohy.

Postup při měření s použitím otočného stolu, který je řízený počítačem:

- 1) Příprava otočného stolu – upínací plocha otočného stolu by měla být zhruba ve směru osy měřicího stroje. Mechanické vyrovnání není bezpodmínečně nutné. Chyba v excentricitě je početně kompenzována.
- 2) Měření s otočným stolem – před začátkem samotného měření je třeba určit osu otočného stolu, která je pak uložena do paměti počítače a spojit vazbu polohy turbínového kola s otočným stolem (systém otočného stolu a turbínové kolo se budou spolu otáčet)

Volba měřících doteků:

Pro samotné měření turbínového kola a osy rotačního stolu je zvolena konfigurace snímačů, která je složena ze svislého snímače, který má průměr kuličky 3mm a bočního snímače o průměru kuličky 2mm.

Obrázek č. 39 : Konfigurace snímačů



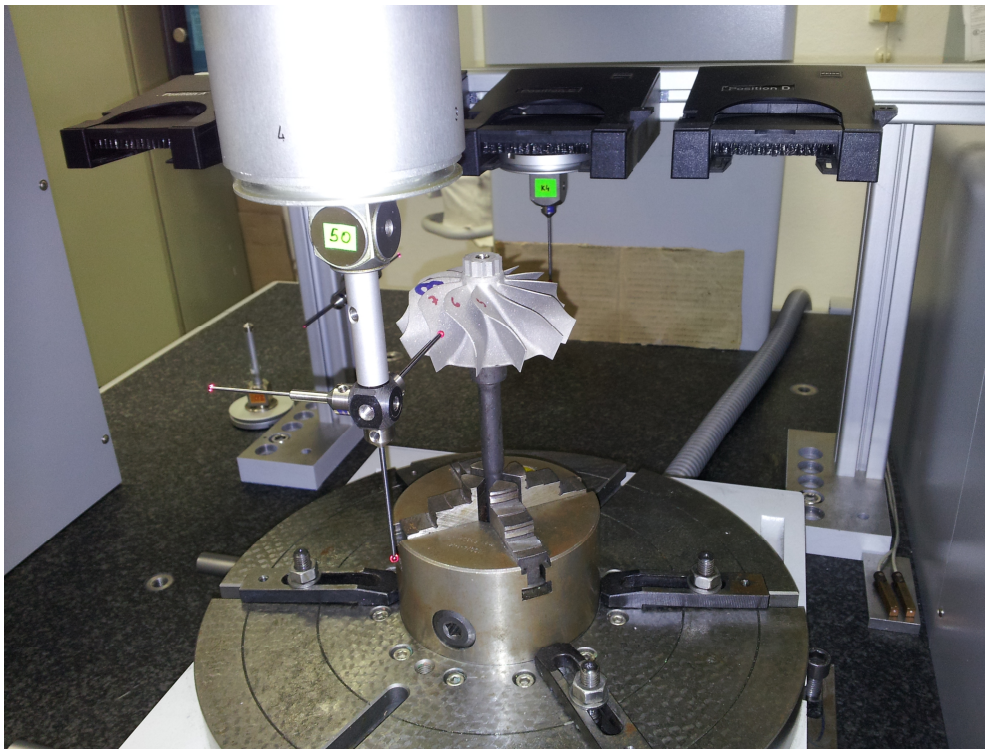
Zdroj: [8]

Upnutí turbínového kola:

Turbínové kolo může být do kalibrační laboratoře dodáno ve dvou provedeních. Jako samotný odlitek, který musí být upnutý do speciálního upínacího přípravku nebo je turbínové kolo dodáno jako obrobek. K obrobku je přivařená hřídel rotoru, která je již z výroby přesně obrobena a je tedy ulehčen způsob upnutí. Naše měření je prováděno na obrobku.

Samotné upnutí je tedy provedeno ve sklíčidle, které je úměrné velikosti hřídele turbínového kola. Sklíčidlo je položeno na otočný stůl a mechanicky vystředěné. Nutné je vyrovnat upnuté turbínové kolo tak, abychom později snímačem obsáhli co možná největší plochu měřené lopatky. Vystředěné sklíčidlo je zaaretováno pomocí kovových upínek.

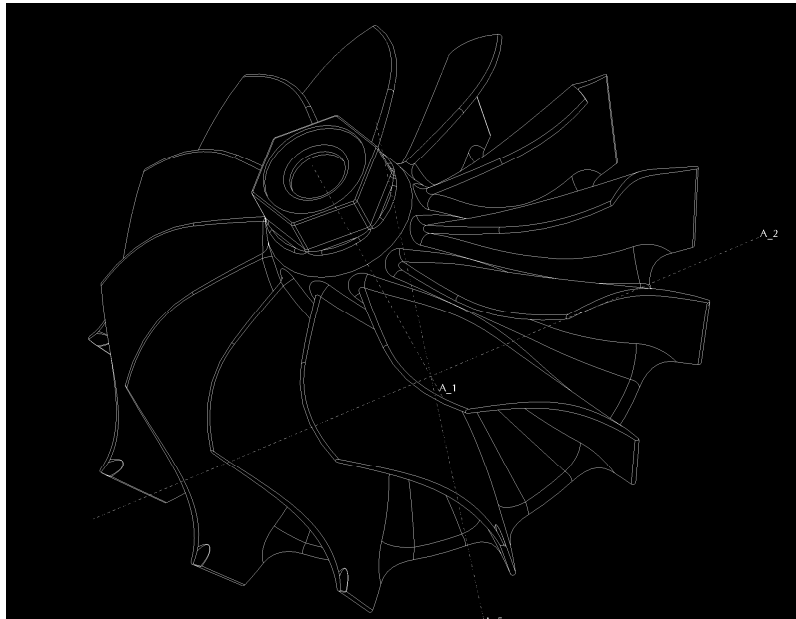
Obrázek č. 40 : Upnutí turbínového kola



5.1.3 Měření ploch lopatek turbínového kola v programu HOLOS

Měření je prováděno pomocí načteného modelu z CAD systému (Pro Engineer). Nejedná se tedy o digitalizaci modelu.

Obrázek č. 41 : Načtený model



Je nutné, aby souřadnicový systém byl shodný, jak pro načtený matematický model (poloha v CAD systému), tak pro systém vytvořený na souřadnicovém stroji. To záleží na vzájemné spolupráci a domluvě s konstrukčním oddělením divize Turbo.

1) Určení polohy součásti v pracovním prostoru CMM (tzv. „W-lage“)

Pro určení polohy je nutné nasnímat spodní plochu turbínového kola (viz obr. č. 42). Snímané body jsou označeny červeně. Minimální počet snímaných bodů je 11. Plocha je následně početně vyrovnána v prostoru a je na ni umístěn nulový bod v ose Z.

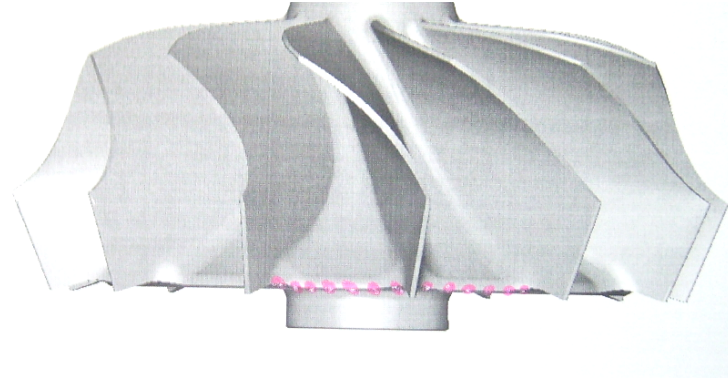
Obrázek č. 42 : Snímání spodní plochy TK



Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel

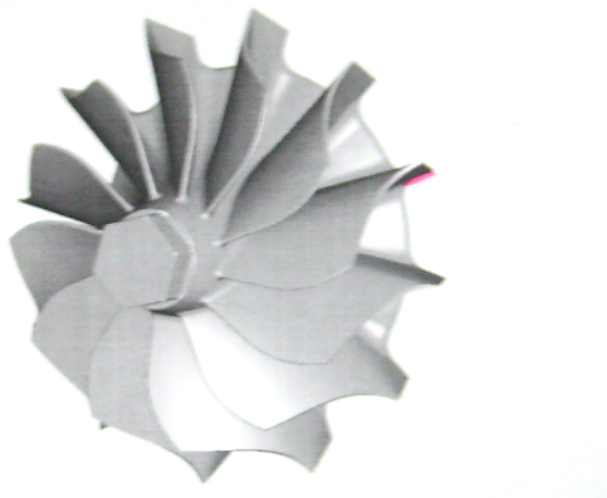
Následně je nutné nasnímat kružnici (minimálně 3 body) na spodní části meridiánu v mezilopátkovém prostoru TK (viz obr. č. 43). Zde je pak umístěn nulový bod v souřadnicích X, Y.

Obrázek č. 43 : Snímání meridiánu TK



V poslední řadě je snímána přímka na spodní části měřené lopatky TK (viz obr. č. 44).

Obrázek č. 44 : Snímání přímky na TK



Z naměřené kružnice a přímky vytvoříme průsečík, který početně otočíme kolem nulového bodu (tzn. že tímto průsečíkem bude procházet osa +X měřícího stroje). Tato poloha „W-lage“ je nakonec uložena do paměti počítače.

2) Načtení modelu do HOLOSU

Model z konstrukčního oddělení je ve formátu VDA zkopírován do pracovní stanice měřicího stroje v programu HOLOS pomocí VDA-Postprocesoru. Tento postprocesor slouží k přeměně souborů VDA na interní formát programu HOLOS. Tato konverze je nutná proto, aby bylo možno načíst data ve formátu VDA do HOLOSU. Vlastní načtení modelu se provádí funkcí „Model načíst“, která vloží model do pracovní paměti a tím i do okna grafiky.

3) Sjednocení souřadné soustavy modelu s polohou a orientací součásti v pracovním prostoru stroje

Sjednocení souřadné soustavy modelu s polohou a orientací součásti v pracovním prostoru stroje označujeme slangově jako 3D připasování. Jde tedy o připasování měřené součásti na základě skutečných hodnot. Pomocí matematického otáčení a posouvání dané součásti jsou skutečné a jmenovité hodnoty natolik překryty, že jejich součet čtverců odchylek je minimální (tzv. Gaussovo kritérium). Z připasování pak vytvoří HOLOS transformační předpis, který zlepší původní vyrovnání, tzv. „W-lage“. Výsledkem je tedy úhel otáčení, posuvový vektor a směrodatná odchylka. Na základě směrodatné odchylky je možné rozhodnout, zda se připasování akceptuje nebo se nechá provést znovu s dalšími skutečnými hodnotami. Zmíněný souřadný systém se musí opět uložit.

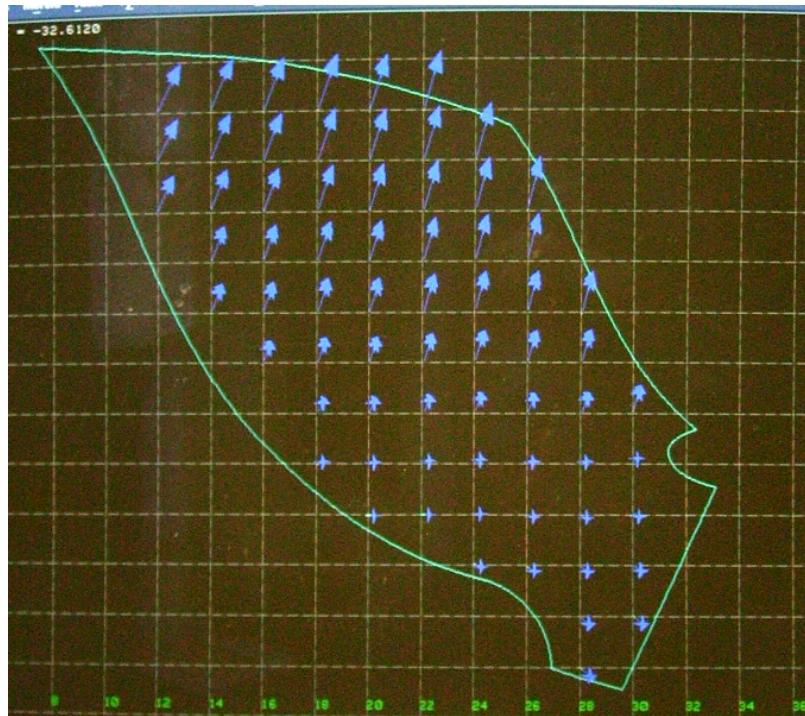
4) Příprava modelu pro měření

Z matematického modelu turbínového kola jsou vytvořeny 2 skupiny. Vnější strana lopatky (konvexní strana) a vnitřní strana lopatky (konkávní strana). Pomocí funkce „grafika-parametry“ zvolíme rastr, kde zadáme rovinu měření X, Z a velikost rastru. Dále je nutné vybrat typ zobrazení odchylek. Při našem měření byl zvolen nejčastější typ, a to praporek s číselnou hodnotou odchylky.

5) Nastavení průběhu měření

Pomocí podfunkce „měřící průběh definovat“ se na monitoru interaktivně vytvoří různé typy měřících průběhů, které můžeme nastavit – mřížka, linie, rastr, měřící body, paralelní křivka. Nejvhodnější zvolenou strategií pro náš účel změření zakřivení lopatky je využít měřící průběh „Linie“, kde jde o vytvoření linií s konstantními vzdálenostmi, na kterých jsou definovány body také s konstantní vzdáleností (viz obr. č. 45).

Obrázek č. 45 : Zobrazení strategie měření



Díky použití strategie „Linie“ je součástí protnutá rovinou, která vznikne promítnutím linie dané součásti. Jmenovité body průběhu měření jsou na liniích zobrazeny jako šipky ve směru normály plochy.

Po definování strategie měření následuje volba „Měřící průběh startovat“, vybereme námi definované linie a stroj začne sám měřit.

6) Výsledek měření jedné lopatky v grafické podobě

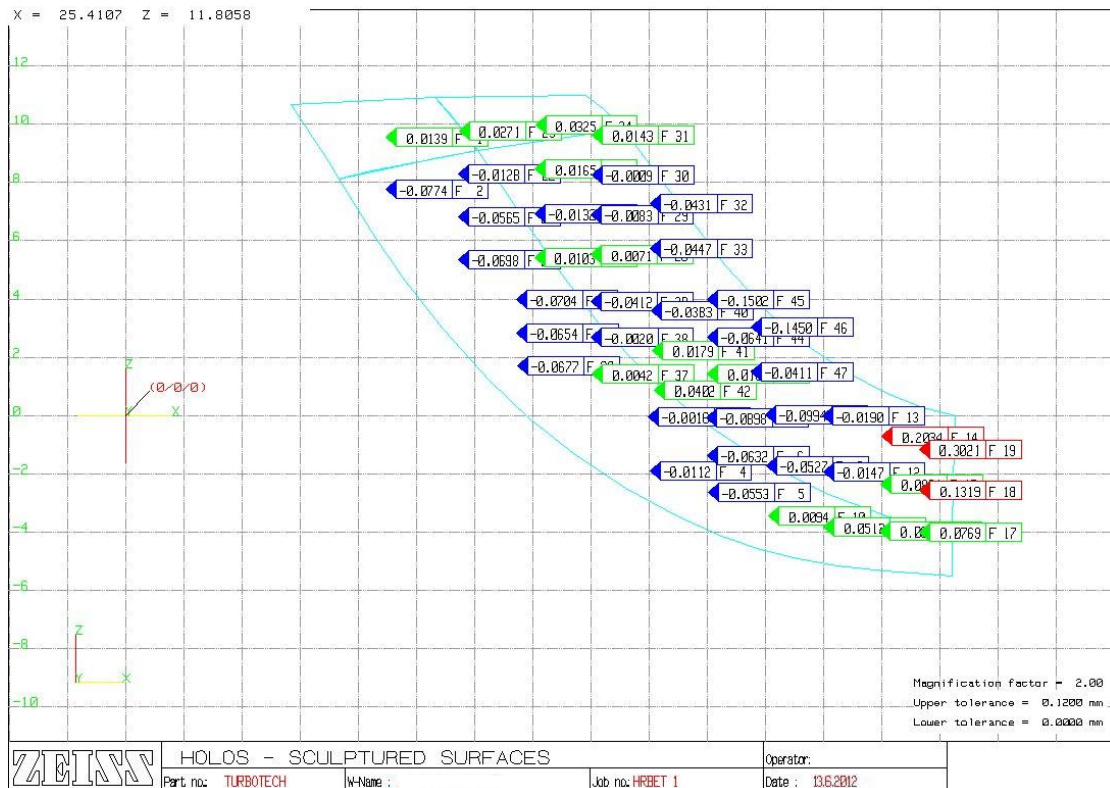
Po proměření první lopatky, celé měření pokračuje dále softwarovým otočením pomocí otočného stolu o 30° (v měřeném případě má turbínové kolo 12 lopatek, proto o 30°) a měření se následně opakuje pro zbývajících 11 lopatek. Stejný je postup i pro proměření dvanácti lopatek na vnitřních (konkávních) stranách s tím, že je pouze vybrána příslušná skupina pro měření vnitřní strany lopatky.

Na obrázcích níže obr. č. 46 a č. 47 je zobrazený výsledek měření jedné lopatky z celkových 12 lopatek. Zelené „praporky“ značí, že měřený rozměr je v daném tolerančním rozmezí pro měřené kolo. Červené upozorňují na překročení toleranční hodnoty (+0,12mm) v měřeném místě. Modré „praporky“ ukazují zápornou hodnotu, která překračuje danou toleranci. Všechny typy praporků jsou doplněné číselnou hodnotou, která ukazuje konkrétní

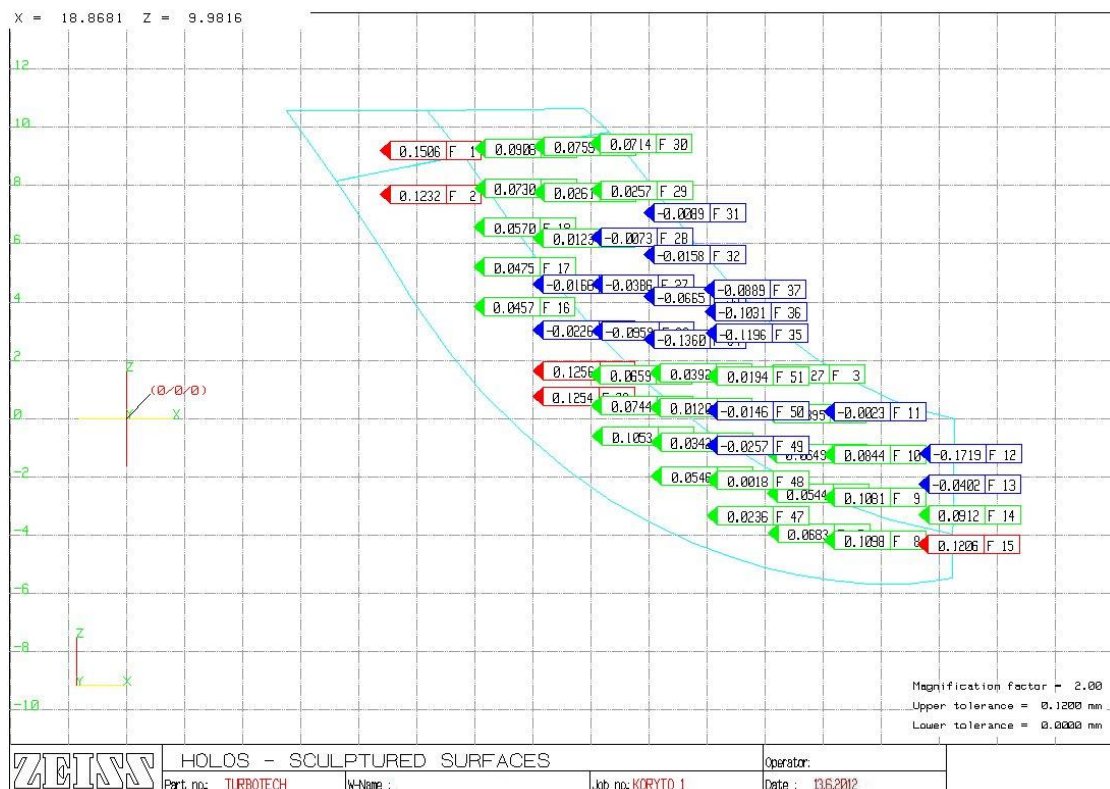
Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel

změřený rozměr. Dále je možné na výsledném protokolu vidět popisek měřené části kola (koryto nebo hřbet), datum měření a nastavené tolerance.

Obrázek č. 46 : Výsledný protokol měření lopatky č.1 - HŘBET



Obrázek č. 47 : Výsledný protokol měření lopatky č.1 - KORYTO



Zbytek výsledných protokolů ostatních lopatek turbínového kola je přiložen v příloze č. 1. Z důvodu velké obsáhlosti výsledků, a do jisté míry i jejich stejnou vizuální podobou jsou v příloze umístěny výsledky pouze lichých lopatek (1,3,5,7,9,11).

