

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Diplomová práce

**Stanovení přijatelných nejistot filtrů používaných
v oblasti metrologie.**

Autor: Bc. Gura Tomáš

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.

Praha 2015

Poděkování:

Za odborné vedení, poskytnutí cenných rad a vytvoření ideálních podmínek pro vypracování této diplomové práce bych chtěl poděkovat svému vedoucímu panu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph. D, dále panu doc. Ing. Jaroslavu Skopalovi CSc. Za jeho připomínky a v neposlední řadě moji rodině za podporu, které se mi dostalo, při psaní této práce.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil pouze podklady uvedené v příloze seznamu.

Neznám závažný důvod proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

Abstrakt diplomové práce

Tato diplomová práce se zabývá filtrací při měření na souřadnicových systémech, především pak studiem a vysvětlením funkce jednotlivých filtrů. Uvedených v dostupných normativních dokumentech. Jedná se zejména o filtry lineární, morfologické, a to na lineárních profilech. O měření a filtraci plošných profilů je zmínka pouze okrajová v úvodu z důvodu společných matematických základů obou problematik.

Nejprve teoreticky popsán samotný účel filtrů, použití a problematika filtrace. Dále jsou jednotlivé filtry popsány a je vysvětleno, jakým způsobem ve své podstatě fungují, kdy a za jakých podmínek se tyto filtry užívají a jak se správně předepisují v protokolech o měření.

Klíčová slova

Filtr, filtrace, metody filtrace, filtrování.

Thesis Abstract

This thesis is themed Filtration during Measurement and the meaning behind this theme is primarily study of the available normative documents, their descriptions and explanations of the various filters specified in these documents. Thesis includes linear, morphological and robust filters, used on linear profiles. The measurement and filtering on area profiles is mentioned only marginally, due to the introduction of common mathematical foundations of both issues.

In first moment is foremost theoretically described the model itself, reason, and filtration matters in general. Furthermore, individual filters for linear filtering in the measurement are mathematically described and explained how the nature works, when and under what conditions these filters should be used and how to properly prescribe the measurement protocols.

Key words

Filter, filtration, filtration methods, filtering.

Obsah

1	Úvod	8
2	Rozdělení filtrů a základy filtrace	9
3	Matematický náhled na filtry	13
4	Možnosti a funkce filtrace	18
5	Dostupné filtry pro vyhodnocování nejistot	20
5.1	Filtrace	20
5.2	Lineární filtry – Gaussian	20
5.3	Lineární filtry – Spline	23
5.4	Lineární filtry – Wavelet	27
5.4.1	Spojité Wavelet transformace	28
5.4.2	Diskrétní wavelet transformace	28
5.4.3	Soubor interpolačních spline	29
6	Problematika nejistot z pohledu normativních dokumentů	33
6.1	Základní faktory při analýze nejistot měření:	33
6.2	Technické normy řešící problematiku nejistot	34
6.3	Stručná obsahová náplň jednotlivých uvedených technických norem:	36
6.3.1	ČSN P ENV 13005	36
6.3.2	ČSN EN ISO 14253-1	37
6.3.3	ČSN P ISO/TS 14253-2	38
6.3.4	ČSN P ISO/TS 14253-3	39
6.3.5	ČSN P ISO/TS 15530-3	41
6.3.6	ČSN 01 4102	43
6.3.7	ČSN P ISO/TS 17450-2	44
6.3.8	ČSN P ISO/TS 21748	45
6.3.9	ČSN ISO 7066-2	46

6.3.10	ČSN EN 55016-4-2	47
6.3.11	ČSN EN ISO 14956	49
7	Ekonomické zhodnocení nákladů z pohledu stupně splnění úrovně požadavků souborem inherentních metrologických charakteristik	51
7.1	Způsobilost měřidla (měřicího zařízení):.....	51
7.2	Způsobilost procesu a jeho znaky	51
7.2.1	Relativní variační rozpětí fp:	52
7.2.2	Index způsobilosti C_p	54
7.2.3	Index způsobilosti C_{pk} (zohledňuje správnost nastavení).....	55
7.2.4	Index způsobilosti C_{pm} (Taguchiho index způsobilosti).....	56
7.3	Způsobilost výrobního zařízení	57
7.4	Způsobilost měřidel	58
8	Ekonomické aspekty.....	60
8.1	Význam jakosti v tržní ekonomice	60
8.2	Náklady na jakost.....	61
8.2.1	Náklady na jakost u výrobce:	61
9	Závěr.....	63
10	Seznam obrázků.....	64
11	Použité zdroje.....	65

1 Úvod

Metrologie v dnešní době čerpá v podnicích značný díl finančních zdrojů. Měřicí vybavení odborný personál a zbylé náklady na měření se dokáží pohybovat až kolem 25 % celkové výrobní ceny produktu. Pokud podnik přistoupí na investici do oblasti metrologie a kvality tak významnou částí svých financí, je velice důležité, aby měření byla správně interpretována a nedocházelo tak jejich znehodnocování. Každý výrobek především má za úkol plnit svoji funkci. Aby to bylo možné, je zapotřebí mít vždy dostatek informací o jeho charakteristice a specifikacích, následně je možné potom tento soubor hodnot ověřit.

Funkce výrobku	Charakteristika	Specifikace	Ověření

Obrázek č.: 1 Funkce výrobku

Nedílnou součástí procesu ověřování charakteristik, zejména specifikací a to na zejména na souřadnicových měřicích strojích je filtrace těchto naměřených hodnot, na základu předem stanovených postupů a požadavků.

V první řadě je tedy nutné vysvětlit pojem filtr a filtrace a ukázat jejich funkci. Pod pojmem filtrace se rozumí proces, při kterém jsou data ochuzena, nebo zeslabena o námi požadovanou část. Jako nejjednodušší příklad filtrace se jeví síto. To propustí jen požadované hodnoty (rozměry), které jsou schopny projít přes předem stanovený filtr (stanovený rozměr otvorů) a to do určitého rozsahu velikosti. Filtraci je v podstatě možné rozdělit na hmotovou a statickou. Pod hmotnou je možné si představit různá síta. Ať už to je síto na písek, cedník, nebo síto (filtr) pevných částic i klimatizací. Tyto příklady jsou samozřejmě jen ty jednodušší. Hmotová filtrace má mnoho podkategorií, které se značně liší technologiemi. Mezi hmotové filtry patří také filtry na malé a sypké částice, které jsou speciálně vyráběny pro filtraci proudících kapalin. Nejmenší dnes používané hmotné filtry jsou tzv. molekulové filtry, které jsou schopny zadržet molekuly o definované velikosti, tím je možné filtrovat plyny nebo kapaliny. Tyto příklady jsou pro dokreslení a pochopení představy o následujících stránkách. V této práci se ovšem budeme zabývat především statickou filtrací, neboť ta hraje významnou roli oboru metrologie, která využívá současnou výpočetní techniku a technologii.

2 Rozdělení filtrů a základy filtrace

Filtrace dat, která je podrobněji popsána v ISO/TS 16610 [1], je nelokální matematický proces, který transformuje informace do námi požadovaných forem. Tyto informace jsou transformovány způsobem takovým, že struktury daného charakteru zesílí, zeslabí nebo zcela potlačuje. Vzhledem k tomu, že proces je nelokální, což znamená, že dochází k nezvratné ztrátě informací při každé filtraci. Tento děj nastává proto, že pro nelokální matematické procesy neexistuje inverzní transformace, kterou by bylo možno rekonstruovat výchozí datový soubor.

Zjednodušeně řečeno, filtrací se zbavujeme šumů. V metrologii šumy představují nepřesnosti, chyby měření nebo odchylky od střední hodnoty. Základem většiny filtrací jsou Fourierovy transformace, Wavelet transformace nebo proložení křivkou (spline). Z důvodu vyhnutí se složitým matematickým teoriím a důkazům jednotlivých vět, bude problematika popisována zjednodušeně.

Současné rozdělení používaných filtrů, doporučených normou ISO/TS 16610 [1], je uvedeno v následujících tabulkách, které zároveň předkládá, jakými filtry se budeme v této práci zabývat. Názvy filtrů jsou ponechány v anglickém jazyce v celém textu z praktického hlediska a také proto, že počestění by nebylo adekvátní.

Tabulka 1 Základní schématické rozdělení filtrů [1]

Filtr	Typ filtru	Kategorie
F = Filtr	A = Plošný (3D)	L = Lineární
		M = Morfologický
		R = Robustní
	P = Profilový (2D)	L = Lineární
		M = Morfologický
		R = Robustní

Tabulka 2 Typy filtrů a jejich přiřazení k jednotlivým částím ISO/TS 16610 [1]

Typ	Kategorie	Označení	Název	ISO
FA	FAL	FALG	Gaussian	ISO/TS 16610-61
		FALS	Spline	ISO/TS 16610-62
		FALW	Spline Wavelet	ISO/TS 16610-69
	FAM	FAMCB	Closing Ball	ISO/TS 16610-81
		FAMCH	Closing Horizontal segment	ISO/TS 16610-8x
		FAMOB	Opening Ball	ISO/TS 16610-8x
		FAMOH	Opening Horizontal segment	ISO/TS 16610-8x
		FAMAB	Alternating series Ball	ISO/TS 16610-8x
		FAMAH	Alternating series Horizontal Ball	ISO/TS 16610-8x
FP	FPL	FPLG	Gaussian	ISO/TS 16610-21
		FPLS	Spline	ISO/TS 16610-22
		FPLW	Spline Wavelet	ISO/TS 16610-29
	FPM	FPMCD	Closing Disk	ISO/TS 16610-41
		FPMCH	Closing Horizontal segment	ISO/TS 16610-4x
		FPMOD	Opening Disk	ISO/TS 16610-4x
		FPMOH	Opening Horizontal segment	ISO/TS 16610-4x
		FPMAD	Alternating series Disk	ISO/TS 16610-49
		FPMAH	Alternating series Horizontal segment	ISO/TS 16610-49
	FPR	FPRG	Robust Gaussian	ISO/TS 16610-31
		FPRS	Robust Spline	ISO/TS 16610-32

Tabulka 3 Charakteristiky normy ISO/TS 16610 [1]