5.2 Software CALYPSO

Stejně jako výše popsany software HOLOS ve spojení se softwarem UMESS slouží i měřicí software CALYPSO především pro zabezpečování jakosti výrobního procesu. Umožňuje opět dvě základní možnosti využití při měření. Využití nachází při porovnávání skutečné součásti s připraveným CAD modelem a druhý způsob je v podobě reversního inženýrství, kdy se pomocí naměřených dat vytvoří model. Jako v předchozím případě bude dále v této diplomové práci využíváno softwaru CALYPSO pouze pro porovnávání skutečných rozměrů s navrženým CAD modelem.

CALYPSO na měřicích stanicích je možné provozovat společně s dalšími moduly pro měření ozubení, měření lopatek turbin, měření křivek, parametrizované programování a další. Přenos dat mezi CAD/CAM systémem a programem CALYPSO je prováděn pomocí síťových přenosů nebo běžných přenosových rozhraní ve standardních formátech, které jsou výstupem prakticky všech využívaných CAD systémů.

Samotný software CALYPSO pracuje na pokročilejších verzích operačního systému WINDOWS. Je tedy možné s tímto programem pracovat na různých typech souřadnicových měřicích strojů, přičemž jeho přednosti neovlivňuje typ používaného souřadnicového stroje.

Software CALYPSO je postaven na metodě vytváření a správy plánů měření tzv. Visual Metrology. Ve zkratce lze tuto metodu popsat následovně. Z CAD modelu jsou vybrány tolerance podle požadavků dané součásti. Následně se definují měřené prvky, které se budou vyhodnocovat za pomoci integrovaného asistentu, který obsluhu podporuje při výběrů potřebných referencí a tak je vytvořen plán měření. Výhody jsou zde v podobě velké časové úspory, odpadá zde jakékoliv programování, je možné vytvořit jeden program pro určitou komponentu na součásti a tento vytvořený průběh libovolně často opakovat, snadné změnění plánu měření přizpůsobením určité části strategie, není nutno tak předělávat celý program.

Jako ostatní softwary, tak i CALYPSO měří manuálně a plně automaticky (CNC) způsobem měření, které je typické pro sériovou výrobu.

Základní vlastnosti softwaru:

1) CAD

- přímé rozhraní pro CAD systémy (není potřeba postprocesoru)
- snadné a rychlé generování jmenovitých hodnot a převzetí tolerancí
- možnost simulace měření

2) Programování

- možnost flexibilní úpravy průběhu měření
- využívání flexibilní programové knihovny
- automatická kalibrace snímačů

3) Měření

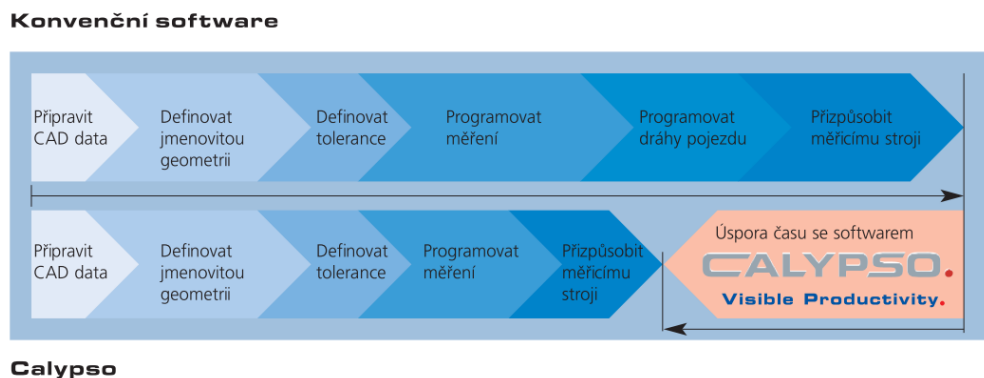
- využívá 3. generaci měření
- rychle manuální měření
- zobrazení tolerancí

4) Vyhodnocení

- specifické zobrazení výsledků dle požadavků uživatele
- rychlé získání výstupního protokolu
- snadné a celkové zobrazení výsledků

Jeden z hlavních přínosů od softwaru CALYPSO je jeho krátká doba pro vytvoření hotového programu na rozdíl od předešlých systémů. Časová úspora je nejvíce ovlivněna samotným programováním a vytvořením bezkolizního průběhu měření. Uživatel je schopen vytvořit plány měření až o 75% rychleji a díky technologii VAST Navigator je i průběh měření o 15-65% rychlejší.

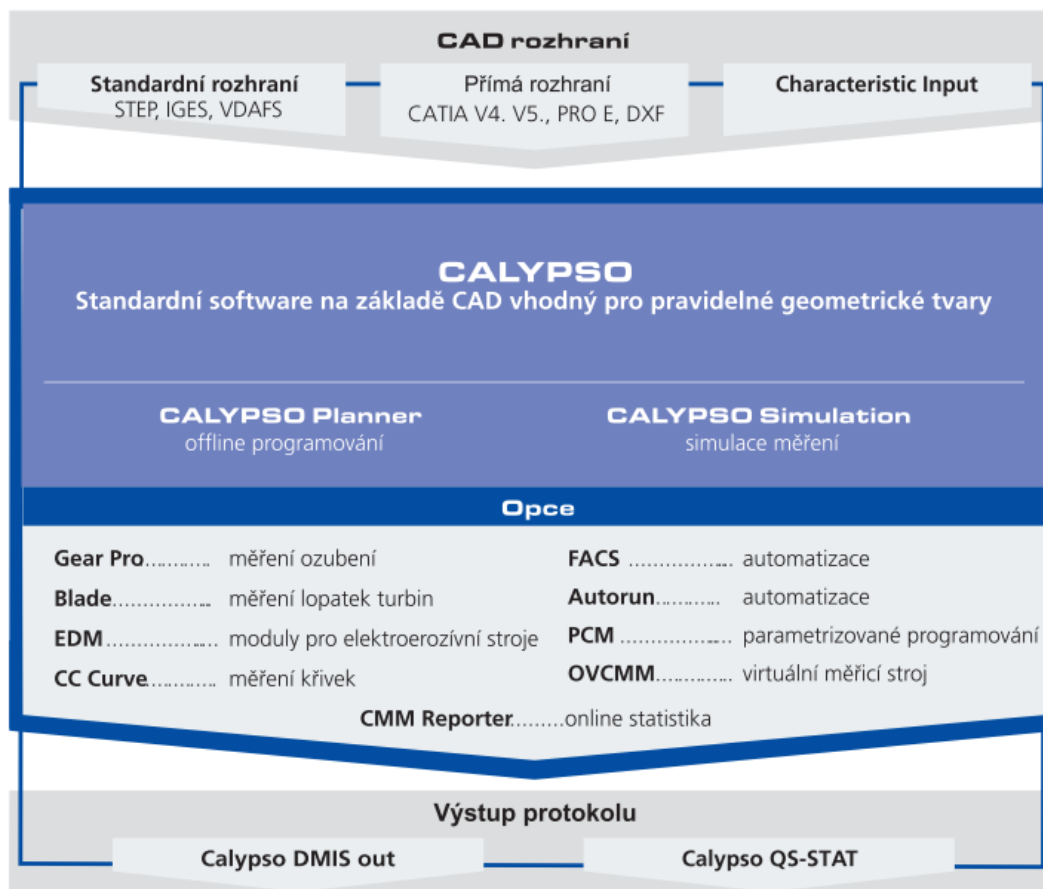
Obrázek č. 48 : Porovnání softwaru



Zdroj: [15]

Měřicí software CALYPSO a jeho programová struktura je zobrazena na obr. č. 49.

Obrázek č. 49 : Software CALYPSO



Zdroj: [15]

Po dobu vypracování této práce byla v KL ČZ a.s. využívána časově omezená verze programu CALYPSO společně s opcí Curve (měření křivek). Díky tomu bylo možné poměrně v krátké době porovnat doposud používaný program HOLOS s novým softwarem CALYPSO, který společnost Zeiss dodala pro zkušební účely.

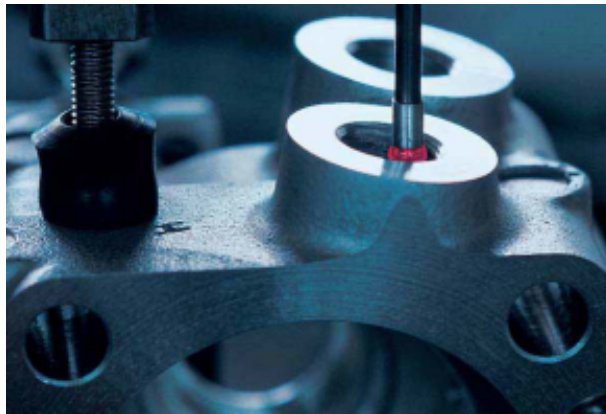
Opcí pro měření křivek umožňuje spolehlivé měření všech typů turbodmychadel, vačkových hřídelí, šroubových kompresorů a poskytuje tak přesné výsledky pro měření těchto tvarově složitých součástí. Hlavním přínosem měřicího programu CALYPSO společně s opcí pro měření křivek je možnost sladění pohybu měřicího doteku společně s otočným stolem. To dosud nebylo možné a měření probíhalo snímáním jednotlivých bodů. Díky novému softwaru je tedy možno nasnímat křivku, která charakterizuje zakřivení lopatek díky neustálému kontaktu a plynulému posouvání měřicí kuličky po zakřivené lopatce turbínového kola otáčející se díky RT. Vzniká tzv. kontinuální skenování.

5.2.1 Měření součástí ze zadaných dat CAD systému

V Kalibrační laboratoři ČZ a.s., je využíván software CALYPSO především pro měření jmenovitých hodnot dle požadavků zadavatele konkrétního měření a také jako v našem případě pro porovnávání skutečného měřeného předmětu s teoretickým modelem, který je vytvořen v CAD systému.

Součást, která bude měřena, je upnuta do pracovního prostoru souřadnicového měřicího stroje. Provede se základní prostorové vyrovnání součásti. Software CALYPSO umožňuje proměření součásti, jak v definovaných konkrétních bodech, tak v potřebných řezech dle zadání obsluhy stroje pomocí určité sestavy kombinací dotyků.

Obrázek č. 50 : Měření dotykovým snímačem



Zdroj: [15]

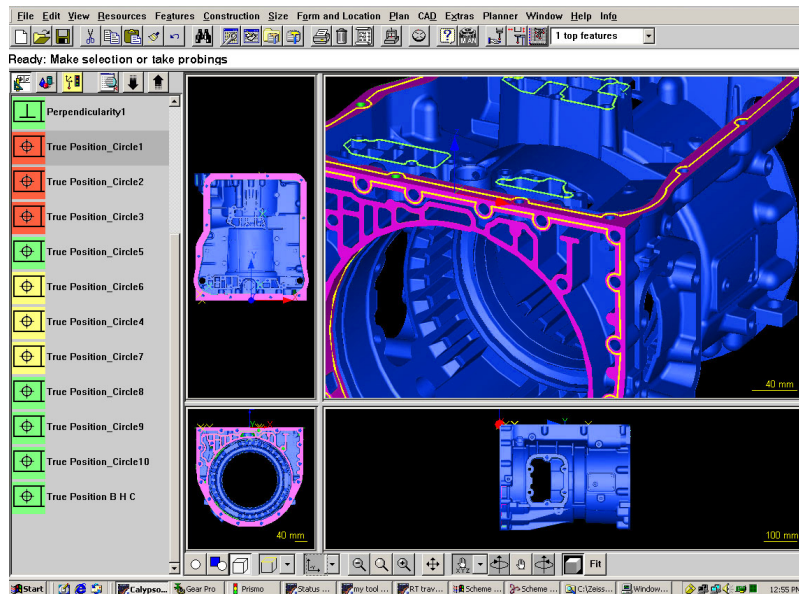
Následně se navržená geometrie součásti z CAD systému načítá do CALYPSA. Tento měřicí software bez problémů načítá běžné datové formáty jako DXF, IGES, VDA, STEP a mnohé formáty různých CAD systémů např. CATIA, ProE. Odpadá tedy jakákoliv konverze mezi programy, která často působí nemalé problémy a je častou příčinou vzniku nepřesností. V divizi Tubro spadající do ČZ a.s. odkud je model nahráván do KL je používán konstrukční program ProEngineer a data jsou zde přenášena pomocí formátu VDA.

Načtený model je dále zobrazován v grafické části obrazovky měřicího systému CALYPSO. V grafické části obrazovky jsou zobrazovány plochy, stěny těles součásti nebo jednotlivé segmenty ploch, křivky a body. Dále je nutné definovat jmenovitou geometrii a definovat tolerance. Všechny tolerance rozměrů lze převzít přímo z CAD modelu a přiřadit je příslušnému měřenému prvku, což celé měření velmi zrychluje. Jakmile definujeme měřený

prvek, vytvoří CALYPSO strategii měření pro daný prvek. Odpadá zde programování dráhy pojezdu. Program sám generuje optimální pojezd snímače kolem měřené součásti a správné najíždění k měřeným segmentům.

CALYPSO umožňuje komfortní grafické rozhraní, na které není nutné využívání zvláštních znalostí a zkušenosti z CAD prostředí. Obsluha je usnadněna pomocí možnosti vyvolávání pomocných textů, které popisují a vysvětlují jednotlivé obsluhovací kroky.

Obrázek č. 51 : Zobrazení modelu v CALYPSU



Zdroj: [16]

Grafické zobrazení umožňuje několik různých typů pohledů do zvolených rovin. Veškeré prováděné akce na obrazovce je možné provádět s drátovým modelem nebo ve stínovém zobrazení modelu v různých barevných kombinacích. Veškerý pohyb, výběr objektů, atd. v grafickém rozhraní je umožňován jednoduše s využitím pohybu a tlačítek na myši. Drtivá většina prováděných funkcí je aktivována přes roletové menu nebo zobrazená softwarová tlačítka na základní obrazovce.

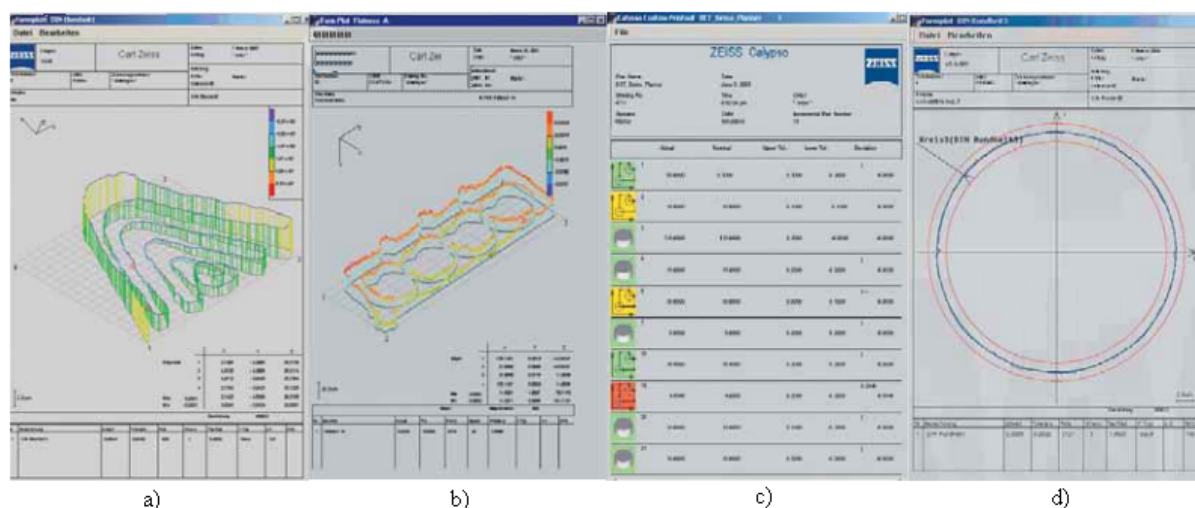
Ke správnému vyhodnocení je důležité početní vyrovnání součásti upnuté v pracovním prostoru měřicího stroje a modelu zadaného v software CALYPSO. Jde tedy o sjednocení souřadné soustavy modelu s polohou a orientací součásti v prostoru stroje neboli připasování. Dojde tak k připasování snímaných bodů na součásti k bodům zobrazeného modelu. Tímto způsobem jsou určeny korekční hodnoty pro zpřesnění souřadného systému s využitím translací a rotací ve směru všech souřadných os.

Samotné proměření součásti je možné provést ručním snímáním bodů na měřicím stroji nebo vyvoláním automatického průběhu měření. Pro automatický průběh měření je třeba nastavit správnou strategii měření, kterou bude stroj využívat. Nastavení automatických průběhů měření lze uchovávat v označeném katalogu, z něhož mohou být opakovaně využívány.

Ze všech provedených měření lze získat protokol s výpisem vypočtených číselných odchylek od vytvořeného modelu. Hodnocení výsledků měření umožňuje CALYPSO také v grafické podobě zobrazení odchylek. Vše je závislé na požadovaném výsledku měření a tedy na vhodné volbě způsobu zobrazení odchylek.

Všechny možnosti zobrazení výsledků, které program CALYPSO umožňuje, jsou zobrazeny na obr. č. 52.

Obrázek č. 52 : Možnosti zobrazení výsledků měření



Zdroj: [15]

Na prvním obr. č. 52 a) je vektorové zobrazení tolerancí. Odstíny barev určují velikost konkrétní tolerance. Hodnotu tolerance lze zjistit dle porovnání s barevnou škálou v pravé horní části obrázku.

Druhý obr. č. 52 b) vyjadřuje odchylky vyjádřené chromatickým spektrem. Překročení tolerance je zde charakterizováno červenou barvou. Šířka tolerančního pole a jeho barevná škála s číselnou hodnotou je opět zobrazena v pravém horním rohu obrázku.

Jediné zobrazení výsledků, které není grafické, zobrazuje obr. č. 52 c), jsou zde vypsány konkrétní naměřené hodnoty společně s tolerančním rozmezím.

Poslední grafickou metodu zobrazení výsledků, kterou CALYPSO nabízí je zobrazení v podobě křivek obr. č. 52 d). Nominální hodnota je v křivkovém grafu zobrazena černou barvou. Modrá barva křivky vyjadřuje skutečnou naměřenou hodnotu a toleranční pole je dáno barvou červenou.

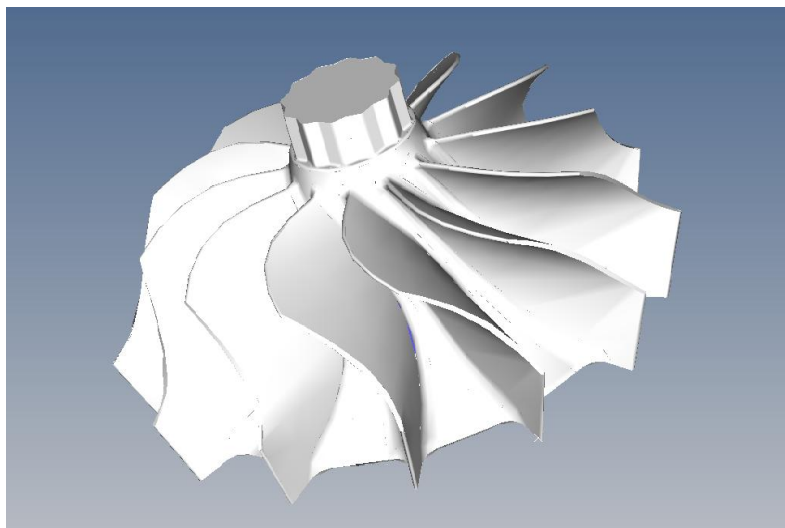
5.2.2 Příprava měření turbínového kola

Celá příprava pro měření turbínového kola, použití otočného stolu, konfigurace doteků a upnutí turbínového kola je totožná jako při měření v programu HOLOS viz. kapitola 5.1.2.

5.2.3 Měření ploch lopatek turbínového kola v CALYPSU:

Měření je prováděno pomocí načteného modelu z CAD systému (Pro Engineer).

Obrázek č. 53 : Načtený model



Je nutné, aby souřadnicový systém byl shodný, jak pro načtený matematický model (poloha v CAD systému), tak pro systém vytvořený na souřadnicovém stroji. To záleží na vzájemné spolupráci a domluvě s konstrukčním oddělením divize Turbo.

1) Načtení modelu do CALYPSA

Model z konstrukčního oddělení je ve formátu VDA zkopírován do pracovní stanice měřicího stroje.

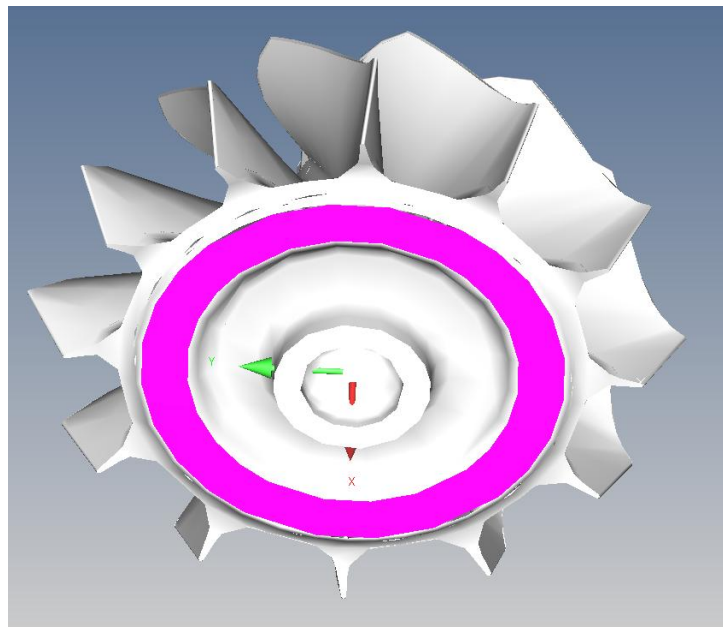
2) Nastavení geometrie na modelu v CALYPSU

V měřícím softwaru jsou označeny geometrické elementy, které budou určovat souřadný systém při samotném měření.

3) Určení polohy součásti v pracovním prostoru CMM

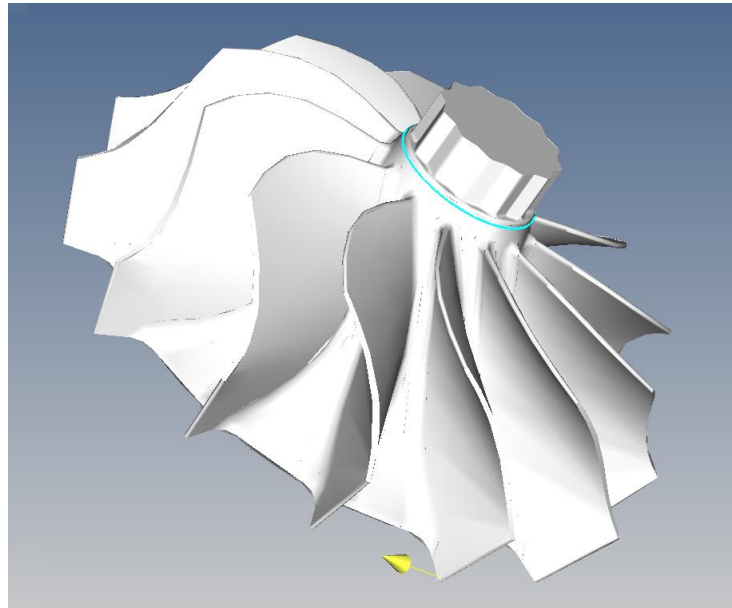
Nastavené geometrické elementy jsou následně snímány na skutečné součásti. Pro určení polohy je nutné nasnímat spodní plochu kolečka turbínového kola (viz obr. č. 54). Snímají se minimálně tři body pro určení dané plochy. Nasnímaná plocha je na obrázku označena fialovou barvou. Plocha je následně početně vyrovnána v prostoru a je na ni umístěn nulový bod v ose Z.

Obrázek č. 54 : Snímání spodní plochy TK



Dále je nutné nasnímat kružnici na vrchlíku turbínového kola, opět pomocí minimálně třech bodů a v poslední řadě je snímán jeden bod pomocí měřícího dotyku na spodní části měřené lopatky TK (viz obr. č. 55). Z naměřené kružnice a přímky je vytvořen průsečík, kterým bude procházet osa X,Y měřícího stroje. Změřené údaje jsou uloženy do paměti počítače.

Obrázek č. 55 : Snímání kružnice a bodu na TK



Naposledy je v měřicím softwaru nastaven bezpečnostní kvádr, který zabezpečuje odjezdy při měření do bezpečné roviny. Tento kvádr může být převzat ze samotného CAD modelu, jako je to v našem případě nebo ho lze zastavit v samotném CALYPSU.

4) Určení osy rotačního stolu

Pomocí nasnímání kružnice na skutečně měřené součásti je vytvořena osa otočného stolu. Excentricita osy je softwarově vyrovnána a hodnota vyrovnání uložena do paměti počítače.

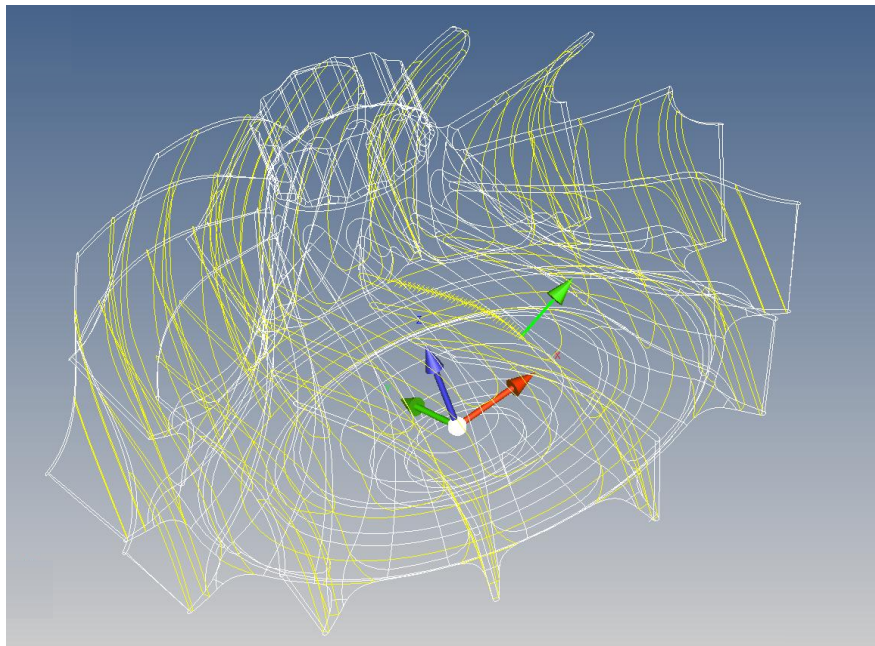
5) Sjednocení souřadné soustavy modelu s polohou a orientací součásti v prostoru stroje

Slangově nazývané jako připasování měřené součásti na základě skutečných hodnot. Pomocí matematického otáčení a posouvání dané součásti jsou skutečné a jmenovité hodnoty natolik překryty, že jejich součet čtverců odchylek je minimální (tzv. Gaussovo kritérium). Z připasování pak vytvoří CALYPSO transformační předpis, který zlepší původní vyrovnání. Výsledkem je tedy úhel otáčení, posuvový vektor a směrodatná odchylka. Na základě směrodatné odchylky je možné rozhodnout, zda se připasování akceptuje nebo se nechá provést znovu s dalšími skutečnými hodnotami. Zmíněný souřadný systém se musí opět uložit.

6) Definice měřících průběhů

Z modelu turbínového kola jsou vytvořeny 2 skupiny měřených částí. Vnější strana lopatky (konvexní strana), která je v měřícím protokolu nazývána jako hřbet a vnitřní strana lopatky (konkávní strana) pojmenována jako koryto. Po konzultaci s divizí Turbo a na základě jimi požadovaných výsledků byla dohodnuta měřící strategie v podobě řezů válcem. Počet řezů se odvíjí od průměru kola. V našem případě je řezů pět. ($R=17,5\text{mm}$, $R=22,4\text{mm}$, $R=28,5\text{mm}$, $R=32,5\text{mm}$, $R=34,5\text{mm}$).

Obrázek č. 56 : Zobrazení strategie měření- řezy turbínového kola



Dále je nutné vybrat typ zobrazení odchylek. V našem měření byl zvolen typ křivek, který je pro tvarové hodnocení lopatek nejvhodnější. Díky použití strategie „Řezy“ je součástí protnutá válci. Před samotným měřením je nutné ještě správným pootočením RT nastavit přístupnost mezer mezi lopatkami tak, aby byl umožněn co možná nejlepší kontakt měřícího dotyku s lopatkou. Poloha natočení RT je uložena do počítače. Po definování strategie měření následuje samotné měření stroje, které je provedeno automaticky.

7) Výsledek měření jedné lopatky v grafické podobě


Na obrázku č. 57, č. 58, č. 59, č. 60, č. 61 je zobrazený výsledek měření všech pěti řezů na první měřené lopatce. Po změření první lopatky (hřbet i koryto) měření dále pokračuje softwarovým otočením pomocí otočného stolu o 30° (v měřeném případě má turbínové kolo 12 lopatek, proto o 30°), software automaticky k první uložené hodnotě RT přičte zmíněných 30° a měření může probíhat na další lopatce, až je změřené celé kolo. Pro snadnější orientaci při měření jsou lopatky označeny čísly.

Orientace na výsledném listu měření je jednoduchá. Vlevo je zobrazená křivka koryta a v pravé části křivka hřbetu. Popisky nad změřenými křivkami udávají část turbínového kola, která je výsledkově zobrazena. Např.: tvar_1L_K1 udává, že byla měřená 1 lopatka a její koryto prvním řezem. Tvar_1L_H1 značí měření první lopatky a jejího hřbetu prvním řezem.

Červená křivka udává velikost tolerančního pole (+0,12mm). Černou barvou je zobrazena nominální hodnota zakřivení turbínového kola. Modrá barva křivky udává skutečně naměřené hodnoty.

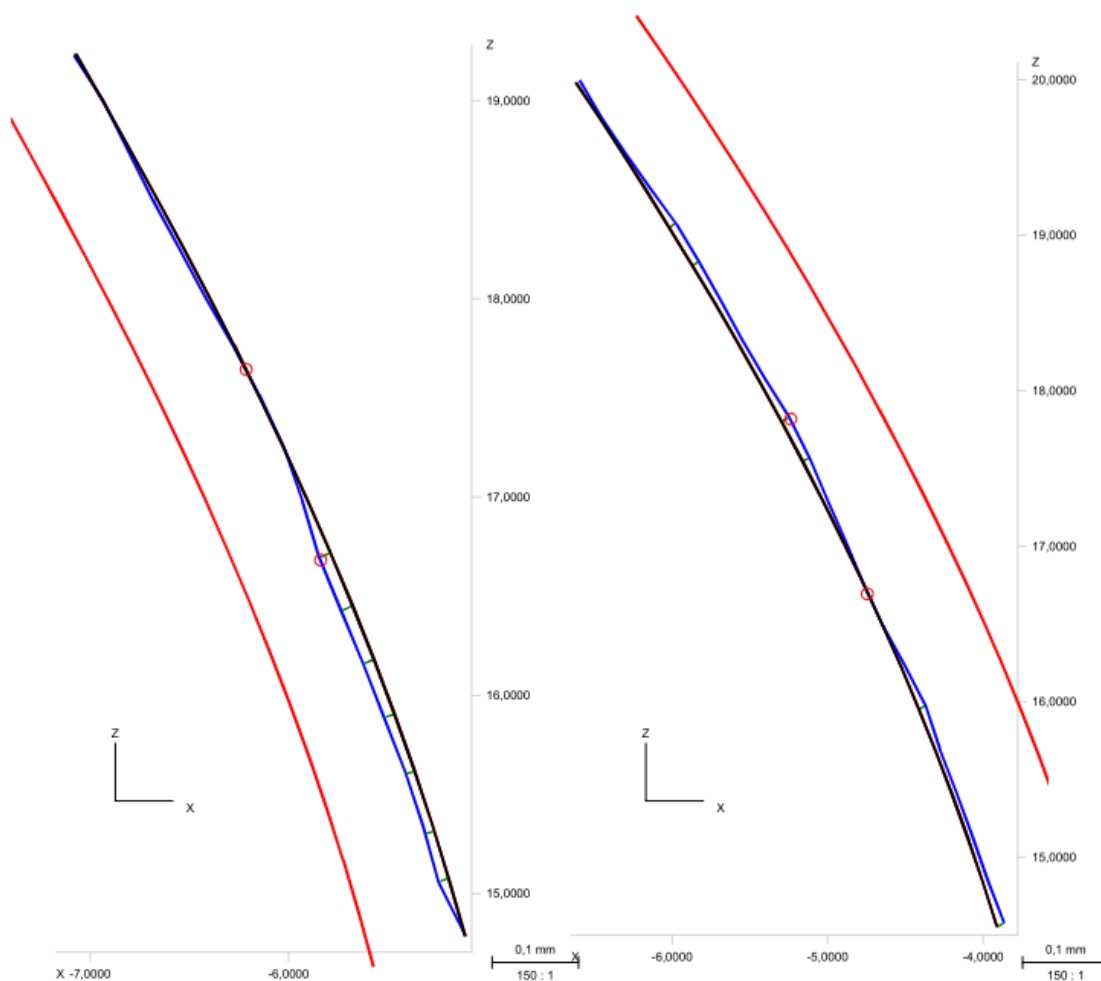
V tabulce ve spodní části protokolu jsou zobrazeny číselné hodnoty měření, je zde uvedena minimální a maximální odchylka měření, která je v grafické části zobrazena červenými kroužky na jednotlivých křivkách. Hodnoty tolerancí, připasování a počet bodů měření, které vymezí řezy.

Obrázek č. 57 : Výsledek měření první lopatky – řez 1

	Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Zakázka
Název plánu měř.			Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_1L_K1

2: tvar_1L_H1



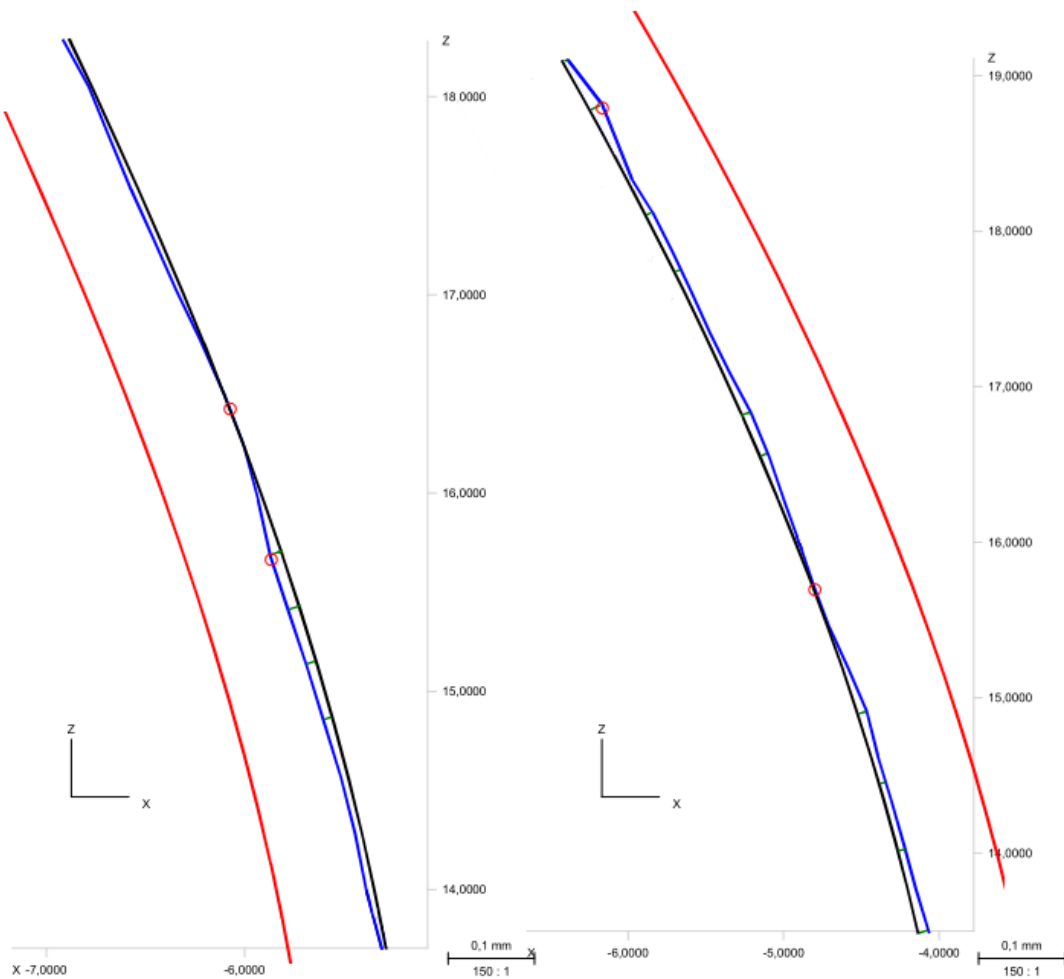
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K1	0,0063	0,0116	18	0,0000	0,1200	16	-0,0017	11	0,0179
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]2,2842	Y [mm]2,3901	Z [mm]1,5821	Otáčení	X 8,4690	Y -6,1318	Z -4,5954	
2	tvar_1L_H1	0,0036	0,0058	22	0,0000	0,1200	9	-0,0010	8	0,0140
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]1,6069	Y [mm]0,9343	Z [mm]0,8575	Otáčení	X 3,7025	Y -3,7800	Z -2,6765	

Obrázek č. 58 : Výsledek měření první lopatky – řez 2

	Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Zakázka
Název plánu měř.			Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_1L_K2

2: tvar_1L_H2



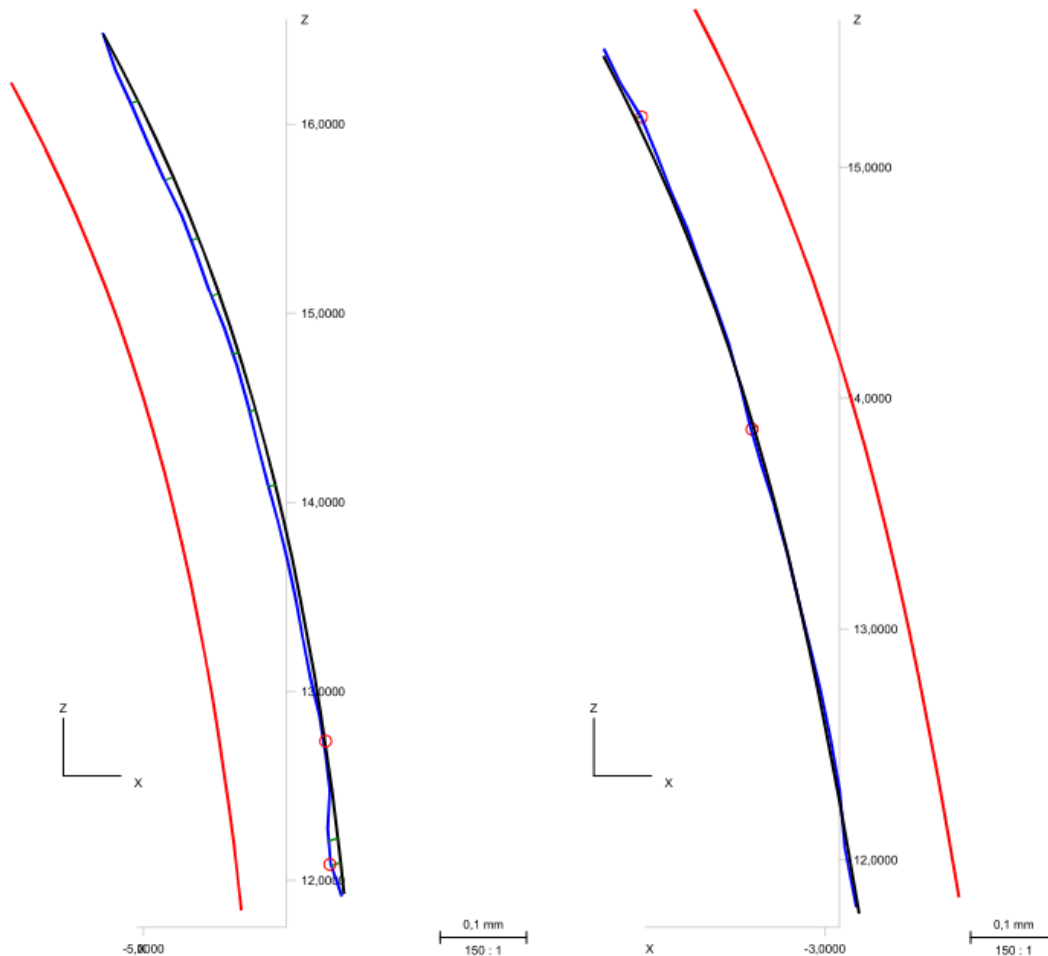
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K2	0,0053	0,0126	29	0,0000	0,1200	18	-0,0010	11	0,0181
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]3,8423	Y [mm]2,2901	Z [mm]2,6731	Otáčení	X 6,1030	Y -4,1823	Z -7,5412	
2	tvar_1L_H2	0,0032	0,0108	32	0,0000	0,1200	9	0,0011	13	0,0192
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]2,6609	Y [mm]3,3434	Z [mm]1,8594	Otáčení	X 5,9152	Y -8,7034	Z -1,5342	

Obrázek č. 59 : Výsledek měření první lopatky – řez 3

	Calypso 4.10.06	Carl Zeiss		Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu		Zakázka
Název plánu měř.				Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_1L_K3