Označení	Popis funkce
ISO/TS 16610-61	Určuje metrologické charakteristiky Gaussova filtru pro odseparování krátkovlnných a dlouhovlnných komponent povrchu plochy.
ISO/TS 16610-62	Určuje metrologické charakteristiky Spline filtru pro odseparování krátkovlnných a dlouhovlnných komponent povrchu plochy.
ISO/TS 16610-69	Specifikuje spline Wavelet filtr a obsahuje důležité koncepty. Dále obsahuje základní terminologii, celkovou podporu a použití spline Wavelet filtru pro měření na povrchu plochy.
ISO/TS 16610-81	Specifikuje techniky pro operační morfologické filtry s diskovým a horizontálním segmentem, včetně obálkových plošných filtrů.
ISO/TS 16610-89	Specifikuje morfologické Scale Space technik, základy jejich terminologie a užití pro plošné případy.
ISO/TS 16610-71	Specifikuje charakteristiky diskrétního robustního Gaussova regresního filtru pro vyhodnocení povrchu plochy s jejími nepřesnostmi.
ISO/TS 16610-72	Specifikuje charakteristiky diskrétního robustního Spline filtru. Dále specifikuje jak separovat dlouhovlnné a krátkovlnné komponenty povrchu plochy.
ISO/TS 16610-21	Určuje metrologické charakteristiky Gaussova filtru pro odseparování krátkovlnných a dlouhovlnných komponent profilu povrchu.
ISO/TS 16610-22	Určuje metrologické charakteristiky Spline filtru pro odseparování krátkovlnných a dlouhovlnných komponent profilu povrchu.
ISO/TS 16610-29	Specifikuje spline Wavelet filtr a obsahuje důležité koncepty. Dále obsahuje základní terminologii, celkovou podporu a použití spline Wavelet filtru pro měření na profilu povrchu.
ISO/TS 16610-41	Specifikuje techniky pro operační morfologické filtry s diskovým a horizontálním segmentem, včetně obálkových profilových filtrů.
ISO/TS 16610-49	Specifikuje morfologické Scale Space technik, základy jejich terminologie a užití pro profily.
ISO/TS 16610-31	Specifikuje charakteristiky diskrétního robustního Gaussova regresního filtru pro vyhodnocení profilu s jejími nepřesnostmi.
ISO/TS 16610-32	Specifikuje charakteristiky diskrétního robustního Spline filtru. Dále specifikuje jak separovat dlouhovlnné a krátkovlnné komponenty profilu.

Tvorba názvu filtru

Názvosloví je patrné z tabulek č.1 a č.2. Pojmenování filtrů v současných normativních dokumentech se řídí jednoduchým schématem:

Název filtru: **F** **X** **Y** **Z**

F Filtr.

X První písmeno udává typ filtr, tedy jestli je filtr plošný nebo profilový.

Y Druhé písmeno udává kategorii filtru.

Z Třetí písmeno udává název samostatného filtru.

Aby se tyto filtry dali použít, je nutné jim nejprve porozumět, proto je uveden matematický náhled, který je společný pro všechny filtry. Na tento náhled bude v některých kapitolách odkazováno.

3 Matematický náhled na filtry

Pro porozumění filtrům je nutné si připomenout pojmy diskrétní spojité funkce a konvoluce, Fourierova teorému a Fourierovi transformace. Tyto matematické aplikace jsou základním kamenem většiny filtrů. Do této skupiny se dále řadí i matice. Následující popis je zjednodušeným vyjádřením výše uvedených pojmů. Zároveň jsou uvedeny i příklady výpočtů, z dostupných podkladů, doplňující jednotlivé pojmy [2],[8]a [9].

- **Spojité/diskrétní funkce**

Diskrétní funkce je taková, kde je neznámá veličina zadána formou bodů zpracovaných tabulkově, zatímco u spojité funkce je neznámá zadána v definičním intervalu. V obou případech se jedná o současné působení vyjádřené závislosti mezi definičním oborem a oborem funkčních hodnot. V oblasti informačních technologií je to tedy forma zpracování **dat**. [13]

Termín data je používán pro popis nějakého jevu nebo vlastnosti pozorovaného objektu. Data se získávají zápisem, měřením nebo pozorováním, a lze je dělit na data spojitá a data atributivní. Data spojitá se přitom vztahují k nějaké spojité stupnici, zatímco data atributivní nikoliv. [13]

V informatice (informační technologie), do které je tato diplomová práce zaměřena jsou **data** veškeré **informace** v digitální (číselné) podobě určené k počítačovému zpracování. Data (např. číslo, text, obrázek, zvuk, zdrojový kód atd.) jsou zapsány (kódovány) v podobě posloupností čísel (bajtů) a uloženy např. v operační paměti počítače nebo na záznamovém médiu (pevný disk, CD, paměťová karta, internetový server ap.). Stejným způsobem je kromě dat uložený sled instrukcí tvořící počítačový program, který určuje, jak má počítač data zpracovávat. [13]

Pro úplnost budou objasněny některé další termíny dle [6], které se v práci vyskytují.

Informace je spojována s velmi širokým, mnohoznačným pojmem, který se užívá v různých významech. V nejobecnějším smyslu je informace chápána jako údaj o prostředí, jeho stavu a procesech v něm probíhajících. Informace snižuje nebo odstraňuje neurčitost (entropii) systému (např. příjemce/uživatele informace). Množství informace lze charakterizovat tím, jak se jejím přijetím změnila míra neurčitosti přijímajícího systému. Za nositele informace je považován **signál**.

Signál obsahuje stručnou zprávu, která nese informaci, že došlo k určité důležité události, povel vyžadující provedení určité akce nebo zahájení činnosti, nebo výstraha před hrozícím nebezpečím. Podle podmínek může mít podobu krátkého zvuku, ústního povelu, změny elektrického nebo jiného signálu ve smyslu uvedeném níže, zprávy, příznaku, rozsvícení kontrolky, apod. Signál obvykle nese jenom malé množství informace, ale velmi důležitá je včasnost jeho doručení. Proto se často přenáší zvláštním kanálem, který dovoluje jeho rychlé předání.

V technice se slovo signál používá v poněkud posunutém významu pro fyzikální veličinu závislou na čase. Může se tak jednat například o signály optické, elektrické, elektromagnetické, akustické, mechanické, pneumatické, nebo hydraulické. Pomocí signálů lze přenášet zprávy – data tedy informace.

V oblasti informačních technologií hraje důležitou roli **kód**.

Kód představuje předpis, podle něž se informace převádějí do jiné reprezentace za účelem jejich přenosu, nebo záznamu. Je to tedy způsob, jakým se informace sdělují nebo zapisují na různá média. Často se slovem kód označuje také sama zakódovaná informace.

Kódování je proces převodu informací na symboly kódu, **dekódování** je opačný proces. Známým příkladem kódu je Morseova abeceda, která převádí písmena na sekvence teček a čárek.

Z uvedených popisů jednotlivých termínů v oblasti informačních technologií má nezastupitelnou roli **signál** jako nositel informace a předpoklad pro vytvoření kódu.

Důležitou operací v teorii signálů má **konvoluce** neboť obraz, který funkční závislost představuje je dvojrozměrný diskrétní signál, používá se konvoluce v souvislosti se zpracováním obrazu velmi často. Kromě toho, že konvoluce je jádrem téměř všech pokročilejších transformací obrazu je rovněž nedílnou součástí některých základních

metod jako např. detekce hran, kde se jako konvoluční jádro používá některý ze známých hranových detektorů.

V hierarchickém uspořádání, které filtrace představuje je důležitá zmíněná konvoluce, jejíž matematický aparát bude popsán dále.

- **Spojité konvoluce [13]**

Spojité konvoluce má tvar:

$$(f \cdot K) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)K(x-a)da \tag{1}$$

kde konvoluční jádro je funkce $K(x)$

- **Diskrétní Konvoluce**

$$(f * K)_k = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f \times K_{(k-i)} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_{(k-i)} \times K_{(i)} \tag{2}$$

Počítají se dvě konečné řady, pak se sčítá pouze přes **konečné číselné řady**.

Vedle konečných číselných řad jsou číselné řady nekonečné Funkční (nekonečné) řady můžeme chápat jako zobecnění řad číselných. Za předpokladu dosazení do předpisu pro funkční řadu za proměnnou x konkrétní hodnotu, získáme řadu číselnou. Při vyšetřování funkčních řad je pro oblast filtrace důležité určování oboru konvergence funkční řady, tedy množiny, pro jejíž prvky daná funkční řada konverguje. Předpoklad pro filtraci je stejnoměrné konvergence funkční řady, která je významná z hlediska početních operací s funkční řadou (integrace a derivace řady) a spojitosti součtu $s(x)$ funkční řady. Nejčastěji je používána modifikace Fourierovy řady a to pro aplikaci Fourierovy transformace.

Fourierova transformace [16] je integrální transformace převádějící signál mezi časově a frekvenčně závislým vyjádřením pomocí harmonických signálů, tj. funkcí \sin a \cos , obecně tedy funkce komplexní exponenciály. Slouží pro převod signálů z časové oblasti do oblasti frekvenční. Signál může být buď ve spojitém či diskrétním čase.

- **Fourierova transformace [16]**

Slouží k přenosu funkce f do frekvenční oblasti a zpátky

$$\hat{f}(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi i x k} dx \quad \text{pro reálné číslo } k \quad (3)$$

Zpětná transformace do prostorové oblasti

$$f(k) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\alpha)e^{-2\pi i x \alpha} d\alpha \quad \text{pro reálné číslo } x \quad (4)$$

A dále pro Fourierovu transformaci diskrétně

$$X(k) = \sum_{j=-1}^N x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad \text{kde } \omega_N = e^{\frac{-2\pi i}{N}} \quad (5)$$

Zpětná transformace diskrétně

$$x(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=-1}^N X(k)\omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad \text{kde } \omega_N = e^{\frac{-2\pi i}{N}} \quad (6)$$

Nutno si uvědomit, že zpětná Fourierova transformace není vždy možná. Pro zpětnou transformaci musíme znát hodnoty fázových posunů jednotlivých vln.