2: tvar_1L_H3

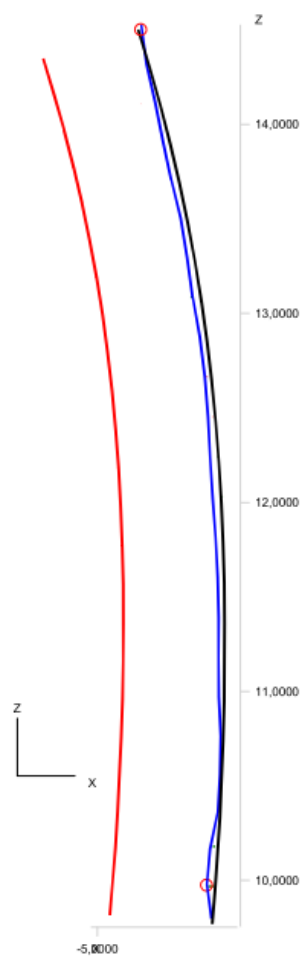


Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K3	0,0051	0,0143	42	0,0000	0,1200	1	0,0008	23	0,0165
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]2,2486	Y [mm]2,6762	Z [mm]6,8206	Otáčení	X 18,4961	Y 0,6373	Z -7,5266	
2	tvar_1L_H3_	0,0031	0,0104	44	0,0000	0,1200	11	-0,0022	19	0,0076
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]2,9915	Y [mm]3,7021	Z [mm]7,9098	Otáčení	X 21,0770	Y -0,9944	Z -8,2108	

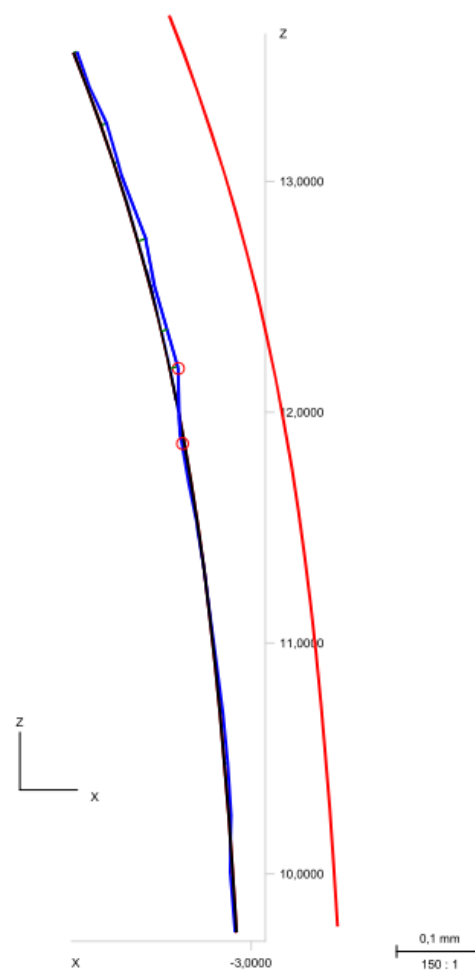
Obrázek č. 60 : Výsledek měření první lopatky – řez 4

	Calypso 4.10.06	Carl Zeiss		Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení:	Zakázka
Název plánu měř.			Operátor Master	Podpis:

1: tvar_1L_K4




2: tvar_1L_H4

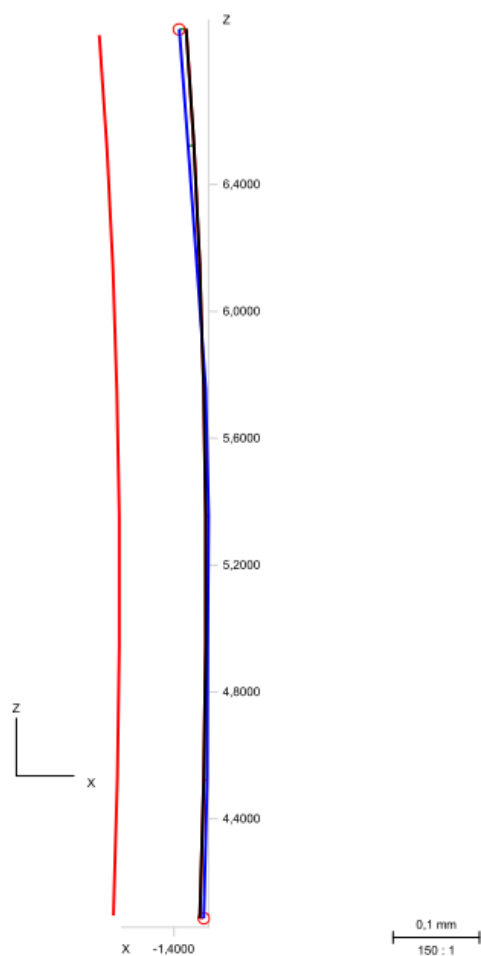


Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K4	0,0030	0,0103	36	0,0000	0,1200	7	-0,0016	17	0,0129
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]3,4896	Y [mm]4,6234	Z [mm]8,3061	Otáčení	X 14,6198	Y 1,4678	Z -9,6263	
2	tvar_1L_H4	0,0041	0,0121	37	0,0000	0,1200	12	-0,0012	15	0,0092
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]3,9154	Y [mm]6,5421	Z [mm]5,7098	Otáčení	X 19,8900	Y 1,4423	Z -6,1098	

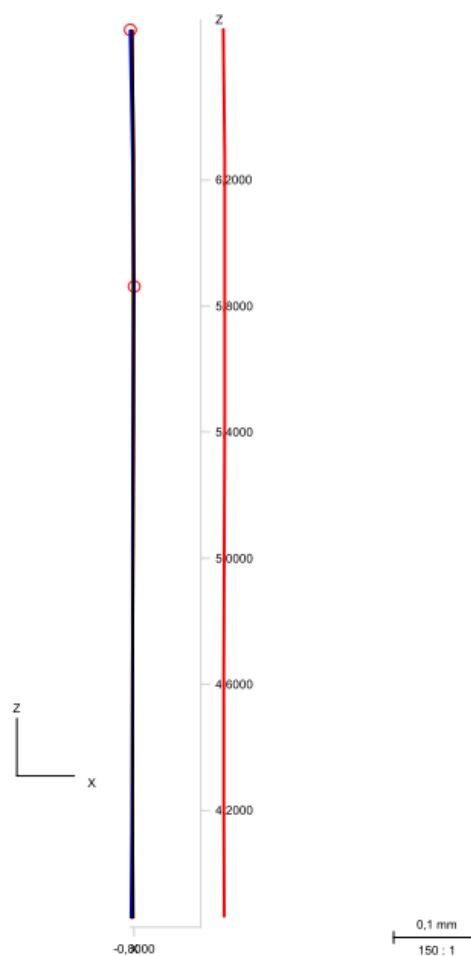
Obrázek č. 61 : Výsledek měření první lopatky – řez 5

	Calypso 4.10.06	Carl Zeiss		Datum Zakázka	18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu		Oddělení: Operátor Podpis:	Master
Název plánu měř.					

1: tvar_1L_K5



2: tvar_1L_H5



Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K5	0,0029	0,0149	11	0,0000	0,1200	7	-0,0020	1	0,0078
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]24,5409	Y [mm]16,6985	Z [mm]9,6898	Otáčení		X 17,6291	Y 12,4377	Z -59,4257
2	tvar_1L_H5	0,0013	0,0032	10	0,0000	0,1200	6	-0,0012	6	0,0010
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]-25,3315	Y [mm]15,4317	Z [mm]0,1716	Otáčení		X 0,5628	Y -0,3234	Z 60,8731

Zbytek výsledkových listů ostatních lopatek turbínového kola je přiložen v příloze č. 2. Z důvodu velké obsáhlosti výsledků a do jisté míry i jejich shodnou vizuální podobou jsou v příloze umístěny výsledky pouze lichých lopatek (1,3,5,7,9,11).

5.3 Přínosy programu CALYPSO a ekonomické hodnocení

V Kalibrační laboratoři ČZ a.s. byly porovnávány dva programy používané pro zde prováděné měřicí účely. Srovnání proběhla na měření tvarově složitého turbínového kola, tedy při měření jednoho z nejsložitějšího dílů, které se v současné době v laboratoři měří.

Přínosy po upgradu na software CALYPSO:

- 1) CALYPSO umožňuje kontinuální skenování tvarových ploch
 - měřicí dotek je v neustálém kontaktu s měřeným předmětem na rozdíl od rastru bodů, který je měřen v HOLOSU
- 2) Měření křivek
 - opce pro měření křivek umožňuje nasnímání křivek, které jsou charakteristické pro tvarovou plochu
- 3) Využívání postprocesoru
 - odpadá použití postprocesoru sloužící k přeměně souborů VDA na interní formát programu HOLOS
- 4) Zkrácení doby měření
 - díky zrušení pojezdů mezi měřenými body (kontinuální skenování - neustálý kontakt s měřeným předmětem) je měření výrazně kratší
- 5) Rychlá volba strategie měření a vytvoření programu
 - schopnost vytvořit plánu měření až o 40% rychleji
- 6) Zpracování výsledků
 - rychlé a přehledné vyhodnocování výsledků

Ekonomické hodnocení investice:

Při možnosti pořízení nového softwaru CALYPSO od firmy Zeiss je nutné počítat s vynaložením nemalých nákladů.:

Software CALYPSO	350 000 Kč
Opce křivky	80 000 Kč
Počítač s příslušenstvím	130 000 Kč
Školení zaměstnanců	70 000 Kč
Celkem	630 000 Kč

Hodnoty jsou do jisté míry jen orientační. Nejsou písemně doloženy z důvodu jistého firemního tajemství a chránění firemního know-how.

Návratnost investice:

Pro výpočet návratnosti investice je potřeba znát celkový čas měření turbínového kola, hodinovou sazbu stroje UPMC 550 CARAT Zeiss a průměrný měsíční počet měřených turbínových kol.

Celkový čas měření v softwaru HOLOS	17 hodin
Celkový čas měření v softwaru CALYPSO	10,5 hodin
Hodinová sazba stroje	850 Kč/hod
Průměrný počet měřených kusů	5 ks/měsíc

$$N = ((17 - 10,5) * 850) * 5 = 26\,000 \text{ Kč/měsíc}$$

$$P = 630\,000 / 26\,000 = 24,2 \text{ měsíců} = 2 \text{ roky}$$

Z výše uvedeného výpočtu je patrné, že návratnost vynaložená počáteční investice je přibližně 2 roky. Ve skutečnosti tato doba bude ještě kratší, protože ve výpočtu není vyčísleno další měření v čase, který bude ušetřen pomocí nového programu. Zmíněné měření bude dalším přínosem financí a pomůže tak ještě zkrátit dobu návratnosti.

Dlouhý celkový čas měření v obou softwarech je dán především dlouhou dobou přípravy samotné strategie měření, která je umocněna tvarem samotného turbínového kola, který se zřídka kdy opakuje, a tak je nutné vždy pozměnit strategii měření.

Před konečným rozhodnutím o vynaložení investice, bylo ještě uváženo jiné řešení pro zvýšení produktivity práce na CMM v podobě využití optického skenovacího systému LineScan pro měřicí souřadnicové stroje od firmy Zeiss, který také umožňuje získání komplexních informací o tvaru a rozměrech 3D ploch a do jisté míry by v naší oblasti měření přinesl ještě větší přínos v podobě zrychlení měření než doposud popisovaný software CALYPSO. Po důkladném zvážení této další měřicí metody, bylo zamítnuto její pořízení s hlavním důrazem na její pořizovací cenu v řádech několika milionů a následnému malému využití pro ostatní účely měření, které se mimo měření turbínových kol provádí.

Po zvážení návratnosti investice a přínosů s ní spojené vyjmenované výše bylo rozhodnuto, že pořízení softwaru CALYPSO je nezbytnou nutností pro udržení standardu měření, dalšího rozvoje a do jisté míry i zvýšení konkurenceschopnosti KL.

6 Závěr

Celá diplomová práce pojednává o měření tvarových ploch na souřadnicových měřicích strojích a používaných softwarech, které jsou jejich nezbytnou součástí. Zmíněná oblast metrologie je velice náročná a rychle se rozvíjející odvětví. Proto je nezbytné její neustále zlepšování a obnovování dle nejnovějších trendů, a to je i hlavním cílem této diplomové práce, která je situována do Kalibrační laboratoře ve firmě ČZ a.s. Ve společnosti je nutné pro její další rozvoj a udržení vysokého standardu měření modernizace softwarového vybavení. V rámci práce bylo tedy provedeno srovnání současného stavu metodiky měření na tvarově složitém turbínovém kole s novým postupem měření a především s novým softwarovým vybavením.

Výsledkem je tedy zhodnocení dvou programů dodávaných firmou Zeiss pro souřadnicové měřicí stroje. Doposud využívaným programem při měření v laboratoři ČZ a.s, byl program HOLOS, který byl porovnán s novějším programem na měření tvarově složitých ploch CALYPSO.

Pro posouzení přínosu nového programu CALYPSO do měřicí laboratoře bylo provedeno měření na turbínovém kole, které je jednou z nejsložitějších měřených součástí v laboratoři díky jeho velké složitost tvarů. Turbínové kolo bylo měřeno pro divizi Turbo, která je součástí ČZ a.s. a od ní byl kladen jeden z hlavních podnětů pro softwarovou modernizaci. Především se jednalo o výsledky, které bylo nutné vykazovat v podobě křivek. Dalším faktorem byl časový tlak na měření. Díky velkému počtu zakázek laboratoř nemohla přijmout všechny zakázky jak z mateřské firmy, tak především od externích zákazníků.

Nejdříve bylo provedeno proměření a vyhodnocení výsledků stávajícím způsobem v programu HOLOS a v co možná nejkratším časovém intervalu proběhlo měření v časově omezené verzi programu CALYPSO, který byl dodán firmou Zeiss pro tyto testovací účely. Nová tvorba postupu měření byla konzultována se zadavatelem měření, tedy s divizí Turbo, aby splňovala všechny požadavky pro ověření výrobní přesnosti turbínového kola.

Vyhodnocení těchto dvou postupů vyznělo především díky časové úspoře při měření a výsledkům v podobě křivek lépe pro měřicí software CALYPSO, a tak bylo dále nutné vypracovat předběžnou studii návratnosti investice, kterou bylo nutné vynaložit na koupi nového softwarového vybavení v podobě programu CALYPSO pro souřadnicový měřicí stroj využívaný v Kalibrační laboratoři.

Na základě tohoto porovnání bylo rozhodnuto pro koupi nového softwaru, kterým je již laboratoř v současné době vybavena. Přínosy jsou zcela jednoznačné. Přínosem je několik zásadních změn v podobě časové úspory při měření a to nejen při měření takto tvarově složitých ploch, ale i při jednodušších měřeních. Takto ušetřený čas bude dále využíván pro jiná měření, která v dřívější době nemohla být prováděna. To je vítaným přínosem dalších finančních prostředků. Dále je nutné mít na paměti, že nový software přispěl ke zvýšení standardu měření a ke zvýšení konkurenceschopnosti laboratoře na trhu metrologie, což bude dalším velkým přínosem v podobě nových zákazníků.

Seznam použité literatury

Literatura:

- [1] Staněk, J.: *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-363-9
- [2] Němejc, J.: *Průmyslové roboty a robotizace strojírenské výroby*, Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-7082-033-0
- [3] Fiala, A.: *Management jakosti s podporou norem ISO 9000:2000*, Praha: Verlag Dashöfer, 2006. ISBN 80-86229-19-X
- [4] *Zákon č. 505/1990 "Zákon o metrologii"* ve znění pozdějších předpisů, Praha: Parlament České republiky, 1990
- [5] *Řád podnikové metrologie*, Strakonice: ČZ a.s., 2005
- [6] Český normalizační institut: *ČSN EN ISO/IEC 17025 Posuzování shody-Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*, Praha: ČNI, 2005.
- [7] *Příručka kvality*, Strakonice: ČZ a.s., 2001
- [8] *Interní dokumentace kalibrační laboratoře*
- [9] *Interní dokumentace divize Turbo*

Internetové zdroje:

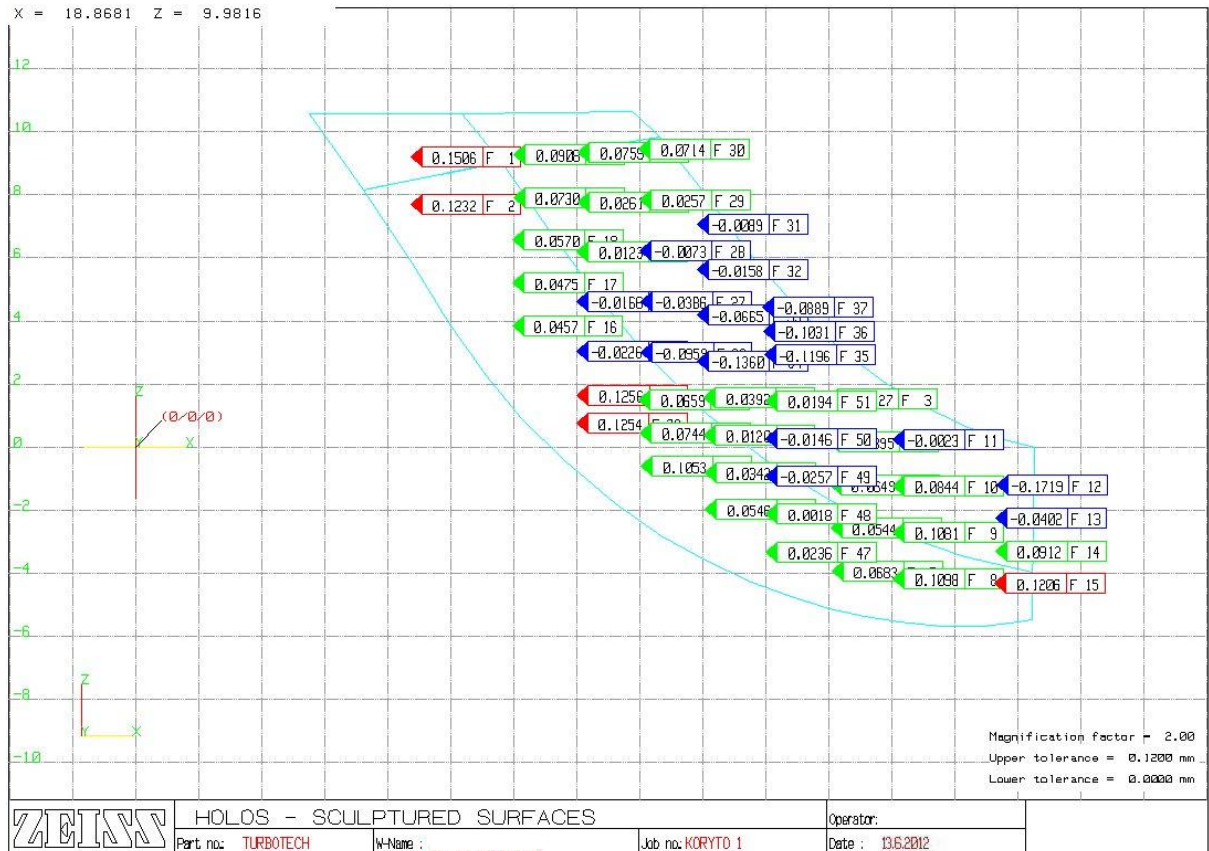
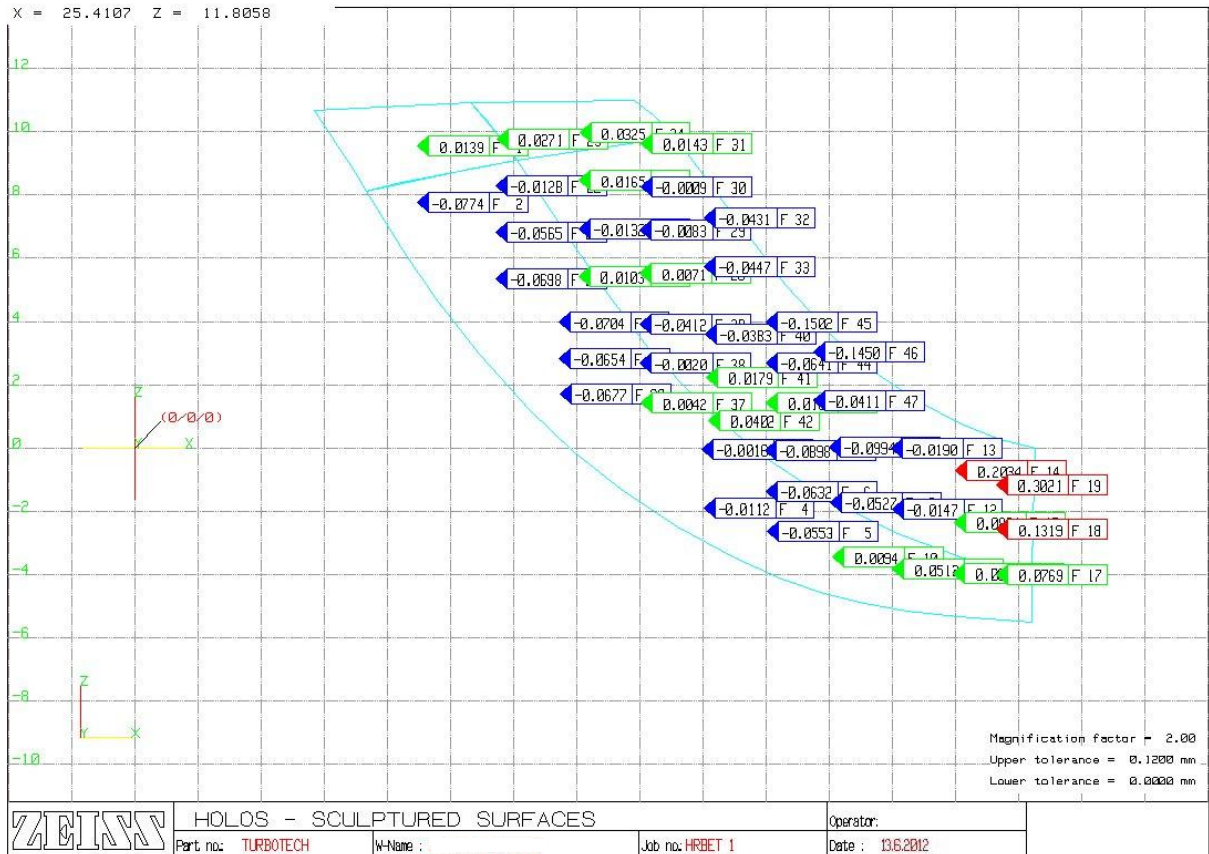
- [10] <http://www.czas.cz/?PageId=10003>, Historie ČZ a.s., online dne 21.11.2012
- [11] <http://www.cmi.cz> , online dne 8.12.2012
- [12] <http://www.csnonline.unmz.cz>, online dne 16.12.2012
- [13] <http://ebookbrowse.com/metrologie-final-pdf-d340114459>, online dne 22.3.2013
- [14] <http://turbodmychadla.webnode.cz>, online dne 2.3.2013
- [15] <http://web.tuke.sk/smetrologia/prospekty/calypso.pdf>, online dne 13.4.2013
- [16] <http://www.zeiss.cz>, online dne 16.4.2013

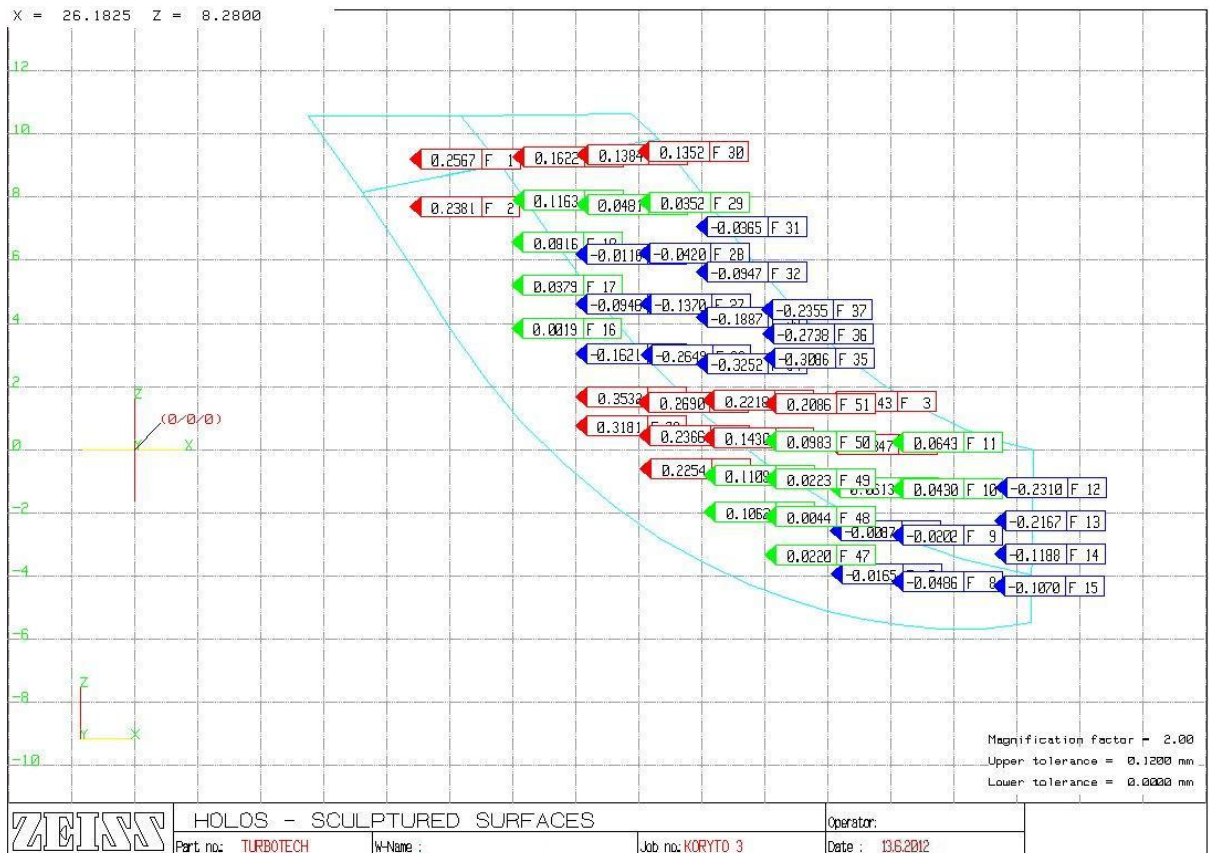
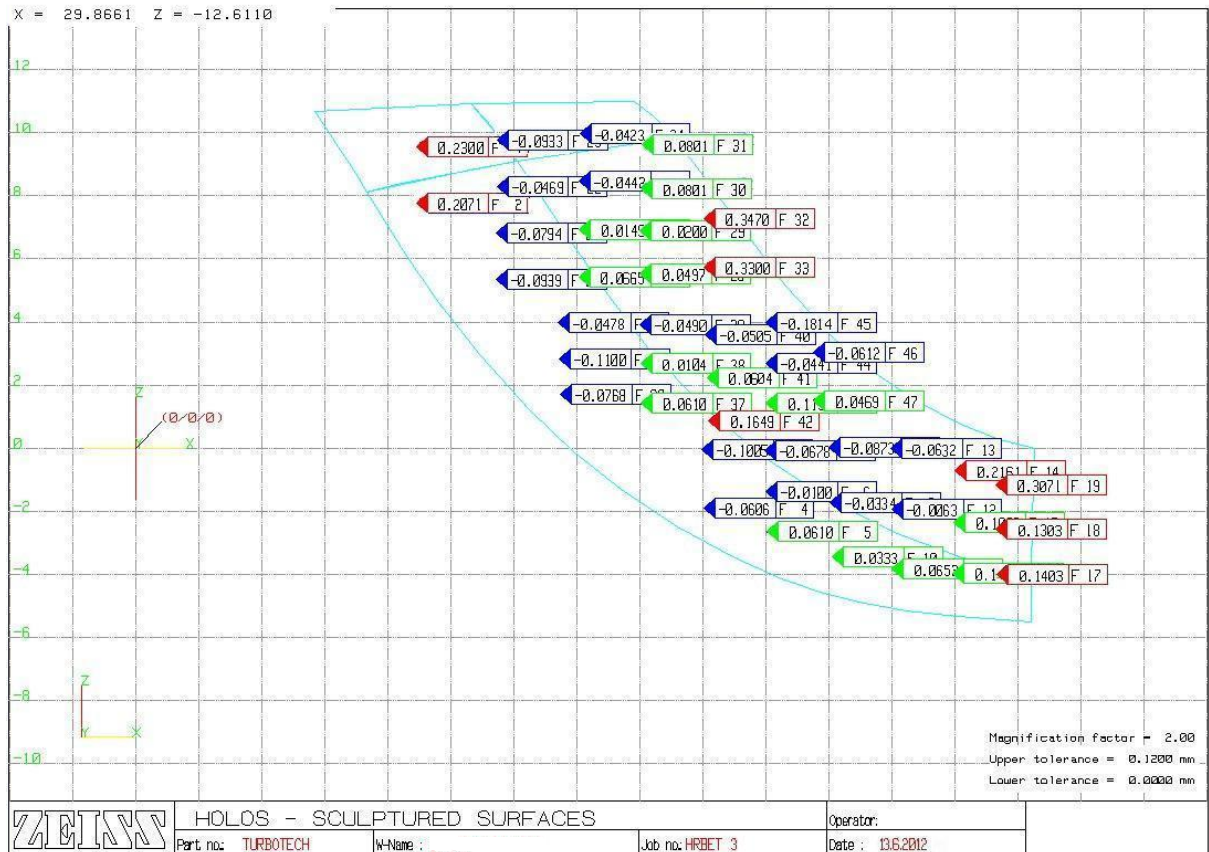
Seznam příloh

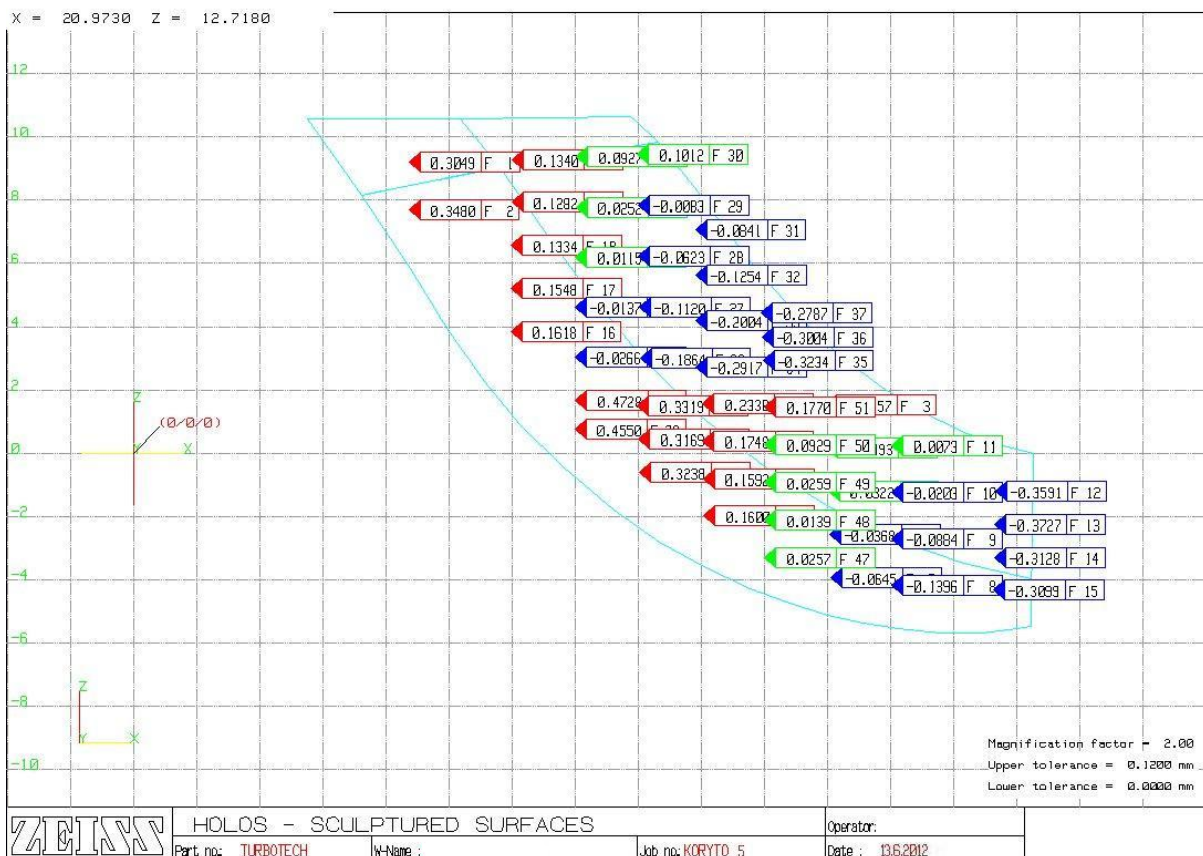
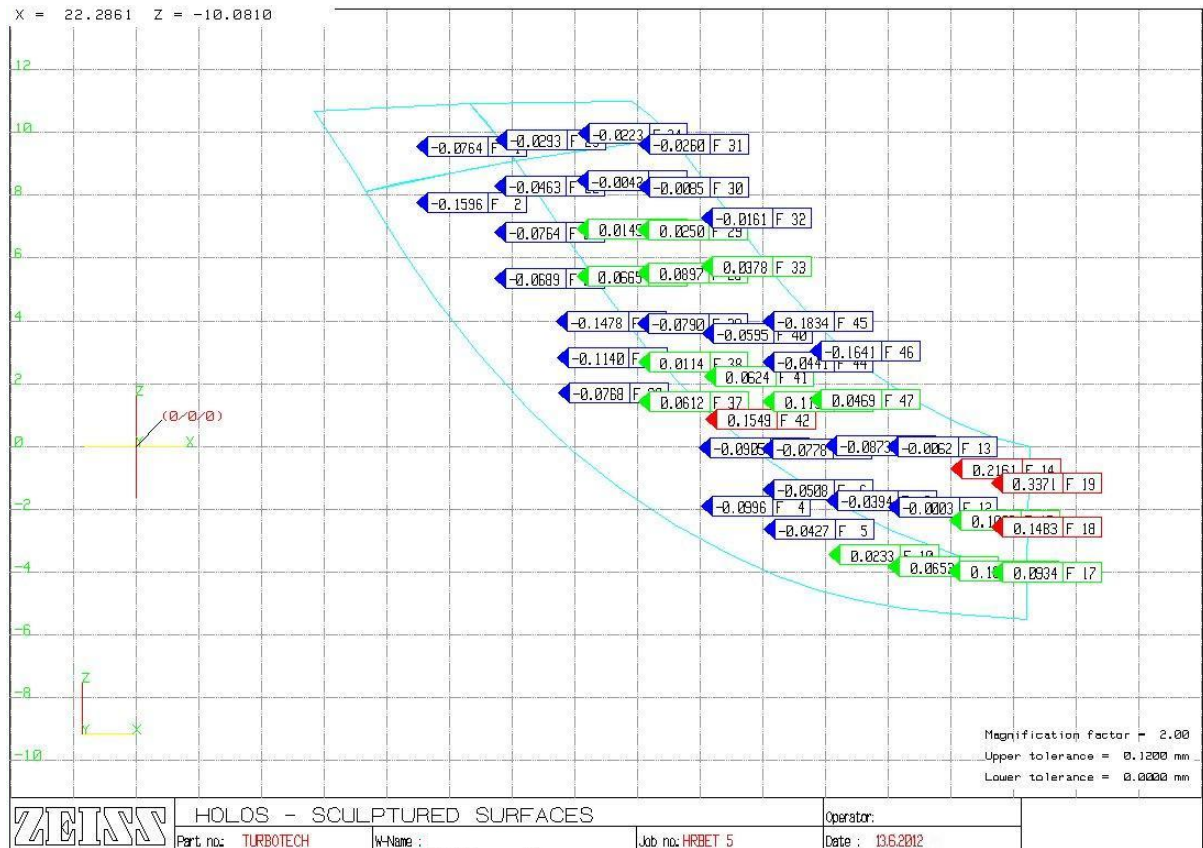
- Příloha č. 1 Výsledky měření v programu HOLOS
- Příloha č. 2 Výsledky měření v programu CALYPSO
- Příloha č. 3 Chemické složení materiálů turbínových kol

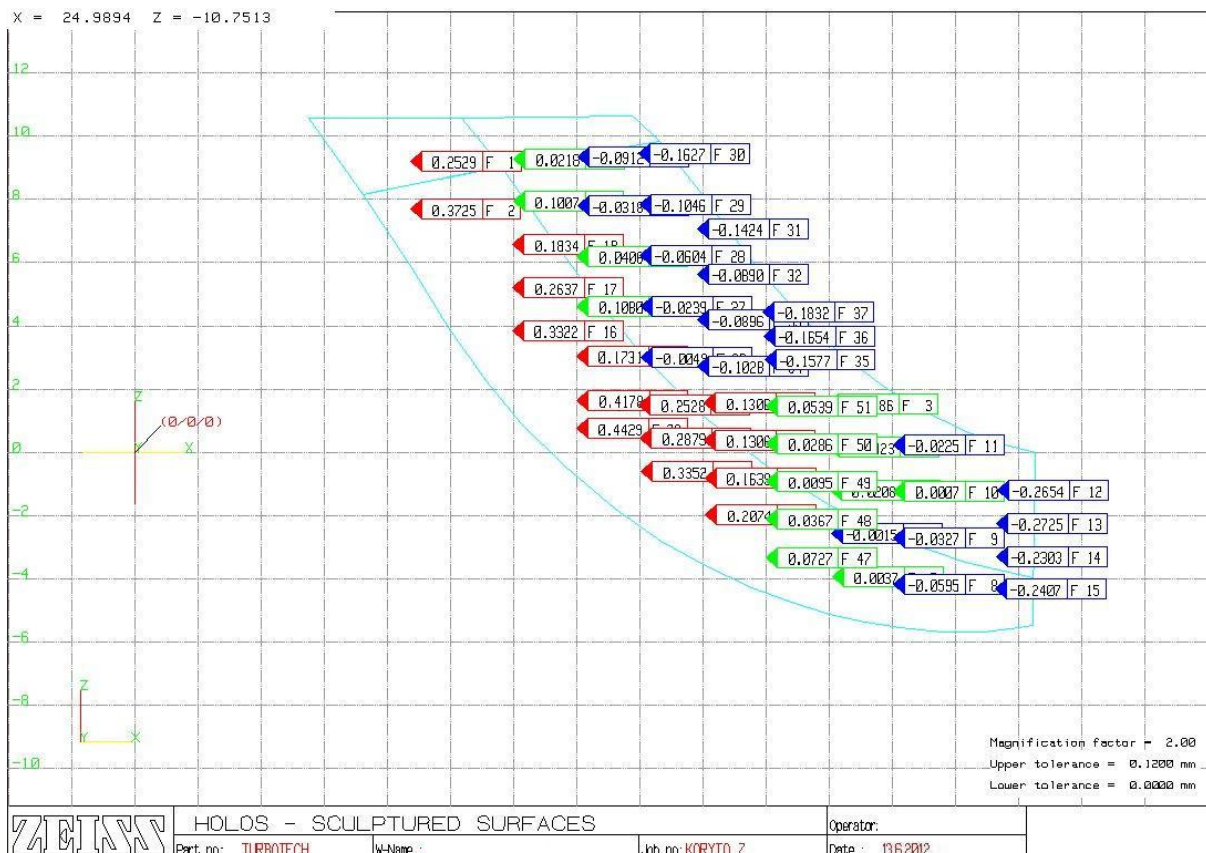
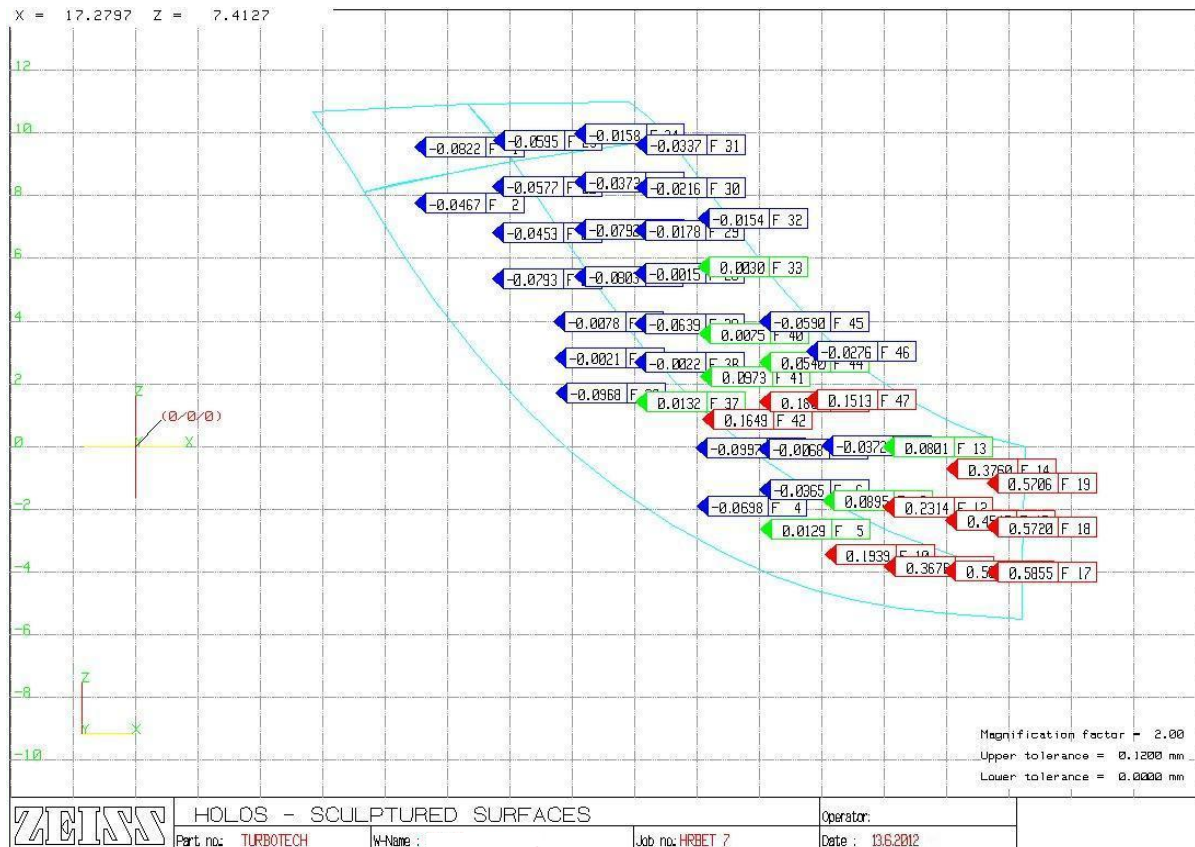
PŘÍLOHA č. 1