Obecně popsaná rovnice filtrace pro spojitý příklad

$$y(x) = \int K(x, \mathcal{G})z(\mathcal{G})d\mathcal{G} \quad (7)$$

Kde $y(x)$ je odfiltrovaný profil

$z(\mathcal{G})$ je filtrovaný profil

$K(x, \mathcal{G})$ je konvoluční jádro

Za předpokladu, že $K(x, \mathcal{G}) = K(x - \mathcal{G})$ jedná se o výše zmiňovanou konvoluci a pak

$$y(x) = \int K(x - \mathcal{G})z(\mathcal{G})d\mathcal{G} \quad (8)$$

Jádro se nazývá zatěžovací funkcí filtru.

Diskrétní popis dat.

Tento popis může být uskutečněn vektorem. Délka vektoru n je rovná počtu měřených bodů a měřený interval je konstantní. Pak i -tý měřený bod bude i -tý člen vektoru.

$$(a_1 a_2 \dots a_i a_{n-1} a_n) \tag{9}$$

Diskrétní popis filtru

Je-li filtr periodický, matice bude čtvercová

$$\begin{bmatrix} a & b & c & \dots & \dots & c' & b' \\ b' & a & b & c & \dots & \dots & c' \\ c' & b' & a & b & c & \dots & \dots \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ \dots & \dots & c' & b' & a & b & c \\ c & \dots & \dots & c' & b' & a & b \\ b & c & \dots & \dots & c' & b' & a \end{bmatrix} \tag{10}$$

Jeli dimenze rovna počtu naměřených bodů a filtr je neperiodický, matice bude obdélníková.

$$\begin{bmatrix} \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & c' & b' & a & b & c \\ & & c' & b' & a & b & c \\ & & & c' & b' & a & b & c \\ & & & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \end{bmatrix} \tag{11}$$

Diskrétní reprezentace zatěžovací funkce

Budeme-li předpokládat, že každý řádek matice, která reprezentuje filtr, je shodný, je možné, aby matice byla prezentována v jednom řádku.

$$a_{ij} = S_k \quad k = i - j \tag{12}$$

S_k jsou hodnoty vektoru s o dimenzi rovnající se délce vstupního nebo výstupního vektoru, tento vektor je taktéž reprezentací zatěžovací funkce.

Rovnice filtrů

Pokud je filtr zadán diskrétně maticí S , vstupní data vektorem z a výstupní data vektorem w , je možné proces filtrace popsat jednoduchou rovnicí.:

$$w = S \cdot z \quad (13)$$

Je-li inverzní matice S^{-1} k matici S , platí:

$$z = S^{-1} \cdot w \quad (14)$$

V případě že inverzní matice neexistuje, je filtr nestabilní a zpětná filtrace není možná.

4 Možnosti a funkce filtrace

Většina filtrů může být spojitých tak i diskrétních. Velmi používané diskrétní filtry jsou maticového typu. Okolní body v profilu se „zprůměrují“ a takto vzniklá hodnota se uloží zpět do výchozího bodu. Tím vzniká filtrace šumů a profil se vyhlazuje. Abychom docílili takové filtrace, násobíme body vhodnými váhovými koeficienty, ty přiřazují každému bodu určitou váhu, většinou podle vzdálenosti od střední hodnoty. Výchozí bod uprostřed má váhu největší a s rostoucí vzdáleností od něj váha klesá. Filtrem je pak váhová matice zprůměrování. Příkladem je devíti bodové vyhlazení s váhovou maticí:

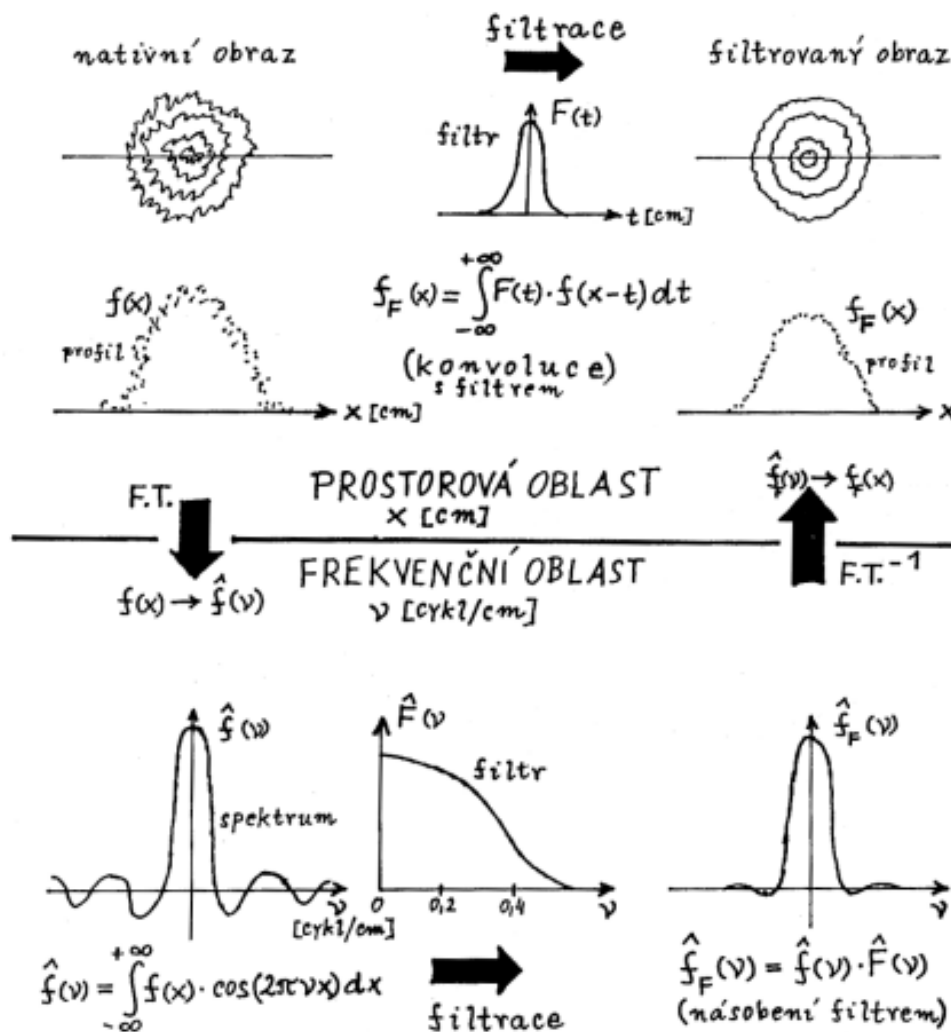
$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Jako další možnost filtrace lze použít Fourierův teorém, který říká, že každá periodická vlna je složena z množství složek goniometrických funkcí sinus a cosinus. Dílčí vlny pak mohou být získány pomocí Fourierovy transformace, což je významné pro případ filtrace. Následně je možné touto transformací převést data do frekvenční oblasti, kde se rozloží na harmonické funkce. Pak vzniká frekvenční spektrum.

Ve frekvenční oblasti se následně toto spektrum násobí vhodnou frekvencí, což je právě filtr. Toto násobení má za následek změnu (tj. zvýšení či snížení) amplitud příslušných harmonických funkcí a vzniká tak filtrované spektrum. Toto filtrované spektrum se inverzní Fourierovou transformací přivede zpět do prostorové oblasti a vznikne filtrovaný profil, jak je patrné na obrázku č. 2. Převody z jedné oblasti do druhé

provádíme pouze v případě potřeby a filtrace funguje i samostatně v jedné či druhé oblasti.[8]

Matematicky lze dokázat, že výsledky z obou oblastí jsou si rovny.



Obrázek č.: 2 Fourierova transformace a filtrace vzhledem k amplitudě [8]

Na obrázku č. 2 je vlevo nahoře spektrum obrazu směrem doprava, pak použití Gaussova filtru a odfiltrovaný obraz. Gaussův filtr je také aplikován ve spodní části na frekvenční oblasti. Uvedené vzorce v obrázku jsou platné, pokud se zabýváme frekvencí, což je většinou právě při filtraci obrazů. V metrologii jsou vzorce pozměněny pro amplitudy, princip je ale neměnný [8].

5 Dostupné filtry pro vyhodnocování nejistot

Při analýze norem bylo převážně čerpáno z ISO/TS 16610 – GPS [1], a jejich všech doplnění. GPS je zkratka pro geometrické specifikace výrobku.

5.1 Filtrace

ISO norma přesně stanovuje požadované vlastnosti a provedení zvlášť každému filtru a definuje způsob a oblast jejich použití. Nemá za účel vzdělávat uživatele a z toho důvodu se budu při popisu jednotlivých filtrů obracet s vysvětlením k předchozím stranám tohoto textu případně u odlišných filtrů další popisy funkce a použití doplním.

5.2 Lineární filtry – Gaussian [2]

Gaussův filtr je v současnosti jeden z nejpoužívanějších. Způsobuje to jeho relativně snadná aplikace a fakt, že je integrován do většiny softwarů, které se zabývají filtrací. Většinou se filtruje právě Gaussovým filtrem, protože je to jistá forma tradice, ať už pro metrologa, nebo pro osobu, která požaduje specifický výstup. Tato tradice v oblasti metrologie však není vždy účelná, neboť může dojít ke zkreslení výsledků. V takových případech je lepší použít filtr odlišný, což nicméně nemění fakt, že s Gaussovským filtrem se setkáváme nejčastěji.

Jak už bylo zmíněno, forma vstupních dat je buď spojitá, nebo nespojitá.