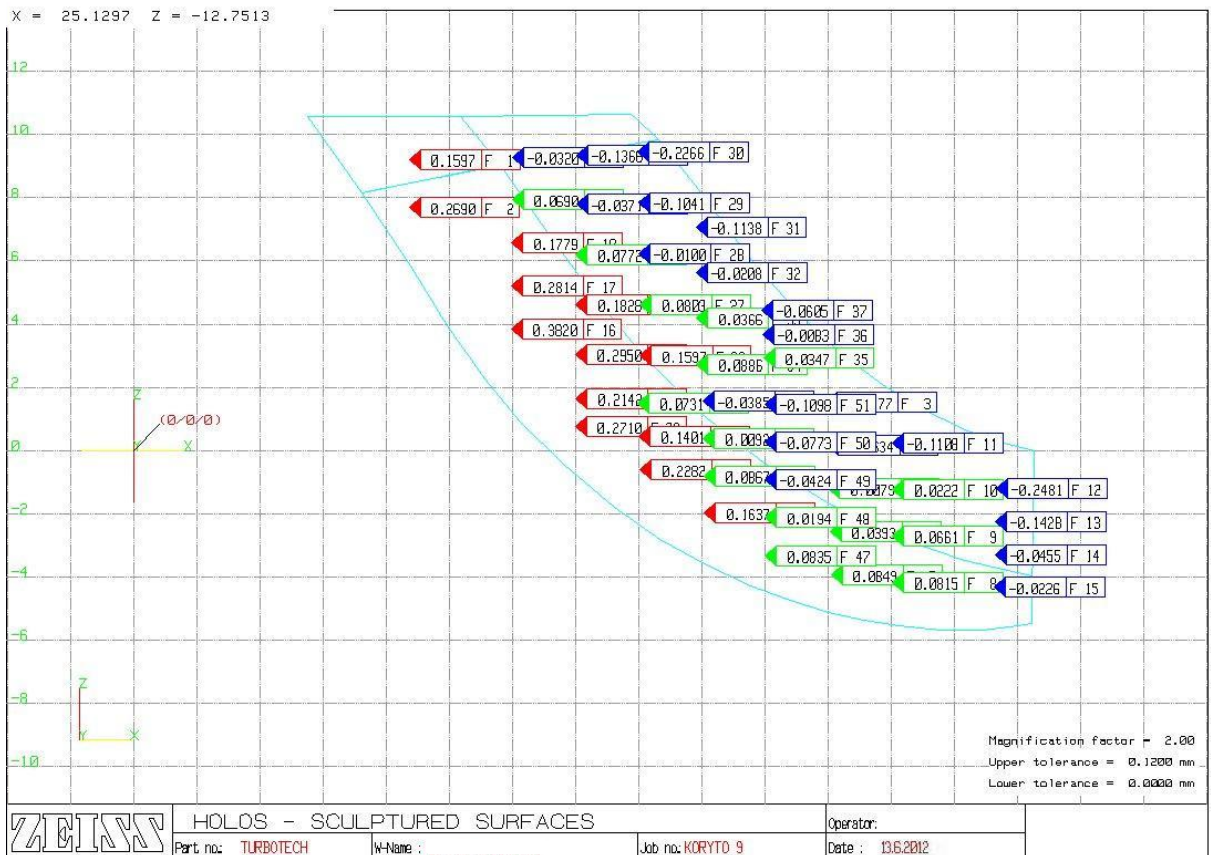
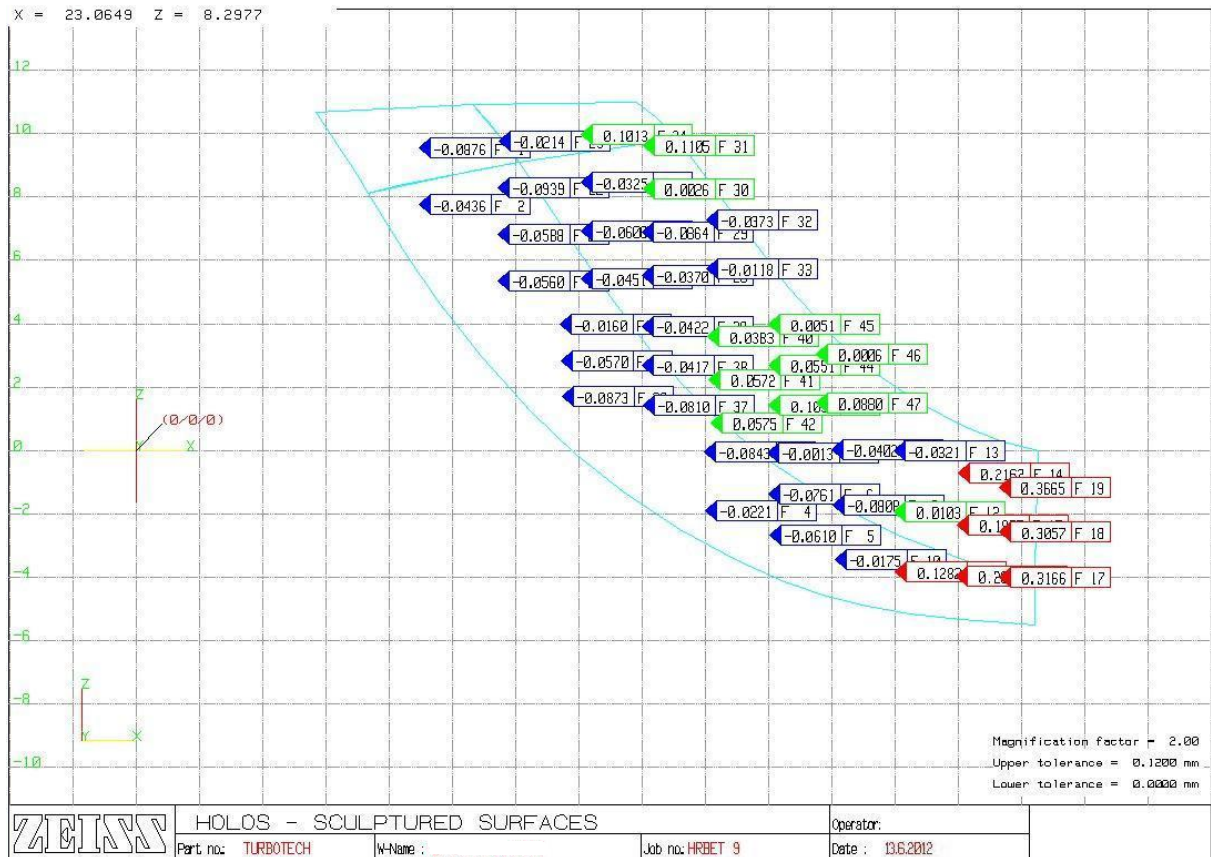
Výsledky měření v programu HOLOS

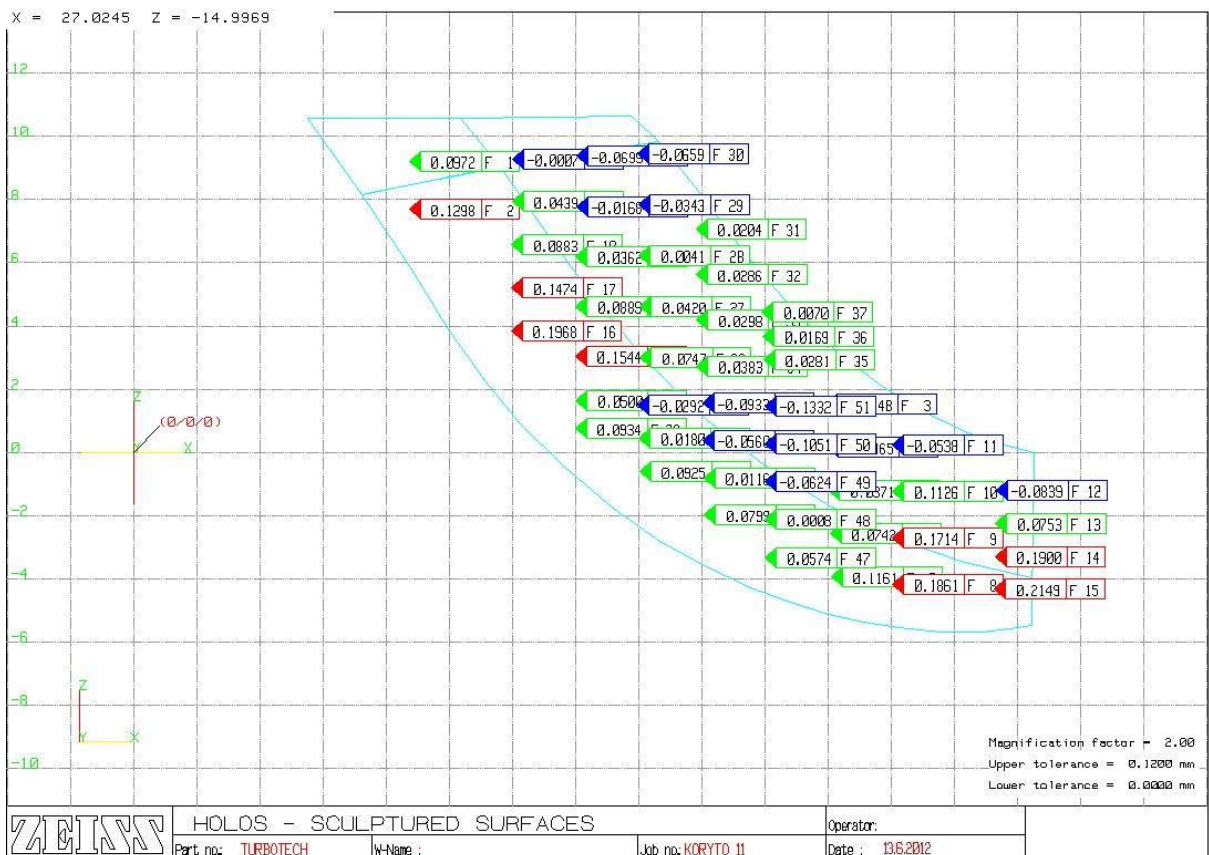
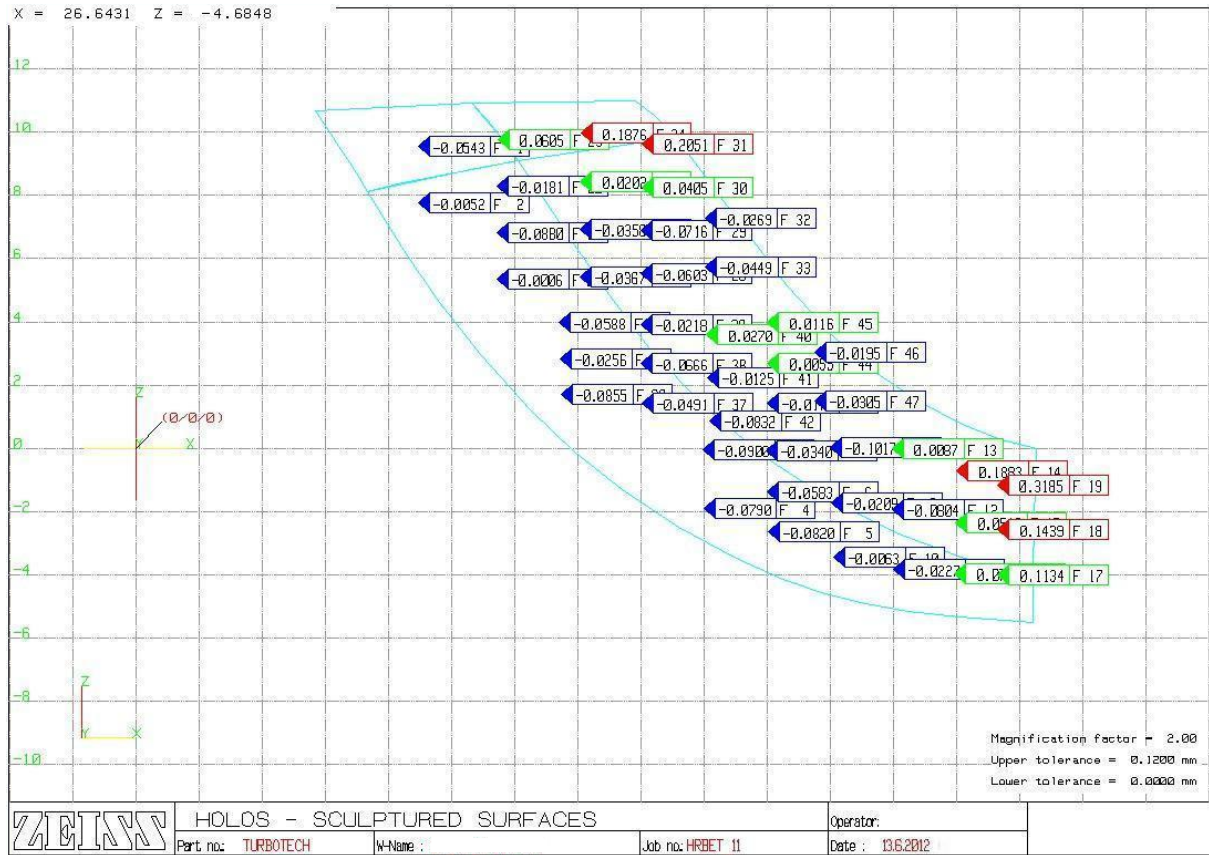








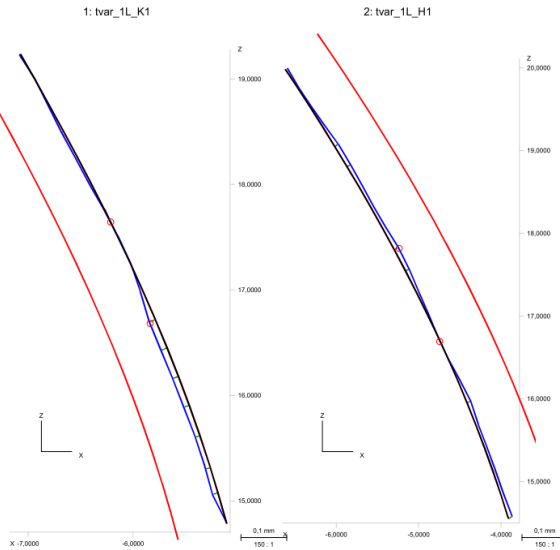




PŘÍLOHA č. 2

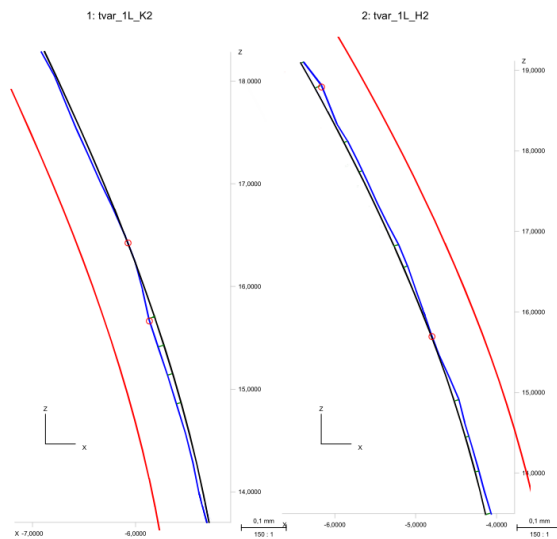
Výsledky měření v programu CALYPSO

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum Zakázka	18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor: Master Podpis:
Název plánu měř.			



C.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Doklní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]		
1	tvar_1L_K1	0,0063	0,0116	18	0,0000	0,1200	16	0,0017	11	0,0179		
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]2,2842	Y [mm]2,2901	Z [mm]1,5821	Dřabění	X	8,4694	Y	-4,1316	Z	-4,5954
2	tvar_1L_H1	0,0036	0,0058	22	0,0000	0,1200	9	0,0010	8	0,0140		
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]1,6069	Y [mm]0,9343	Z [mm]0,8575	Dřabění	X	3,7022	Y	-3,7902	Z	-2,6765

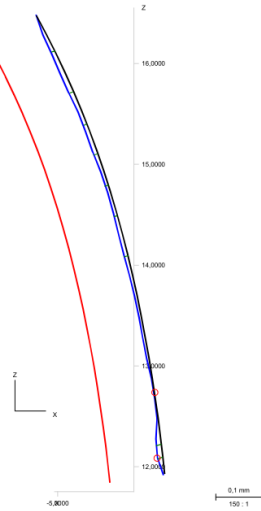
ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum Zakázka	18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor: Master Podpis:
Název plánu měř.			



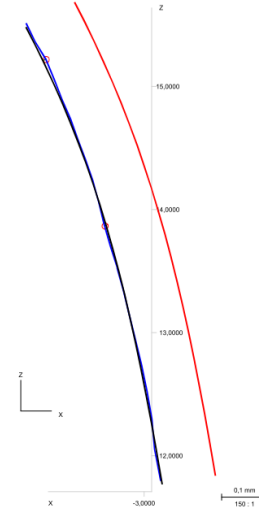
C.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Doklní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]		
1	tvar_1L_K2	0,0053	0,0126	29	0,0000	0,1200	18	-0,0010	11	0,0181		
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]3,8423	Y [mm]2,2901	Z [mm]2,6731	Dřabění	X	6,1038	Y	-4,1823	Z	-7,5412
2	tvar_1L_H2	0,0032	0,0108	32	0,0000	0,1200	9	0,0011	13	0,0192		
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]2,6609	Y [mm]3,3434	Z [mm]1,8594	Dřabění	X	5,9152	Y	-8,7034	Z	-1,5342

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss		Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor Podpis: Master
Název plánu měř.			

1: tvar_1L_K3



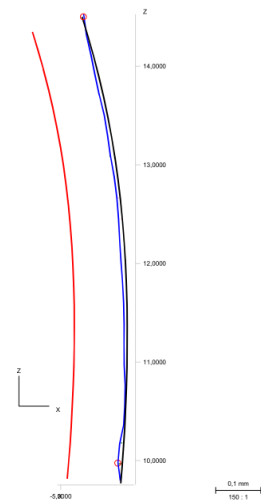
2: tvar_1L_H3



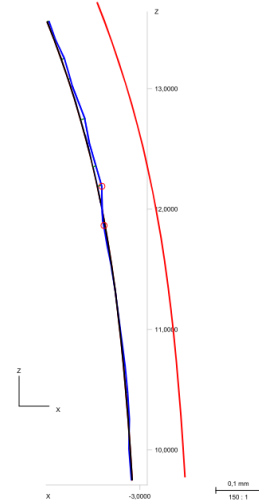
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K3	0,0051	0,0143	42	0,0000	0,1200	1	23	0,0165
	Výsledek přilpas.	Posun	X [mm]2,2486	Y [mm]2,6762	Z [mm]6,8206	Dřábění	X 18,4961	Y 0,6373	Z -7,5206
2	tvar_1L_H3	0,0031	0,0104	44	0,0000	0,1200	11	19	0,0076
	Výsledek přilpas.	Posun	X [mm]2,9915	Y [mm]3,7021	Z [mm]7,9098	Dřábění	X 21,0775	Y -0,6944	Z -8,2108

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss		Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor Podpis: Master
Název plánu měř.			


1: tvar_1L_K4



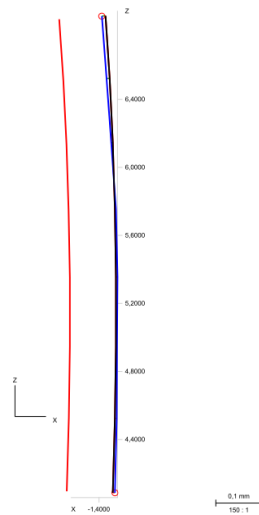
2: tvar_1L_H4



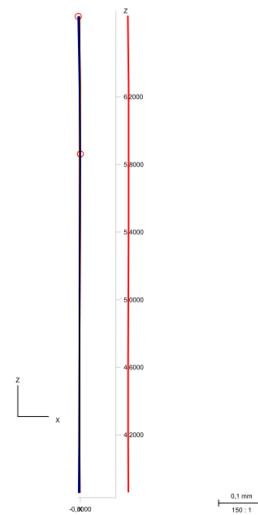
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K4	0,0030	0,0103	36	0,0000	0,1200	7	17	0,0129
	Výsledek přilpas.	Posun	X [mm]3,4886	Y [mm]4,8234	Z [mm]8,3061	Dřábění	X 14,6198	Y 1,4674	Z -9,6203
2	tvar_1L_H4	0,0041	0,0121	37	0,0000	0,1200	12	15	0,0092
	Výsledek přilpas.	Posun	X [mm]3,9154	Y [mm]0,5421	Z [mm]5,7098	Dřábění	X 19,8800	Y 1,4423	Z -6,1098

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo Z	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master
		Zakázka

1: tvar_1L_K5

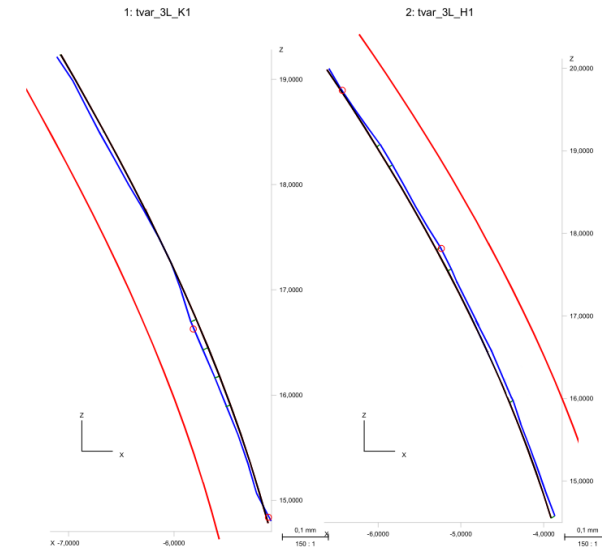


2: tvar_1L_H5



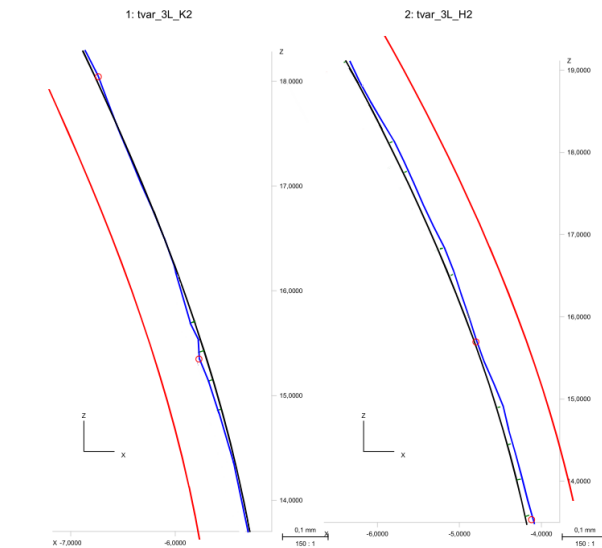
C.	Značení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Měřítko	Min.odch. [mm]	Max.odch. [mm]	Max.odch. [mm]
1	tvar_1L_K5	0.0029	0.0149	11	0.0000	0.1200	7	0.0020	0	0.0078
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]24.5409	Y [mm]16.6985	Z [mm]6.6888	Číslení	X 17.620	Y 12.437	Z -58.425	
2	tvar_1L_H5	0.0013	0.0032	10	0.0000	0.1200	6	0.0012	0	0.0019
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]-25.3315	Y [mm]15.4317	Z [mm]0.1716	Číslení	X 0.562	Y -0.323	Z 60.873	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokři tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_3L_K1	0,0062	0,0121	18	0,0000	0,1200	13	-0,0037	10	0,0149
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]0,9642	Y [mm]0,8001	Z [mm]5,2130	Dřáčení	X 8,9032	Y -12,1610	Z -6,5461	
2	tvar_3L_H1	0,0050	0,0118	22	0,0000	0,1200	5	0,0028	7	0,0120
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]5,6989	Y [mm]4,3342	Z [mm]4,7562	Dřáčení	X 4,2502	Y -2,5402	Z -0,7852	

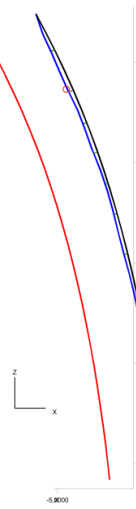
ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



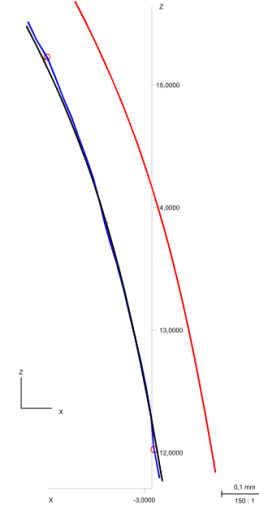
C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokři tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_3L_K2	0,0089	0,0106	29	0,0000	0,1200	19	-0,0046	11	0,0169
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]3,2842	Y [mm]3,3001	Z [mm]2,2321	Dřáčení	X 9,9201	Y -7,1821	Z -3,3214	
2	tvar_3L_H2	0,0123	0,0136	32	0,0000	0,1200	13	0,0048	10	0,0199
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]3,6921	Y [mm]2,4331	Z [mm]2,7512	Dřáčení	X 2,2251	Y -3,7800	Z -1,2341	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master

1: tvar_3L_K3



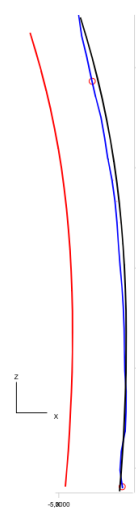
2: tvar_3L_H3



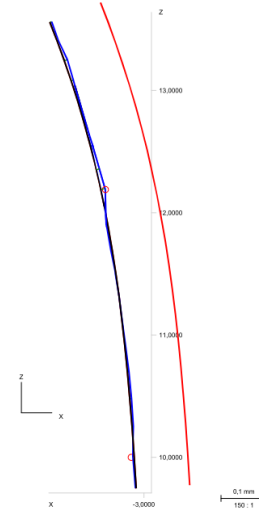
C.	Dzinačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dohřit tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Mínind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_3L_K3	0,0046	0,0131	42	0,0000	0,1200	5	0,0018	20	0,0125
	Výsleděk přřřpas.	Posun	X [mm]1,8632	Y [mm]-1,7632	Z [mm]-4,2063	Dřřdřdění	X 12,862	Y 0,3373	Z -2,5294	
2	tvar_3L_H3	0,0029	0,0084	44	0,0000	0,1200	12	0,0042	16	0,0105
	Výsleděk přřřpas.	Posun	X [mm]5,4515	Y [mm]5,2241	Z [mm]0,0938	Dřřdřdění	X 20,3472	Y -4,4243	Z -3,1038	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_3L_K4



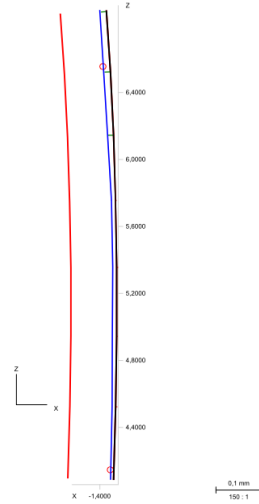
2: tvar_3L_H4



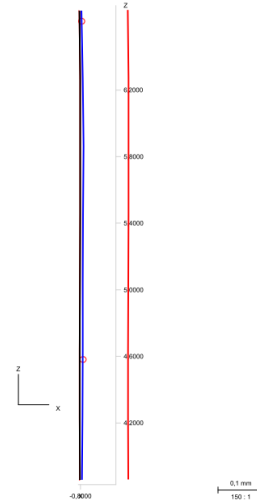
C.	Dzinačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dohřit tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Mínind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_3L_K4	0,0071	0,012	36	0,0000	0,1200	9	-0,0032	25	0,0122
	Výsleděk přřřpas.	Posun	X [mm]7,8622	Y [mm]7,7622	Z [mm]11,8206	Dřřdřdění	X 12,496	Y 2,6373	Z -2,6612	
2	tvar_3L_H4	0,0050	0,0084	37	0,0000	0,1200	16	0,0024	23	0,0099
	Výsleděk přřřpas.	Posun	X [mm]0,1253	Y [mm]3,2113	Z [mm]11,8806	Dřřdřdění	X 22,7020	Y -1,4388	Z -1,1678	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_3L_K5

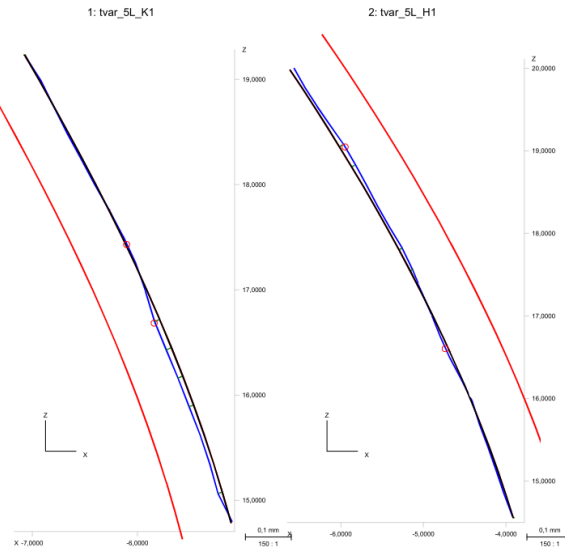


2: tvar_3L_H5




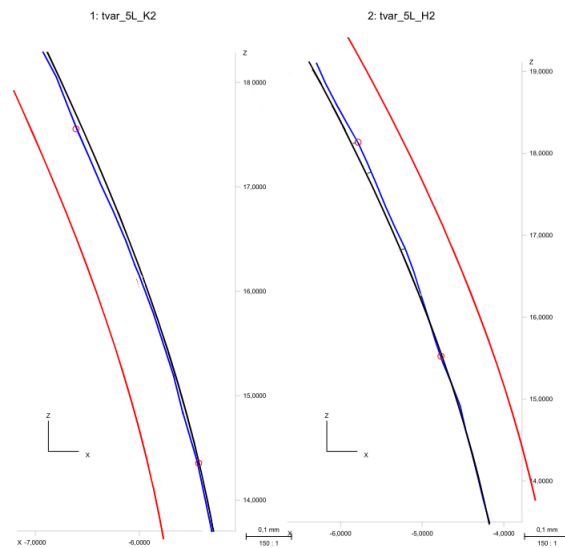
C.	Název	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Profil bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Min.ind.	Max.ind.	Max.odch. [mm]
1	tvar_3L_K5	0,0078	0,0139	11	0,0000	0,1200	0	0,0054	0,0205
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]22,0193	Y [mm]14,8251	Z [mm]7,8298	Dášení	X 15,892	Y 10,3173	Z -57,2917
2	tvar_3L_H5	0,0029	0,0047	10	0,0000	0,1200	4	0,0023	0,0050
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]-23,4159	Y [mm]13,9170	Z [mm]1,1281	Dášení	X 2,8241	Y -2,3241	Z 50,7133

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]		
1	tvar_SL_K1	0,0049	0,0162	18	0,0000	0,1200	11	0,0027	9	0,0169		
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]3,2231	Y [mm]3,9621	Z [mm]2,8210	Dřáčení	X	2,629	Y	-4,6318	Z	-3,1254
2	tvar_SL_H1	0,0030	0,0078	22	0,0000	0,1200	8	0,0058	14	0,0145		
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]3,4924	Y [mm]2,3432	Z [mm]2,7352	Dřáčení	X	7,354	Y	-5,7801	Z	-1,6452

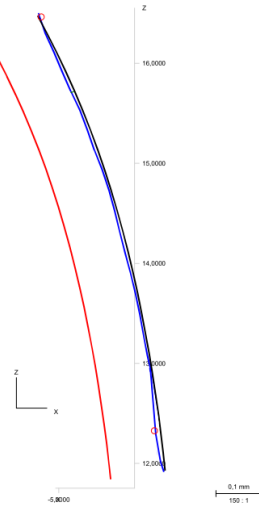
 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



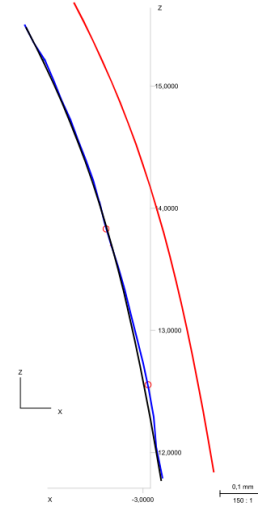
C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]		
1	tvar_SL_K2	0,0034	0,0168	29	0,0000	0,1200	14	0,0037	14	0,0129		
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]2,2842	Y [mm]2,3901	Z [mm]1,5821	Dřáčení	X	8,4694	Y	-6,1318	Z	-4,5954
2	tvar_SL_H2	0,0069	0,0138	32	0,0000	0,1200	17	0,0032	32	0,0189		
	Výsledek přřpas.	Posun	X [mm]1,6069	Y [mm]0,9343	Z [mm]0,8575	Dřáčení	X	3,7025	Y	-3,7803	Z	-2,8705

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master

1: tvar_5L_K3



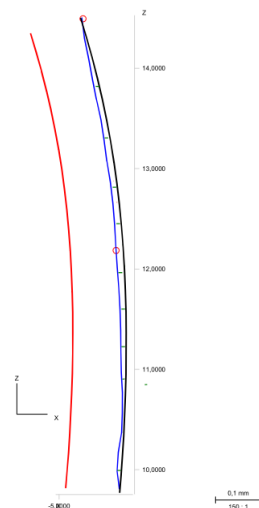
2: tvar_5L_H3



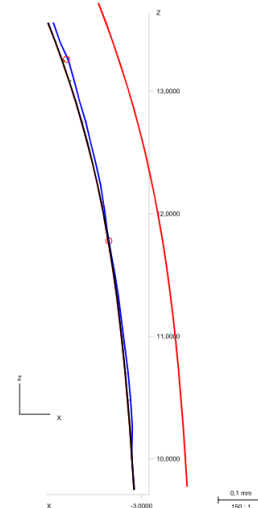
C.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dávk. tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minimál	Min. odch. [mm]	Maximál	Max. odch. [mm]
1	tvar_5L_K3	0,0044	0,0143	42	0,0000	0,1200	1	-0,0038	20	0,0164
	Výsledek přispas.	Posun	X [mm]5,8621	Y [mm]5,8321	Z [mm]9,2061	Cházení	X 12,621	Y -3,732	Z -9,6254	
2	tvar_5L_H3	0,0035	0,0104	44	0,0000	0,1200	11	-0,0022	15	0,0089
	Výsledek přispas.	Posun	X [mm]0,1534	Y [mm]1,0231	Z [mm]5,8123	Cházení	X 19,4502	Y -3,9944	Z -6,0843	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_5L_K4



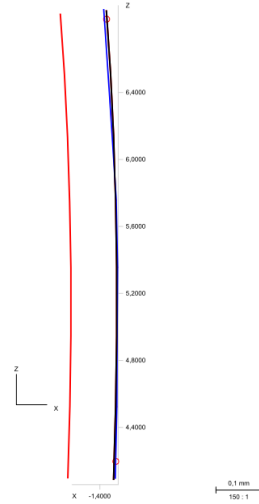
2: tvar_5L_H4



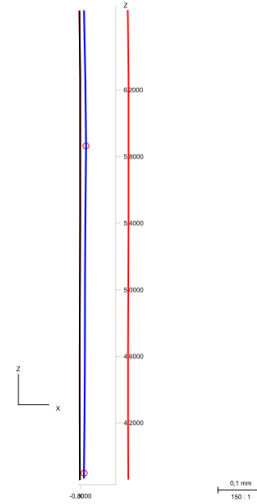
C.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dávk. tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minimál	Min. odch. [mm]	Maximál	Max. odch. [mm]
1	tvar_5L_K4	0,0196	0,0203	36	0,0000	0,1200	2	-0,0029	20	0,0210
	Výsledek přispas.	Posun	X [mm]5,6454	Y [mm]4,8342	Z [mm]4,8050	Cházení	X 21,4812	Y 6,7263	Z -1,2361	
2	tvar_5L_H4	0,0049	0,0094	37	0,0000	0,1200	10	0,0011	16	0,0190
	Výsledek přispas.	Posun	X [mm]9,1215	Y [mm]5,0921	Z [mm]9,0381	Cházení	X 24,7056	Y -4,3450	Z -6,2961	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis:
		Master


1: tvar_5L_K5



2: tvar_5L_H5

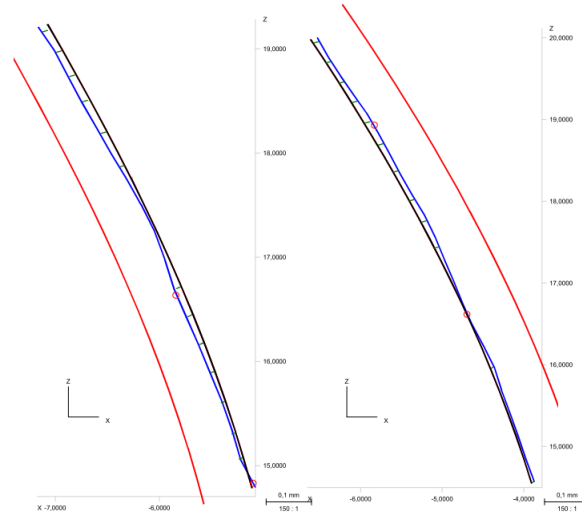


C.	Naznacení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Min.ind.	Max.ind.	Max.odch. [mm]
1	tvar_5L_K5	0.0026	0.0068	11	0.0000	0.1200	β	-0.0028	0.0035
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]23.4093	Y [mm]10.8531	Z [mm]9.8675	Dřáčení	X 18.7595	Y 15.7527	Z -50.7342
2	tvar_5L_H5	0.0061	0.0092	10	0.0000	0.1200	β	0.0061	0.0120
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]-11.0715	Y [mm]21.3817	Z [mm]9.6316	Dřáčení	X 8.0623	Y -4.1340	Z 55.3395


 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum Zakázka	18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor Podpis:
Název plánu měř.		Master	

1: tvar_7L_K1

2: tvar_7L_H1

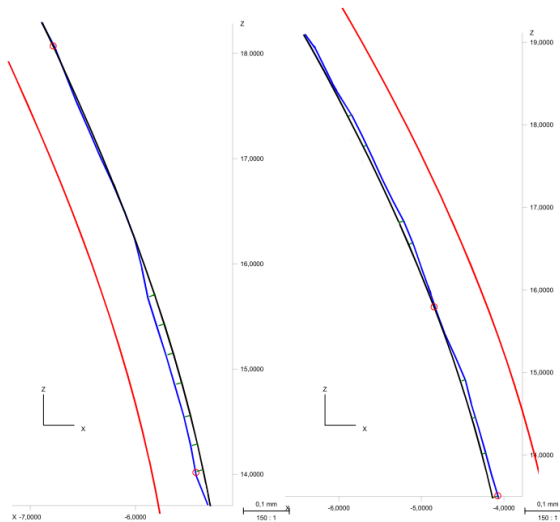


C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Metřnd	Min.odch. [mm]	Maxhd	Max.odch. [mm]		
1	tvar_7L_K1	0,0153	0,0156	18	0,0000	0,1200	18	-0,0037	9	0,0189		
	Výsledok přřpas.	Posun	X [mm]0,3342	Y [mm]-1,9201	Z [mm]6,2123	Dřažení	X	7,3498	Y	-12,131	Z	-1,4454
2	tvar_7L_H1	0,0132	0,0128	32	0,0000	0,1200	8	0,0028	7	0,0193		
	Výsledok přřpas.	Posun	X [mm]0,4821	Y [mm]0,1423	Z [mm]2,3175	Dřažení	X	-4,245	Y	-5,980	Z	-8,067

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum Zakázka	18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu	Oddělení: Operátor Podpis:
Název plánu měř.		Master	

1: tvar_7L_K2

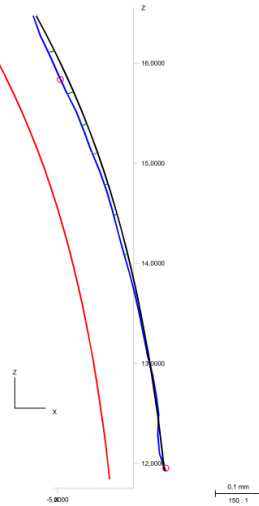
2: tvar_7L_H2



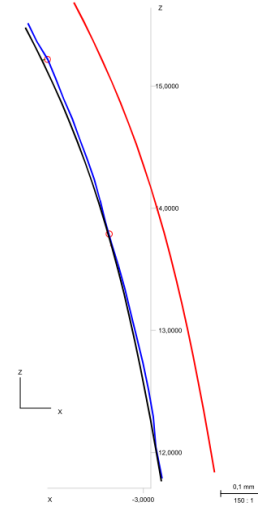
C.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Metřnd	Min.odch. [mm]	Maxhd	Max.odch. [mm]		
1	tvar_7L_K2	0,0147	0,0108	29	0,0000	0,1200	12	0,0017	14	0,0209		
	Výsledok přřpas.	Posun	X [mm]1,9942	Y [mm]5,9341	Z [mm]6,2310	Dřažení	X	3,391	Y	-8,138	Z	-10,543
2	tvar_7L_H2	0,0085	0,0058	32	0,0000	0,1200	8	0,0018	12	0,0178		
	Výsledok přřpas.	Posun	X [mm]11,2639	Y [mm]0,3943	Z [mm]0,8325	Dřažení	X	7,822	Y	-1,393	Z	-6,635