Rovnice Gaussova filtru pro otevřený profil:

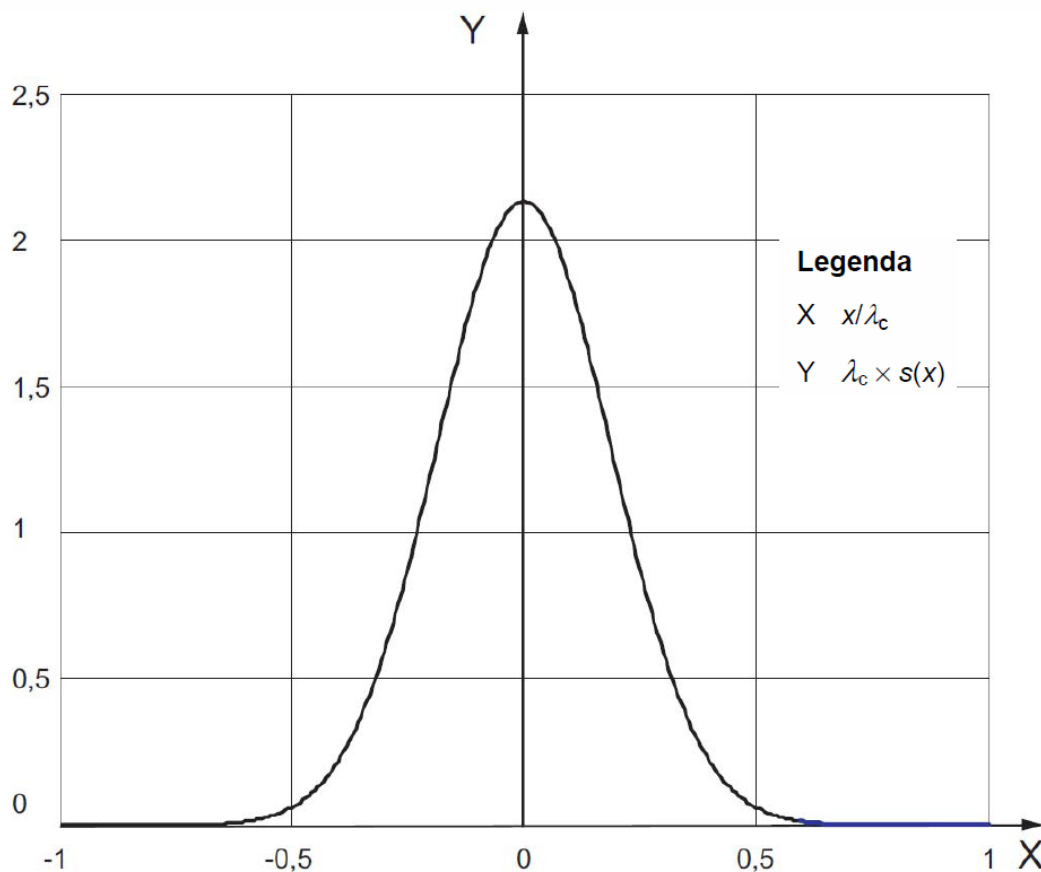
$$s(x) = \frac{1}{\alpha\lambda_c} \exp \left[-\pi \left(\frac{x}{\alpha\lambda_c} \right)^2 \right] \quad (16)$$

Kde x je vzdálenost od maxima zatěžovací funkce

λ_c je cut-off hodnota zvlnění

α je konstanta spočtená jako

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0,4697 \quad (17)$$



Obrázek č.: 3 Gaussova zatěžovací funkce [2]

Jako další možností definice vstupního parametru je hodnota UPR. Hodnota UPR vezme celý interval datového souboru a rozdělí ho na požadované části., které pak jsou velikostí filtru neboli hodnotou λ_c . Tato hodnota je vztažená k počtu měření profilu.

Vzorec č. 16 je všeobecně platný na intervalu

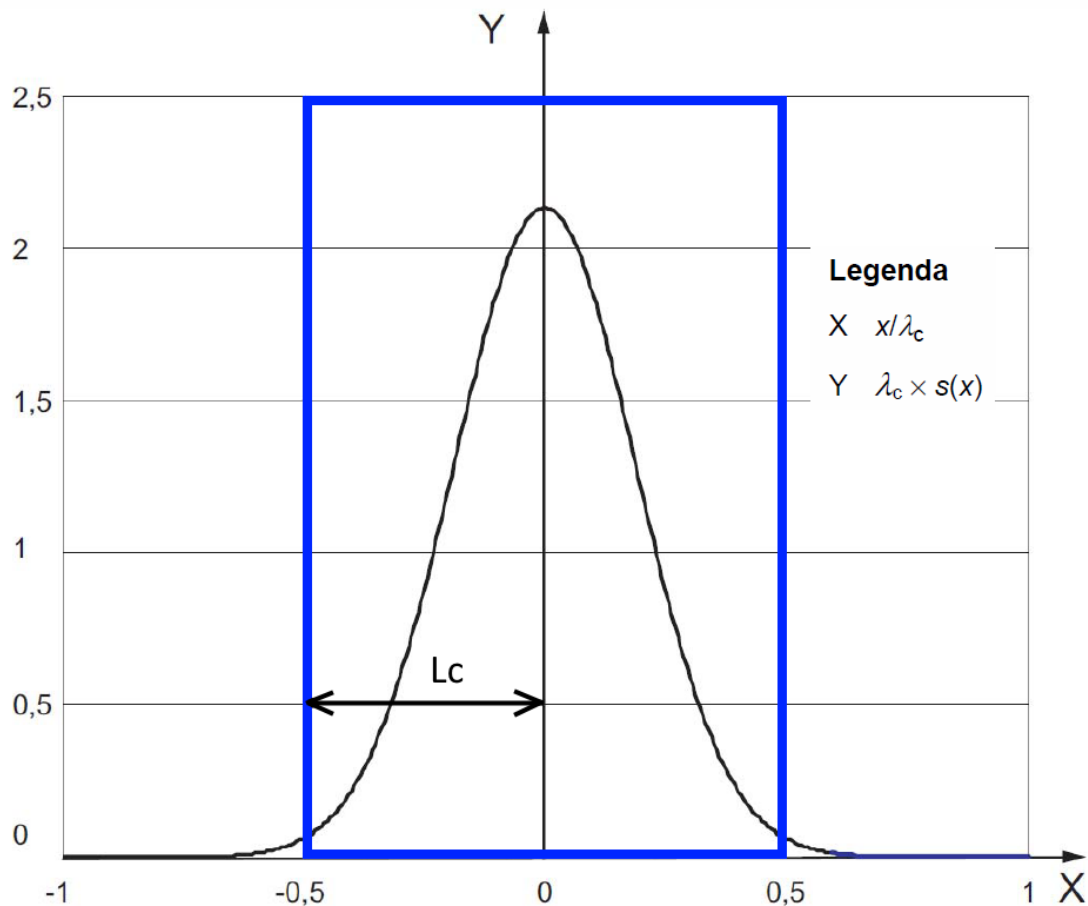
$$s(x) = \begin{cases} s(x) & \text{pro } -\lambda_c \leq x \leq \lambda_c \\ 0 & \text{jinde} \end{cases} \quad (18)$$

Gaussova křivka s rostoucí vzdáleností od středu rapidně klesá k nulovým hodnotám.

Z tohoto důvodu se uvádí zkrácení tohoto intervalu pro praktické použití na:

$$s(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x < -Lc \cdot \lambda_c \\ s(x) & \text{pro } -Lc \cdot \lambda_c \leq x \leq Lc \cdot \lambda_c \\ 0 & \text{pro } x > Lc \cdot \lambda_c \end{cases} \quad (19)$$

Kde L_c je konstanta oříznutí váhové funkce. Použitím této konstanty vnášíme do filtrace vědomě chybu o velikosti závislé na hodnotě L_c .



Obrázek č.: 4 Upravená váhová funkce Gaussova filtru

Tabulka 4 Chyba filtrace v závislosti na velikosti oříznutí váhové funkce

Konstanta L_c	Chyba (%)
0,5	0,76
0,6	0,14
0,8	$1,96e^{-3}$
1	$9,47e^{-6}$

Lze také použít náhradní interval, což je doporučeno z důvodu úspory výpočetních časů.

Pro uzavřený profil platí:

Pro uzavřené profily je doporučeno použít menší filtr, nebo zcela jiný typ filtru, pokud má uzavřený profil obvod menší, než je hodnota dvou λ_c . Pro větší obvody se oproti otevřeným profilům do váhové funkce dosazuje délka (obvod) profilu L a frekvence $f_c=L/\lambda_c$.

Rovnice Gaussova filtru pro uzavřený profil:

$$s(x) = \begin{cases} \frac{f_c}{\alpha \cdot \lambda_c} \cdot \exp \left[-\pi \cdot \left(\frac{x \cdot f_c}{\alpha \cdot \lambda_c} \right)^2 \right] & \text{pro } -\frac{L_c \cdot L}{f_c} \leq x \leq \frac{L_c \cdot L}{f_c} \\ 0 & \text{jinde} \end{cases} \quad (20)$$

Kde x je vzdálenost od maxima zatěžovací funkce

λ_c je cut-off hodnota zvlnění

α je konstanta spočtená jako $\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0,4697$

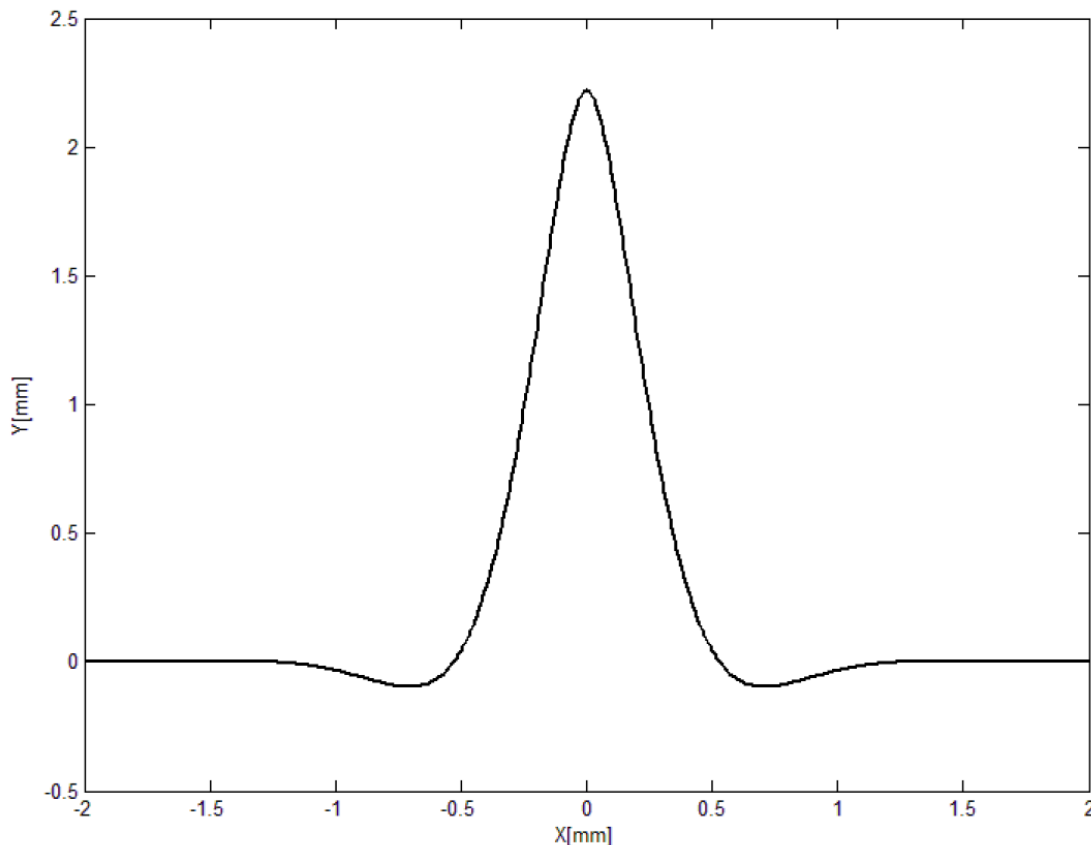
L_c je konstanta oříznutí

L je délka uzavřeného profilu

Graf je potom stejný jako pro případ otevřeného profilu.