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master

1: tvar_7L_K3



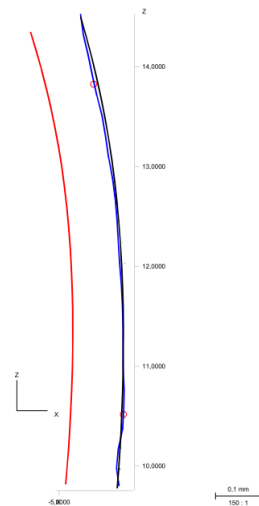
2: tvar_7L_H3



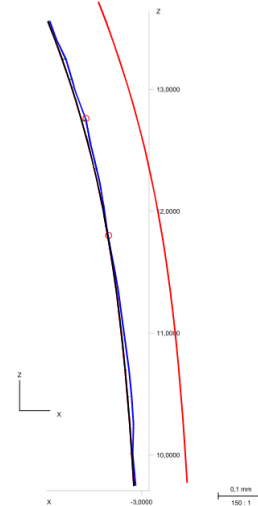
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokř. tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_7L_K3	0,0148	0,0113	42	0,0000	0,1200	1	-0,0028	22	0,0189
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]12,2362	Y [mm]11,2265	Z [mm]9,2096	Dřáčení	X 12,496	Y 3,6375	Z -2,1164	
2	tvar_7L_H3	0,0073	0,0084	44	0,0000	0,1200	11	0,0012	19	0,0128
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]3,9355	Y [mm]3,0210	Z [mm]7,9028	Dřáčení	X 15,3702	Y -4,4241	Z -3,2008	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_7L_K4



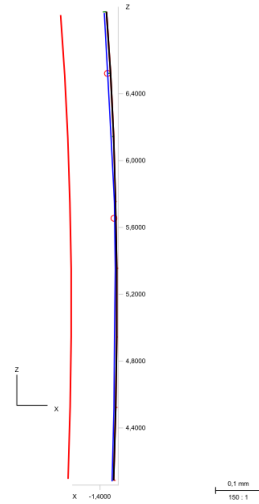
2: tvar_7L_H4



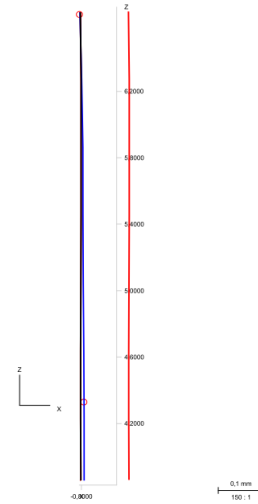
Č.	Označení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokř. tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_7L_K4	0,0031	0,0112	36	0,0000	0,1200	1	-0,0941	27	0,0689
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]3,4386	Y [mm]8,1762	Z [mm]9,1206	Dřáčení	X 12,3112	Y 3,1323	Z -5,8362	
2	tvar_7L_H4	0,0051	0,0124	37	0,0000	0,1200	11	0,0012	21	0,0097
	Výsledek připas.	Posun	X [mm]7,3125	Y [mm]9,2421	Z [mm]11,1238	Dřáčení	X 23,1274	Y -2,2344	Z -5,3214	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master

1: tvar_7L_K5

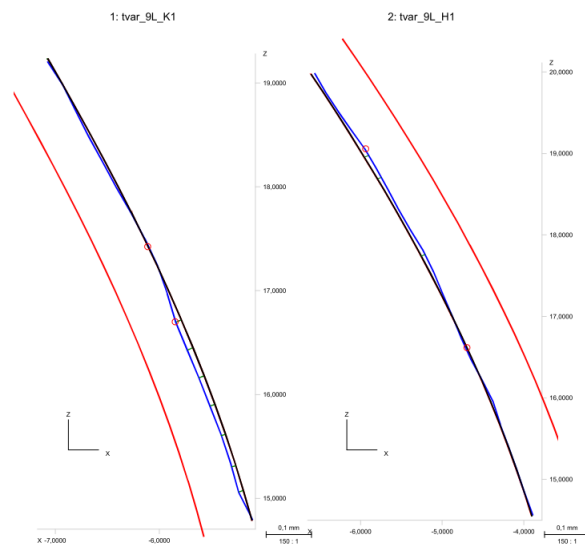


2: tvar_7L_H5



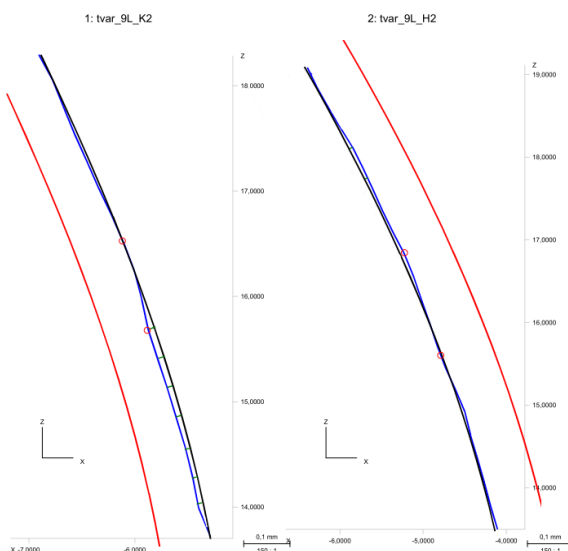
C.	Značení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minimál	Maximál	Min odch. [mm]	Max odch. [mm]
1	tvar_7L_K5	0.0046	0.0069	11	0.0000	0.1200	7	4	0.0024	0.0049
	Výsleděk připas.	Posun	X [mm]20.4109	Y [mm]12.6305	Z [mm]7.6008	Okřadení	X 12.3391	Y 16.3241	Z -49.2271	
2	tvar_7L_H5	0.0023	0.0056	10	0.0000	0.1200	6	7	-0.0013	0.0065
	Výsleděk připas.	Posun	X [mm]-19.1455	Y [mm]19.1371	Z [mm]3.4326	Okřadení	X -4.2326	Y -3.4334	Z 55.1244	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



Č.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_9L_K1	0.0102	0.0136	18	0.0000	0.1200	19	-0.0007	18	0.0189
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]5.3212	Y [mm]7.3401	Z [mm]6.2315	Dřáčení	X 12.4920	Y -2.1823	Z -1.2354	
2	tvar_9L_H1	0.0062	0.0118	22	0.0000	0.1200	11	-0.0019	9	0.0131
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]-1.4019	Y [mm]0.4231	Z [mm]2.4275	Dřáčení	X 0.2235	Y -4.4020	Z -1.5314	

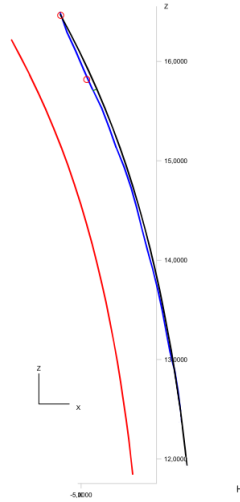
ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



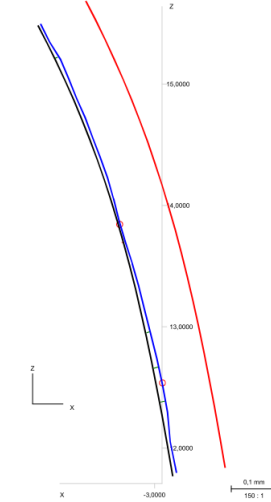
Č.	Dznačení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_9L_K2	0.0083	0.0035	29	0.0000	0.1200	17	0.0002	11	0.0180
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]6.8322	Y [mm]2.0112	Z [mm]3.2216	Dřáčení	X 1.2930	Y -6.1316	Z -0.3254	
2	tvar_9L_H2	0.0044	0.0022	32	0.0000	0.1200	11	0.0012	10	0.0096
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]4.0139	Y [mm]4.3313	Z [mm]1.7351	Dřáčení	X 1.2365	Y -1.0203	Z -6.6326	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.	Oddělení: Operátor Podpis:	Master

1: tvar_9L_K3



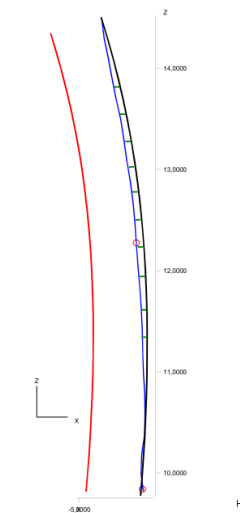
2: tvar_9L_H3



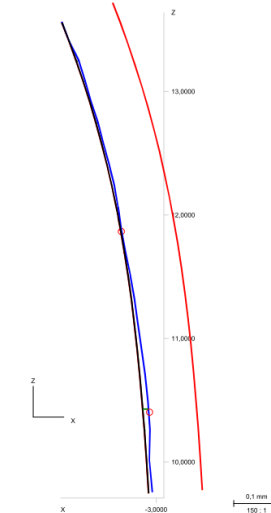
Č.	Značení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Mířidlo	Min. odch. [mm]	Max. odch. [mm]	Max. odch. [mm]
1	tvar_9L_K3	0.0049	0.0091	42	0.0000	0.1200	3	-0.0018	0.0098	0.0098
	Výsledek přisp.	Posun	X [mm] 0.4216	Y [mm] 1.2234	Z [mm] 6.0623	Drážení	X 11.6112	Y 2.4373	Z -3.1263	
2	tvar_9L_H3	0.0032	0.0064	44	0.0000	0.1200	4	0.0025	0.0197	0.0197
	Výsledek přisp.	Posun	X [mm] 0.1532	Y [mm] 2.3421	Z [mm] 3.2498	Drážení	X 20.7238	Y -1.4342	Z -3.0823	

ZEISS Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.	Oddělení: Operátor Podpis:	Master


1: tvar_9L_K4



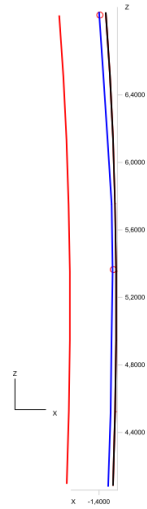
2: tvar_9L_H4



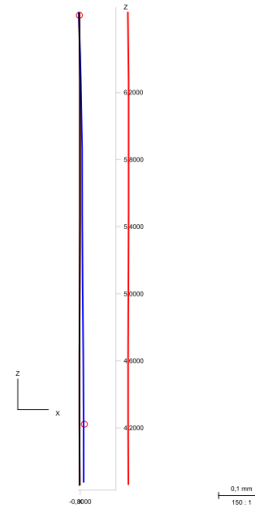
Č.	Značení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Mířidlo	Min. odch. [mm]	Max. odch. [mm]	Max. odch. [mm]
1	tvar_9L_K4	0.0143	0.0043	36	0.0000	0.1200	4	-0.0037	0.0190	0.0190
	Výsledek přisp.	Posun	X [mm] 4.2076	Y [mm] 2.2006	Z [mm] 5.2038	Drážení	X 16.6317	Y 4.7134	Z -5.6183	
2	tvar_9L_H4	0.0081	0.0054	37	0.0000	0.1200	5	0.0018	0.0172	0.0172
	Výsledek přisp.	Posun	X [mm] 3.1954	Y [mm] 2.0241	Z [mm] 11.9336	Drážení	X 20.3740	Y -9.2940	Z -6.2028	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo z	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master


1: tvar_9L_K5

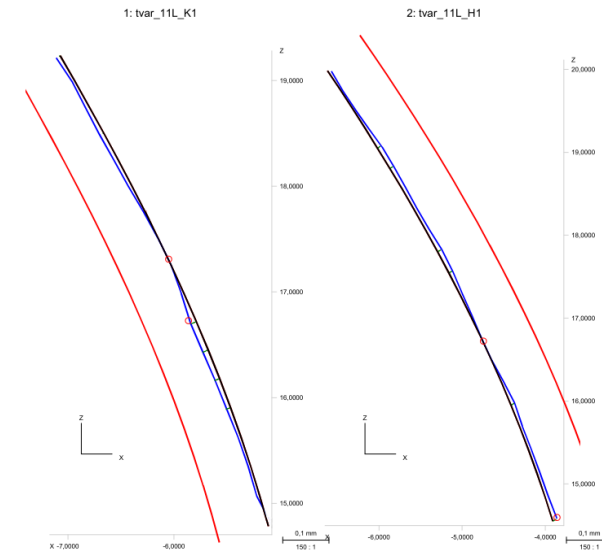


2: tvar_9L_H5




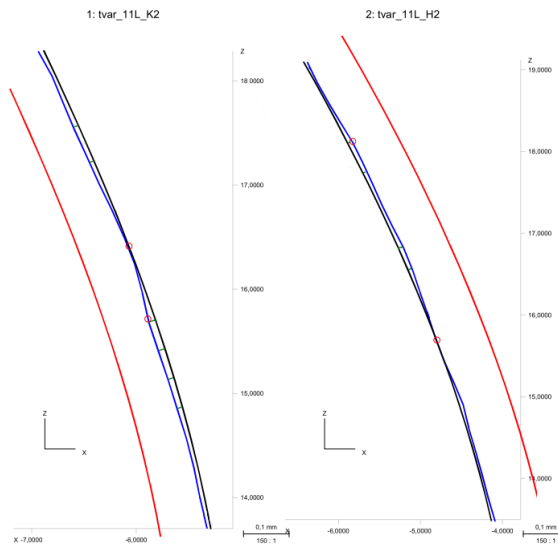
C.	Dzvažení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dokl. tol. [mm]	Horní tol. [mm]	MinInd	Min.odch. [mm]	MaxInd	Max.odch. [mm]
1	tvar_9L_K5	0,0086	0,0119	11	0,0000	0,1200	9	0,0069	9	0,0096
	Výsledok připas.	Posun	X [mm]26,0129	Y [mm]19,8325	Z [mm]13,3449	Dzvažení		X 18,9125	Y 16,3227	Z -46,5274
2	tvar_9L_H5	0,0073	0,0082	10	0,0000	0,1200	2	0,0010	6	0,0085
	Výsledok připas.	Posun	X [mm]26,1235	Y [mm]11,4767	Z [mm]8,9814	Dzvažení		X 4,2348	Y -9,3344	Z 64,1341

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master




Č.	Dzračení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Měřid	Min. odch. [mm]	Maxid	Max. odch. [mm]
1	tvar_11L_K1	0,0076	0,0096	18	0,0000	0,1200	16	0,0007	15	0,0149
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]10,4235	Y [mm]-8,3400	Z [mm]-1,3151	Dřáčení	X -8,3489	Y -4,8454	Z -3,4456	
2	tvar_11L_H1	0,0079	0,0100	22	0,0000	0,1200	10	0,0002	11	0,0069
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]1,4678	Y [mm]-3,2663	Z [mm]7,9854	Dřáčení	X 5,2354	Y -5,0980	Z -1,5435	

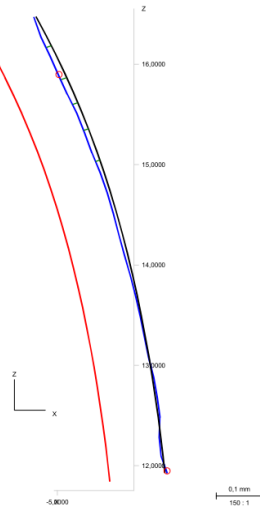
 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master



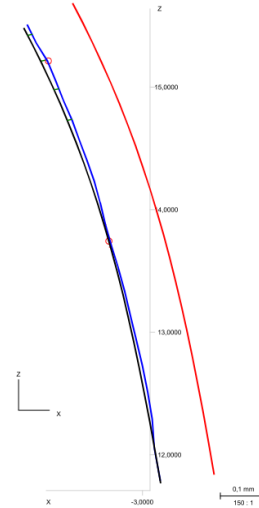
Č.	Dzračení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Měřid	Min. odch. [mm]	Maxid	Max. odch. [mm]
1	tvar_11L_K2	0,0123	0,0145	29	0,0000	0,1200	19	0,00017	14	0,0209
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]4,3212	Y [mm]8,0112	Z [mm]4,2241	Dřáčení	X 9,9230	Y -2,4822	Z -4,5434	
2	tvar_11L_H2	0,0065	0,0116	32	0,0000	0,1200	8	0,0006	11	0,0163
	Výsleděk přřpas.	Posun	X [mm]7,9489	Y [mm]2,4339	Z [mm]3,4675	Dřáčení	X -4,2351	Y -4,070	Z -1,6253	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis:
		Master


1: tvar_11L_K3



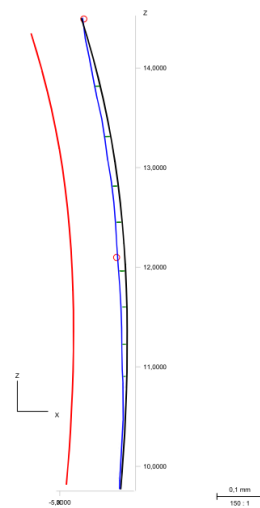
2: tvar_11L_H3



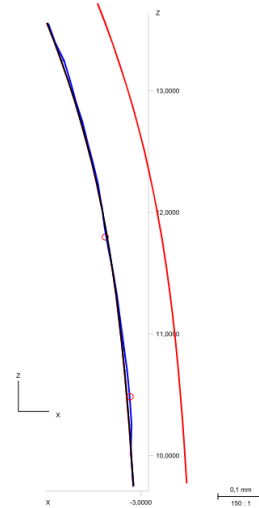
Č.	Óznabění	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dělní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_11L_K3	0,0193	0,0178	42	0,0000	0,1200	5	0,0038	25	0,0185
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]1,4836	Y [mm]0,2397	Z [mm]3,0696	Dřábění	X 21,1381	Y 3,4983	Z -1,6498	
2	tvar_11L_H3	0,0134	0,0129	44	0,0000	0,1200	10	0,0016	21	0,0189
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]3,1348	Y [mm]0,1656	Z [mm]11,4961	Dřábění	X 17,4689	Y -8,1440	Z -12,0832	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis:
		Master


1: tvar_11L_K4



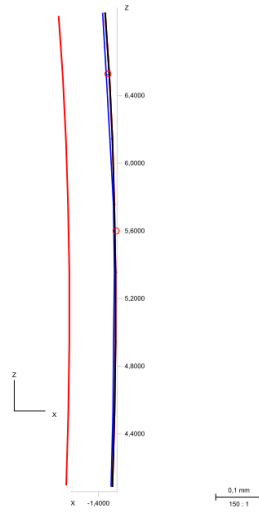
2: tvar_11L_H4



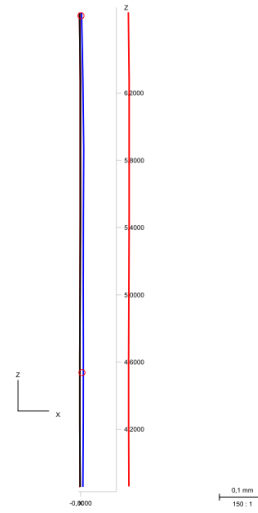
Č.	Óznabění	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dělní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Minind	Min.odch. [mm]	Maxind	Max.odch. [mm]
1	tvar_11L_K4	0,0203	0,0199	36	0,0000	0,1200	7	-0,0019	28	0,0211
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]7,8634	Y [mm]1,2482	Z [mm]5,0623	Dřábění	X 15,6123	Y 4,3593	Z -1,5346	
2	tvar_11L_H4	0,0015	0,0054	37	0,0000	0,1200	11	0,0011	17	0,0052
	Výsledek připes.	Posun	X [mm]0,9515	Y [mm]0,7091	Z [mm]3,9866	Dřábění	X 27,8897	Y -4,1459	Z -9,0843	

 Calypso 4.10.06	Carl Zeiss	Datum 18 JULI 2012
Díl číslo 2	Typ stroje UPMC_5_C	Číslo výkresu
Název plánu měř.		Oddělení: Operátor Podpis: Master

1: tvar_11L_K5



2: tvar_11L_H5



Č.	Dzrazení	Sigma [mm]	Tvar [mm]	Počet bodů	Dolní tol. [mm]	Horní tol. [mm]	Měřítko	Min. odch. [mm]	Maximál	Max. odch. [mm]
1	tvar_11L_K5	0,0046	0,0119	11	0,0000	0,1200	11	0,0012	0	0,0046
	Výsledek připas.	Posun	X [mm] 29,9498	Y [mm] 26,8560	Z [mm] 19,8284	Dřázení	X 10,6921	Y 12,7479	Z -53,5712	
2	tvar_11L_H5	0,0061	0,0092	10	0,0000	0,1200	4	0,0024	0	0,0056
	Výsledek připas.	Posun	X [mm] -19,1546	Y [mm] 12,1374	Z [mm] 0,1629	Dřázení	X 5,2851	Y -3,3442	Z 64,4125	

PŘÍLOHA č. 3

Chemické složení materiálů turbínových kol

Chemické složení použitých materiálů v %

INCONEL 713 C

C	0,08 – 0,20	Si max.	0,50
Cr	12,00 – 14,00	Mn max.	0,25
Mo	3,80 – 5,20	Fe max.	2,50
Nb+Ta	1,80 – 2,80	Cu max.	0,50
Al	5,50 – 6,50	S max.	0,015
Ti	0,50 – 1,00	Co max.	1,00
B	0,005 – 0,015	P max.	0,015
Zr	0,05 – 0,15	Ni	zbytek

INCONEL 713 LC

C	0,03 – 0,07	Si max.	0,50
Cr	11,00 – 13,00	Mn max.	0,25
Mo	3,80 – 5,20	Fe max.	0,50
Nb+Ta	1,50 – 2,50	Cu max.	0,50
Al	5,50 – 6,50	S max.	0,015
Ti	0,40 – 1,00	Co max.	1,00
B	0,005 – 0,015	P max.	0,015
Zr	0,05 – 0,15	Ni	zbytek