5.3 Lineární filtry – Spline [3], [4]

Další možností filtrování naměřených dat, je proložení křivky mezi naměřenými body. Tato křivka se nazývá Spline, je definována jako po částech kombinované polynomy, s hladkým přechodem mezi těmito částmi. Zatěžovací funkce spline profilu nemůže být zadána jednoduše uzavřeným vzorcem. Proto je místo zatěžovací funkce použita rovnice filtru, nicméně když je třeba, numerická kalkulace zatěžovací funkce je vždy možná.



Obrázek č.: 5 Zatěžovací funkce spline filtru

Na obrázku č. 5. vidíme zatěžovací funkci spline profilového filtru založenou na základních kubických splinech.

Funkce je poté popsána matematickou rovnicí:

$$s(x) = \frac{\pi}{\lambda_c} \sin\left(\sqrt{2\frac{\pi}{\lambda_c}} \times |x| + \frac{\pi}{4}\right) \exp\left(-\sqrt{2\frac{\pi}{\lambda_c}} \times |x|\right) \quad (21)$$

Pokud je vstupní funkce spojitá, je použit právě tato zatěžovací funkce. Bude-li otevřený měřený profil zadán diskrétně, což může být jakákoli ukončená řada údajů, je neperiodická rovnice filtru takováto:

$$\left[1 + \beta\alpha^2 P + (1 - \beta)\alpha^2 Q\right]_w = z \quad (22)$$

S maticemi

$$P = \begin{bmatrix} 1 & -1 & & & & \\ -1 & 2 & -1 & & & \\ & -1 & 2 & -1 & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & -4 & 5 & -1 \\ & & & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & & & & \\ -2 & 5 & -4 & 1 & & & \\ 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ & & & 1 & -4 & 5 & -2 \\ & & & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

- Kde
- n je počet extrahovaných hodnot profilu
 - z je vektor o n hodnot před filtrací
 - w je vektor o velikosti n hodnot ve filtrovaném profilu
 - λ_c je cut-off hodnota zvlnění profilu
 - Δx je interval vzorku

s parametry

$$\alpha = \frac{1}{2 \sin \frac{\pi \Delta x}{\lambda_c}} \quad (25)$$

β volena z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, který je parametrem rozpětí, kontrolující jak těsně se Spline přimyká k bodům původního diskrétního vektoru.

V případě uzavřeného profilu je filtr podobný, ale periodický.

Periodický filtr má stejnou rovnici ale nad vstupními parametry je znak periodičnosti \sim .

Rovnice má pak tvar:

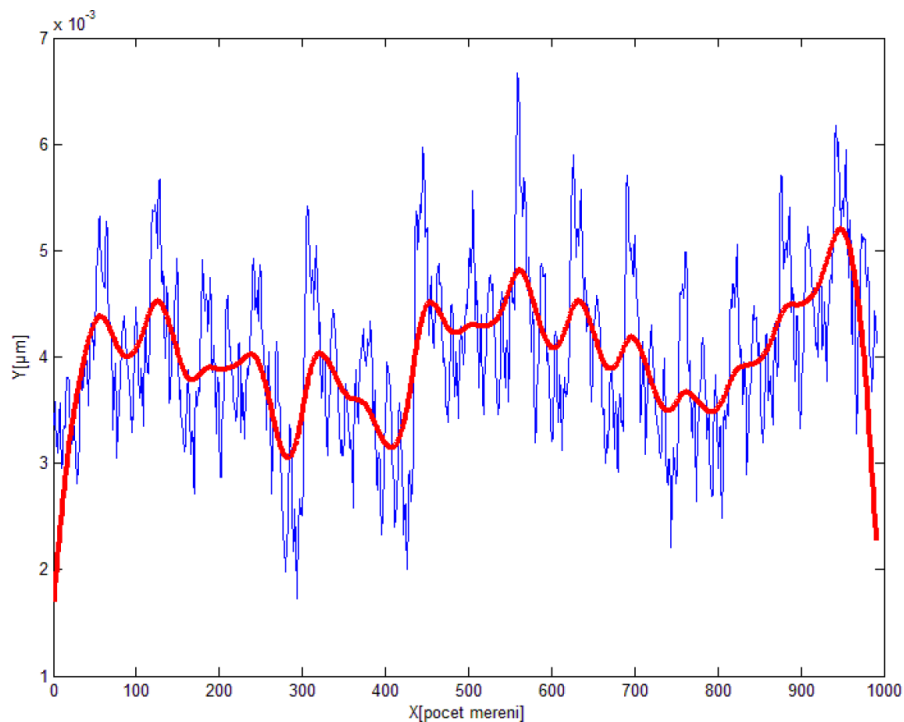
$$\left[1 + \beta\alpha^2\tilde{P} + (1 - \beta)\alpha^2\tilde{Q}\right]\tilde{w} = \tilde{z} \quad (26)$$

Parametry α a β zůstávají stejné jako v neperiodickém případě, ale mění se vstupní matice. A to následujícím způsobem:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & -1 & & & -1 \\ -1 & 2 & -1 & & \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & -1 & 2 & -1 \\ & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & & 1 & -4 \\ -2 & 5 & -4 & 1 & & 1 \\ 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ 1 & & 1 & -4 & 5 & -2 \\ -4 & 1 & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Obrázek č. 6 zobrazuje filtraci spline filtrem s parametry $\alpha = 0,8$ a $\beta = 0$. Není použita žádná metoda pro řešení koncového efektu a to má za následek, že se konce splinu z nedostatku informací blíží k nulové hodnotě.



Obrázek č.: 6 Filtrace Spline křivkou

5.4 Lineární filtry – Wavelet

Jak již bylo zmíněno o Fourierově teorému, když vyjádříme funkci jako sumu nekonečných částí sinů a cosinů, velká nevýhoda je, že její zaměření je pouze na parametr frekvence a nikoli i na parametr času. Během posledních desetiletí se objevilo několik řešení, jak tento problém vyřešit a více či méně reprezentovat signál jak v časové tak i frekvenční sféře. Za touto reprezentací se v podstatě skrývá naše schopnost rozdělit signál na několik částí a ty analyzovat odděleně.

Wavelet analýza používá modulovatelné okno, které může měnit svoji velikost. Tímto oknem se následně rozdělí data do zmiňovaných částí. Okno se mnohokrát posouvá po datové řadě a pro každou pozici se poté individuálně spočítá frekvenční spektrum. Tento postup se mnohokrát opakuje a při každém takovém opakování se okno zmenší (nebo zvětší). Na konci procesu je výsledek časově-frekvenční reprezentace vstupních dat. V oboru metrologie se časový parametr nahrazuje parametrem vzdálenosti (x).

5.4.1 Spojitá Wavelet transformace

Vzorec pro spojitou Wavelet transformaci (zkratka CTW) je následující:

$$\gamma(a,b) = \int f(x)g_{a,b}(x)dx \quad (29)$$

Inverzní transformace je poté:

$$f(x) = \iint \gamma(a,b)g_{a,b}(x)dadb \quad (30)$$

Pokud $g(x)$ je mateřská vlna, pak je řada jednotlivých vln z ní odvozených takto:

$$g_{a,b} = \sqrt{a} \times g\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (31)$$

Ve všech zmíněných rovnicích je a parametr dilatace (roztážení) a b parametr translace (posunu).

5.4.2 Diskrétní wavelet transformace

Diskrétní transformace profilu $s(t)$ se provádí vždy na určitých intervalech $x_i = i\Delta x$

Kde:

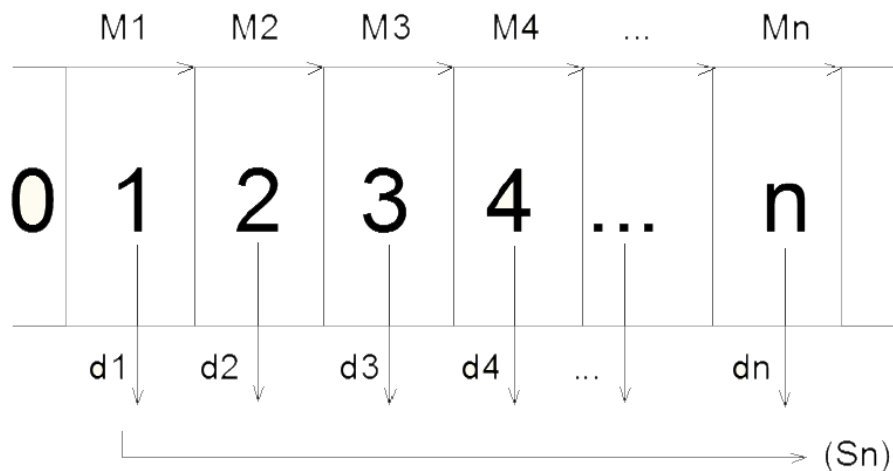
Δx je vzorkovací interval

i je řada reálných čísel ($\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$)

Dilatační parametr jsou striktně diskrétní hodnoty, a většinou se omezuje jako $\frac{a_i}{a_i + 1} = konst.$ (nejčastěji je jeho hodnota 2).

Pokud vlna $g(x)$ má konečný rozměr, počet měřených bodů $t(x)$ v rozsahu a roste lineárně s a což je pro metrologii nepraktické. Algoritmy popisované v ISO normě, ke kterým se dostáváme, jsou multiresolutní a spadají do biortogonálních vln. Do této skupiny patří právě i spline vlny.

Multiresolutní forma vlnkové transformace se skládá z low-pass a high-pass filtrů a z pomyslného žebříčku aproximací vyhlazujících námi změřený profil. První příčka tohoto žebříčku je originální profil a každá další je filtrovaná, rozdělená na dvě části. Jedna část je vždy vyhlazený profil (nová příčka) a druhá rozdíl mezi filtrovanou a původní příčkou jak ukazuje obrázek 7.



Obrázek č.: 7 Žebříček aproximací vlnkové transformace

Parametr S_n na obrázku 7 je celková suma všech diferencí po ukončení filtrace. Originální profil může být rekonstruován převráceným postupem a použitím dalšího páru filtrů.

5.4.3 Soubor interpolačních spline.

Každá příčka žebříčku počínaje originálním profilem je filtrována z předchozí příčky ve třech individuálních krocích. Tyto kroky jsou nazývány:

- Rozdělení (splitting)
- Odhad (prediction)
- Aktualizace (updating)

Krok rozdělení

Algoritmus vlnkové transformace $A_{j,k}$ v počátku rozdělí profil z j -té příčky na polovinu nerovných a polovinu hladkých podvýběrů.

$$\begin{cases} a_{j+1,k} = A_{j,2k} \\ d_{j+1,k} = A_{j,2k+1} \end{cases} \quad \text{kde } A_{0,k} = Z_k \text{ je originální profil} \quad (32)$$

Krok odhadu

Hladké a nerovné podvýběry jsou promíchané. Pokud má profil lokální korelační strukturu, mohou být oba podvýběry s určitou přesností od sebe odhadem odděleny. Další uvedený algoritmus odhadne, který podvýběr je nerovný a který hladký a následně nerovný odstraní.

$$d_{j+1,k} = d_{j+1,k} - \rho(a_{j+1,k}) \quad (33)$$

Pro interpolační vlnkové spliny se používají k odhadu lineární polynomy. $\rho(a_{j+1,k})$ je zatěžovací odhad pro wavelet koeficient počítaný jako:

$$\rho(a_{j+1,k}) = \sum_{i=1}^N f_i(a_{j+1,k}) \quad (34)$$

Tato hodnota se opírá o hladký podvýběr a N značí, kolik měřených bodů se účastní zatěžovacího odhadu.

f_i jsou faktory filtrace podobné zatěžovací funkci u filtrů popsaných výše. Tyto faktory se určují z Nevillovy polynomicke interpolace se stupněm N-1 následující rovnicí:

$$f_i = f_{1,2,\dots,N}(x) = \frac{(x - x_1)f_{2,\dots,N}(x) - (x - x_N)f_{1,2,\dots,N-1}}{(x_N - x_1)} \quad (35)$$

Pokud vytváříme zatěžovací funkci pomocí kubického interpolačního polynomu, budou se na odhadu podílet čtyři sousední hodnoty a může nastat celkem pět případů:

- 1) Dva body na každé straně intervalu.
- 2) Jeden bod nalevo a tři body napravo u levé hranice intervalu.
- 3) Stejný případ jako b, ale u pravé hranice intervalu.
- 4) Čtyři body napravo.
- 5) Čtyři body nalevo.

Tyto uvedené případy garantují přirozenost filtrace a zabezpečí, že nebudeme počítat s nežádoucími artefakty.

Aktualizační krok

Pro každý stupeň žebříčku platí, že výsledné vyhlazené profily by si měly zachovat určitou informaci z originálního profilu. Obecně jde o informace jako je střední hodnota a další vyšší momenty. Tento požadavek je matematicky zabezpečen právě v aktualizačním kroku filtrace.

Aktualizační krok wavelet algoritmu obsahuje sudé a liché podmnožiny, aby se zde zachovalo tolik momentů, kolik je jen možné.

$$A_{j+1,k} = a_{j+1,k} + \mu(d_{j+1,k}) \quad (36)$$

Kde $\mu(d_{j+1,k})$ je zatěžovací aktualizace vyjádřená na základě reálných wavelet koeficientů:

$$\mu(d_{j+1,k}) = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} l_i(d_{j+1,k}) \quad (37)$$

\tilde{N} ukazuje kolik koeficientů, se aktualizace účastní. Čím větší hodnoty nabývá, tím více informací si profil zachovává. Hodnota je tzv. lifting faktor. Ten je spočítán následujícím algoritmem. Nejdříve je definována momentová matice pro všechny koeficienty na prvním stupni žebříčku. Momentová matice \mathbf{M} je definována počtem bodů v profilu s hodnotou \tilde{N} .

$$M[p,q] \begin{bmatrix} m_{1,1} & & m_{1,\tilde{N}} \\ & m_{p,q} & \\ m_{S,1} & & m_{1,\tilde{N}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1^2 & \dots & 1^{\tilde{N}} \\ 2 & 2^2 & \dots & 2^{\tilde{N}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S & S^2 & \dots & S^{\tilde{N}} \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \leq q \leq S \\ 1 \leq q \leq \tilde{N} \end{matrix} \quad (38)$$

Aktualizační momentová matice požaduje indikátor počtu faktorů shodných s wavelet koeficienty použitými se na aktualizaci. Pokud jsou na každé straně stejné počty, momenty se dají vyjádřit takto:

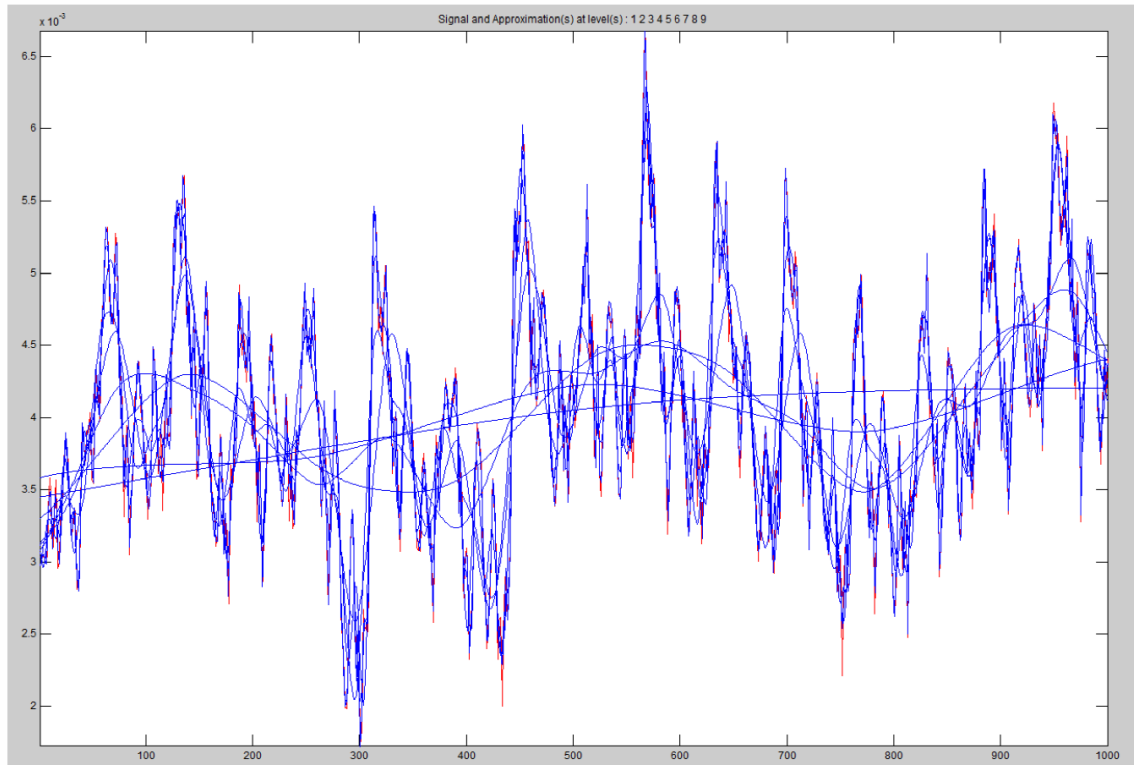
$$m_{2p,q} = m_{2p,q} + \sum_{t,j} f_i m_{t,q} \quad (39)$$

$$\begin{matrix} \text{kde} & t=2p-N+1, 2p-N+3, \dots, 2p+N-1 \\ & i=1, \dots, N \end{matrix}$$

Výsledně jsou lineárním systémem řešeny lifting faktory takto:

$$\begin{bmatrix} m_{2p-\tilde{N}+2,1} & \dots & m_{2p-\tilde{N},1} \\ \vdots & m_{2p,q} & \vdots \\ m_{2p-\tilde{N}+2,\tilde{N}} & \dots & m_{2p-\tilde{N},\tilde{N}} \end{bmatrix}_{\tilde{N},\tilde{N}} \begin{bmatrix} l_1 \\ \vdots \\ l_q \\ \vdots \\ l_{\tilde{N}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{2p+1,1} \\ \vdots \\ m_{2p+1,q} \\ \vdots \\ m_{2p+1,\tilde{N}} \end{bmatrix} \quad (40)$$

Výsledný efekt aproximace pomocí wavelet je vidět na obrázku č.8.



Obrázek č.: 8 Aproximace dat spline wavelet transformací

6 Problematika nejistot z pohledu normativních dokumentů

Problematika nejistot v oblasti metrologie je trvale aktuální záležitostí. Důvodem nejsou pouze rostoucí nároky na přesnost stanovení výsledku měření nýbrž i nároky na systémy v rámci systémů managementu kvality.

Problematiky nejistot měření je zaměřena na problematiku výrobků globálně, tedy je aplikována i na měřicí vybavení provozů a laboratoří. Z uvedeného důvodu byla provedena analýza nejistot v působnosti ÚNMZ.

V souvislosti s nejistotou měření je třeba zdůraznit, že se na ní podílí celá řada faktorů a že snaha o objektivní podchycení a správné vyhodnocení všech složek nejistoty měření a jejich podílu na celkové nejistotě měření naráží v řadě případů na meze našeho současného poznání příslušného procesu měření. Současně je vhodné zdůraznit, že význam nejistot měření bude do budoucna stoupat a to především v oblasti posuzování shody s technickými specifikacemi. Na každý pád je nutné mít vždy na paměti, že výsledek měření, pokud ho chápeme komplexně a pokud nám má také poskytnout komplexní informace, je dán změřenou hodnotou a s ní nerozlučně spojenou nejistotou této změřené hodnoty, což jsou dvě strany jedné mince, které jsou právě z důvodu platnosti této mince neoddělitelné.

6.1 Základní faktory při analýze nejistot měření:

- Lidé provádějící a zabezpečující proces měření,
- podmínky prostředí, v němž se měření realizuje,
- výběr a podrobnost znalosti používaných měřicích metod a jejich validačních parametrů,
- detailní informace týkající se používaného měřicího vybavení a veškeré podstatné informace týkající se metrologických konfirmací měřicího vybavení (včetně nejistot kalibrací měřicího vybavení a informací o návaznosti měřidel a výsledků měření), detailní informace o způsobech výběru vzorků, které jsou předmětem měření,

- v neposlední řadě všechny podstatné informace o zacházení a manipulaci s měřicím vybavením.

Dnes je již běžné, že jsou postupy pro odhad a stanovení nejistot měření dokumentovány, ale stále je třeba si také uvědomit, že přes řadu po matematické stránce teoreticky velmi dobře propracovaných dokumentů a dokonce i příkladů, kde je matematická teorie související s odhady a stanovování bezesporně aplikována, existují oblasti měření a zkoušení, kde není možno tyto formálně správné a statisticky a metrologicky odůvodněné postupy pro stanovení nejistot jednoduše aplikovat. Pak je třeba vycházet z dlouhodobých zkušeností s příslušnými procesy měření, z archivovaných záznamů o měření, odborné literatury a dalších zdrojů informací (např. informací o výsledcích mezilaboratorních porovnání nebo kruhových testů atd.) a pokusit se o identifikaci všech složek nejistot měření a odhad nejistoty měření/měřicího procesu, tak aby výsledky měření nebyly udávány s nerealistickými odhady nejistot měření.

Snahou do budoucna nesporně bude, aby vycházely dokumenty o nejistotách měření doplněné přílohami obsahujícími příklady odhadu a stanovování nejistot u jednotlivých měření a dále to, aby u normalizovaných metod měření nebo zkoušení byla vždy kapitola zabývající se stanovením nejistoty měření a případně i způsobem její aplikace pro možné stanovení shody s technickými specifikacemi.

6.2 Technické normy řešící problematiku nejistot

V tabulce č. 5 je uveden přehled technických norem, ve kterých je řešena problematika nejistot. Převážná část těchto technických norem se vztahuje ke geometrické specifikaci produktů (GPS). Je tedy možné konstatovat, že tyto technické normy řeší jak problematiku charakteristik finálního výrobku, tak i předpoklady jeho koncepčního řešení.

Tabulka 5 Označení a popis norem řešící problematiku nejistot

Označení technické normy	Tř. znak	Název
ČSN P ENV 13005	01 4109	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření
ČSN EN ISO 14253-1	01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi
ČSN P ISO/TS 14253-2	01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení součástí a měřidel měřením - Část 2: Pokyn k zjišťování odhadu nejistot měření v GPS, při kalibraci měřicího zařízení a při ověřování výrobků
ČSN P ISO/TS 14253-3	01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení součástí a měřidel měřením - Část 3: Směrnice k dosažení souhlasu při určování nejistot měření
ČSN P ISO/TS 15530-3	01 4101	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Souřadnicové měřicí stroje (CMM): Metody určování nejistoty měření - Část 3: Použití kalibrovaných součástí nebo etalonů
ČSN 01 4102	01 4102	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Systematické chyby a příspěvky k nejistotě měření u měření délky v důsledku teplotních vlivů
ČSN P ISO/TS 17450-2	01 4103	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Obecné pojmy - Část 2: Základní zásady, specifikace, operátory a nejistoty
ČSN P ISO/TS 21748	01 0290	Návod pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti při odhadování nejistoty měření
ČSN ISO 7066-2	25 7702	Stanovení nejistoty kalibrace a použití přístrojů měřících průtok. Část 2: Nelineární kalibrační závislosti
ČSN EN 55016-4-2	33 4210	Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 4-2: Nejistoty, statistické hodnoty a stanovování mezí - Nejistoty při měřeních EMC

Označení technické normy	Tř. znak	Název
ČSN EN ISO 14956:2003	83 5550	Kvalita ovzduší - Posouzení vhodnosti měřicí metody porovnáním s požadovanou nejistotou měření

6.3 Stručná obsahová náplň jednotlivých uvedených technických norem:

6.3.1 ČSN P ENV 13005 [15]

Tato předběžná technická norma (dále norma) stanovuje všeobecné zásady pro vyhodnocení a vyjádření nejistoty měření, které by měly být použity v různých úrovních přesnosti a v mnoha oblastech - od výroby k základnímu výzkumu. Proto, zásady této normy jsou určeny k aplikaci v širokém spektru měření včetně těch, která jsou potřebné pro:

- Kontrolu kvality a prokazování kvality ve výrobě.
- Dodržení a uplatnění zákonů a předpisů.
- Výzkumné práce v oblastech základního výzkumu, aplikačního výzkumu a rozvoje ve vědě a technice.
- Kalibraci etalonů a měřících přístrojů a provádění zkoušek národním systémem měření za účelem umožnění sledovatelnosti k národním etalonům.
- Rozvoj, zachování a porovnání mezinárodních a národních fyzikálních referenčních etalonů včetně referenčních materiálů.

Norma se zabývá především způsobem vyjádření nejistoty při měření správně stanovené fyzikální veličiny – měřené veličiny - která může být charakterizována v podstatě jednoznačnou hodnotou. Jestliže jev, který je předmětem zájmu, může být reprezentován jedinečně jako rozdělení hodnot, nebo je závislý na jednom nebo více parametrech, jako je čas, pak měřené veličiny, požadované pro jeho popis, jsou množiny veličin popisujících toto rozdělení nebo tuto závislost.

6.3.2 ČSN EN ISO 14253-1 [16]

Tato část normy ISO 14253 stanoví pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody součásti nebo měřidla se stanovenými tolerancemi (u obrobku) nebo mezemi největších dovolených chyb (u měřidla) s ohledem na nejistotu měření. Kromě jiného určuje způsob řízení pro případ, kdy nemůže být jasně rozhodnuto o prokázání (shody nebo neshody se specifikací), tzn., když výsledky měření jsou v rozsahu nejistoty, který je v okolí mezi specifikace.

Část EN ISO 14253 platí pro specifikace v normách GPS (viz ISO/TR 14638), které byly vypracovány v ISO/TC 213, včetně:

- Specifikací obrobků (obvykle udaných tolerančními mezemi).
- Specifikací měřidel (obvykle udaných největšími dovolenými chybami měřidla).

Tato norma může být použita také pro jiné specifikace, které nejsou normami GPS stanoveny. **EN ISO 14253 neplatí pro zkoušení mezních kalibrů.**

Obecně pak vysvětluje případy, kdy je měřená veličina různá, odpovídá individuální charakteristice (charakteristika obrobku), nebo charakteristice souboru, včetně různé nejistoty měření. Je nutné potom rozeznat, že nejistota charakteristiky obrobku je jiná než nejistota odhadu charakteristiky souboru.

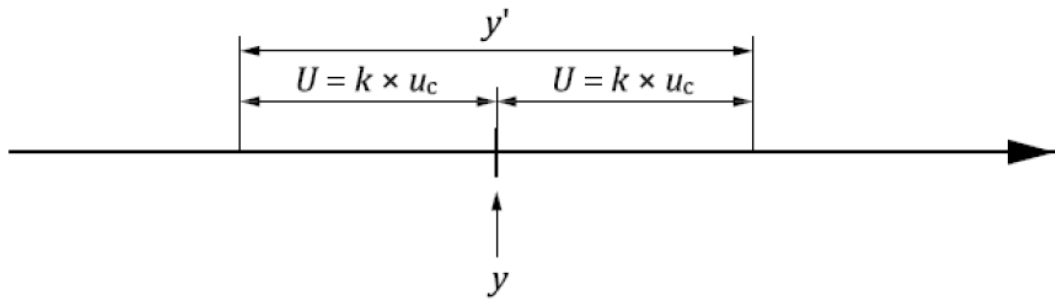
Pro účeli této části ISO 14253 stanovuje odhad a posouzení nejistoty v souladu s GUM, nejistota měření je vyjádřena jako rozšířená nejistota měření U (viz ISO 14253-2)

$$U = k \times u_c \quad \text{s koeficientem rozšíření } k=2 \quad (41)$$

Pokud je požadováno, může být přiřazen na základě dohody mezi zákazníkem a dodavatelem jiný koeficient rozšíření. Kompletní výsledek měření je poté vyjádřen jako:

$$y' = y \pm U$$

(42) Na obrázku č. je poté kompletní výsledek měření y' vyobrazen jako symetrický interval rozšířené nejistoty měření, U okolo výsledku měření. Doporučení je poté takové aby se zákazník a dodavatel dohodli na hodnotě (ach) odhadované nejistoty.

Obrázek č.: 9 Výsledek měření y a kompletní výsledek měření y'

6.3.3 ČSN P ISO/TS 14253-2 [17]

Tato technická specifikace poskytuje návod k zavedení koncepce z „Pokynu k vyjádření nejistoty při měření“ (zkráceně GUM), který je určen k použití v průmyslu pro kalibraci etalonů a měřicího zařízení v oblasti GPS a k měření GPS charakteristik součástí.

Cílem je dosáhnout plné informovanosti o tom, jak dospět k údajům o nejistotě a poskytnout základ pro mezinárodní porovnávání výsledků měření a jejich nejistot (vztah mezi nakupujícím a dodavatelem).

Tato technická specifikace je určena na podporu ISO 14253-1. Tato technická specifikace a ISO 14253-1 pomáhá všem technickým funkcím v organizaci při interpretaci GPS specifikací (tj. tolerancí charakteristik součástí a hodnot maximálních dovolených chyb (MPE) pro metrologické charakteristiky měřicího zařízení.

Tato část ISO14253, je zvláštním významem ve vztahu k ISO 9000 systému prokazování kvality, např. je to požadavek, že jsou vhodné metody monitorování a měření procesu systému managementu kvality. Měření nejistoty je opatření v procesu vhodnosti. Tato část ISO 14253, nejistota výsledku procesu kalibrace a procesu měření zpracovává stejným způsobem:

- Kalibrace je považována jako „měření metrologických charakteristik měřicího vybavení nebo etalonu“;
- měření je považováno jako „měření geometrických charakteristik obrobku“.

Proto v mnoha případech bez rozdílu je vytvořen v textu mezi měřením a kalibrací. Termín „měření“ je používán jako synonymum pro oboje.

Tato technická specifikace zavádí postup pro management nejistoty (zkráceně PUMA), což je praktický, iterativní postup, založený na návodu GUM, pro odhadování nejistoty měření bez změny základních koncepcí návodu GUM a je určena pro obecné použití při odhadování nejistoty měření a uvádění údajů o nejistotě pro:

- Jednotlivé výsledky měření.
- Porovnání dvou a více výsledků měření.

Porovnání výsledků měření z jedné nebo více součástí nebo částí měřicího zařízení, s danými specifikacemi [tj. maximálními dovolenými chybami (MPE) pro metrologickou charakteristiku měřicího přístroje nebo etalonu a mezí tolerance pro charakteristiku součásti atd.] pro rozhodnutí o shodě nebo neshodě se specifikací.

Iterativní metoda je založena v podstatě na strategii horní hranice, tj. nadhodnocení nejistoty na všech úrovních, přičemž velikost nadhodnocení je regulována. Úmyslné nadhodnocení a ne podhodnocení je nutné, aby se zabránilo chybným rozhodnutím založeným na výsledcích měření. Velikost nadhodnocení nejistoty se musí řídit ekonomickým vyhodnocením situace. Tato metoda je nástrojem pro maximalizaci zisku a minimalizaci nákladů při metrologických činnostech v organizaci. Iterativní metoda/postup se sama ekonomicky přizpůsobuje a je také nástrojem pro změnu/snížení existující nejistoty měření s cílem snížit náklady na metrologii (výrobu). Umožňuje také učinit kompromis mezi rizikem, úsilím a náklady při odhadu nejistoty a provádění jejího rozpočtu.

6.3.4 ČSN P ISO/TS 14253-3 [18]

Tato část ISO 14253 je technická specifikace geometrických požadavků na výrobky (GPS) a je nutno ji považovat za globální technickou specifikaci GPS (viz ISO/TR 14638). Poskytuje směrnice a stanoví postupy pro pomoc zákazníkovi a dodavateli k dosažení přijatelného souhlasu u rozporných stanovení nejistoty měření regulovaných dle ISO 14253-1. Podrobnější informace o vztahu této technické specifikace k jiným normám a maticovému modelu GPS je v tabulce č. 6.

Tabulka 6 Poloha v maticovém modulu GPS

Globální normy GPS							
Matice všeobecných norem GPS							
Číslo článku řetězce		1	2	3	4	5	6
Základní normy GPS	Rozměr						
	Poloměr						
	Úhel						
	Tvar čáry nezávisle na základě						
	Tvar čáry závisle na základně						
	Tvar povrchu nezávisle na základně						
	Tvar povrchu závisle na základně						
	Orientace						
	Umístění						
	Obvodové házení						
	Celkové házení						
	Základny						
	Profil drsnosti						
	Profil vlnitosti						
	Základní profil						
	Nedokonalosti povrchu						
	Hrany						

ISO 14253-1 poskytuje pravidla pro rozhodování pro prokazování shodnosti nebo neshodnosti se specifikacemi součástí a měřicího zařízení, vezme-li se v úvahu nejistota měření. ISO/TS 14253-2 poskytuje instrukce pro přípravu rozpočtů nejistot pro

stanovení nejistoty měření tak, jak je stanovena v *Pokynu k vyjádření nejistoty při měření (GUM)*. Stále však existuje možnost nesouhlasu mezi zákazníkem a dodavatelem ohledně odhadované nejistoty měření.

U dodavatelů se stává stále častěji, že mají zavedený systém kvality, který zákazníkovi poskytuje uspokojivou jistotu, že obdrží produkt, který odpovídá specifikacím. To zabraňuje potřebě nákladných duplicitních kontrol.

Z tohoto důvodu je nejběžnější případ nesouhlasu se stanovením nejistoty měření nebo nad rozpočtem nejistot to, že zákazník zpochybňuje rozpočet nejistot dodavatele. Zákazník také smí zpochybňovat naměřenou hodnotu charakteristiky součásti nebo měřicího zařízení, čímž nepřímo zpochybňuje celkový rozpočet nejistot (viz ISO 14253-1).

V méně častém případě nesouhlasu smí dodavatel zpochybňovat zákazníkův rozpočet nejistot, jestliže zákazník odmítá součást nebo měřicí zařízení (viz 6.2 z ISO 14253-1).

Navíc k výše zmíněným případům existují jiné případy nesouhlasu a také i jiné motivace, které směřjí vést k diskusi o vykazovaných nejistotách.

6.3.5 ČSN P ISO/TS 15530-3 [19]

ISO/TS 15530 byla vypracována technickou komisí ISO/TC 213 *Rozměrové a geometrické specifikace produktů a jejich ověřování* a sestává z následujících částí se společným názvem *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Souřadnicové měřicí stroje (CMM) – Metody určování nejistoty měření*. [19]

- Část 1: Všeobecný přehled a obecné záležitosti.
- Část 2: Použití vícenásobných měřicích strategií.
- Část 3: Použití kalibrovaných součástí nebo etalonů.
- Část 4: Použití počítačové simulace.
- Část 5: Použití znaleckého posudku.

Tato část ISO 15530 je technická specifikace geometrických specifikací produktu (GPS) a je třeba ji považovat za obecný dokument GPS (viz ISO/TR 14638). Ovlivňuje

článek 6 řetězce norem o velikosti, vzdálenosti, poloměru, úhlu, tvaru, orientaci, umístění, házení a základnách.

Souřadnicové měřicí stroje (CMM) se staly zásadní pro ověřování geometrie v průmyslu. Podle řady norem ISO 9000 se v systému managementu kvality vyžaduje, aby relevantní měřicí zařízení bylo kalibrováno certifikovaným zařízením, které má známý a platný vztah k mezinárodně nebo národně uznávaným normám, aby se zajistila návaznost. Podle Mezinárodního slovníku základních a obecných termínů v metrologii (VIM) zahrnuje kalibrace vedle zřízení vztahu mezi naměřenými a správnými hodnotami veličiny, vyhodnocení také nejistoty ve finálních výsledcích (měřených veličinách) úkolu měření.

Avšak metody vyhodnocení nejistoty pokrývající chyby vznikající v nesčetných úkolech měření, které může CMM současně provádět, jsou často velmi složité. V těchto případech se pravděpodobně zvyšuje riziko nerealistického odhadu nejistoty spojené s úkolem.

Cílem této části ISO 15530 je poskytovat experimentální techniku pro zjednodušení vyhodnocení nejistoty měření pomocí CMM. V tomto experimentálním přístupu se měření provádějí stejným způsobem jako skutečná měření, ale s kalibrovanými součásti nebo etalony podobného rozměru a geometrie namísto neznámých objektů určených k měření.

Popis této experimentální techniky pro vyhodnocení nejistoty měření je klíčový prvek této části ISO 15530. Normalizace takových postupů pro vyhodnocení nejistoty slouží celosvětovému vzájemnému uznávání kalibrací a jiných výsledků měření.

Tato část ISO 15530 je aplikovatelná pro nesubstituční měření součástí nebo etalonů tam, kde je měřicí výsledek dán indikací CMM. Dále je tato část ISO 15530 aplikovatelná na substituční měření, kde se na rozdíl od nesubstitučního měření používá kontrolní etalon pro korigování systematických chyb CMM. To obecně snižuje nejistotu měření a často se to používá zejména na poli kalibrace kalibru.

Tato část ISO 15530 popisuje jednu z několika metod vyhodnocení nejistoty, která bude popsána v pozdějších dokumentech ISO. Protože se používá experimentální přístup, je jednoduché ji provádět a poskytuje realistická stanovení nejistot měření.

Omezení této metody se dají shrnout jako: dostupnost artefaktů s dostatečně stanovenými geometrickými charakteristikami, stálost, rozumné náklady a možnost kalibrování s dostatečně malou nejistotou.

6.3.6 ČSN 01 4102 [20]

Tato technická norma určuje postupy pro stanovení chyb, příslušných korekcí a vyhodnocení příspěvků k nejistotě měření v důsledku teplotních vlivů při provádění měření délky pro geometrické specifikace produktů (GPS), pokud:

- Je průměrná teplota normalizovanou referenční teplotou.
- Průměrná teplota není normalizovanou referenční teplotou, a kde průměr je brán v čase a prostoru.
- Teplota se mění s časem.

Zvažují se tři případy:

- 1) Průměrná teplota je normalizovanou referenční teplotou.
- 2) Průměrná teplota není normalizovanou referenční teplotou a uživatel provádí korekce.
- 3) Průměrná teplota není normalizovanou referenční teplotou a uživatel neprovádí žádné korekce.

Norma poskytuje specializované podrobnosti pro analýzu teplotního vlivu, pokud širší analýzy, jako jsou ty, které jsou v souladu s ISO/TS 16015, ukazují, že teplotní vlivy jsou významnými příspěvky k nejistotě měření, systematické chybě nebo obojímu.

Všeobecný postup je, že rozměrové měření se provádí při jiné teplotě než je normalizovaná referenční teplota 20°C, tím dojde k systematickému vlivu v důsledku diferenciální teplotní roztažnosti mezi součásti a pracovním etalonem. Tento vliv způsobí systematickou chybu, jestliže není výsledek měření korigován. Rozhodnutí, zda korigovat, nebo nekorigovat výsledek měření na vliv diferenciální teplotní roztažnosti, je manažerské rozhodnutí založené na nákladech a rizicích. V každém případě je nutné vyhodnotit teplotně závislé složky rozpočtu nejistoty měření. Postup je poté následující:

- 1) Změří se délka součásti, která dává nekorigovaný výsledek L_m .
- 2) Vyhodnocení relevantních teplot a jejich nejistot
- 3) Vyhodnocení teplotních součinitelů roztažnosti a jejich nejistot.
- 4) Vyhodnocení nejistoty délky v důsledku variace výpočtové teploty u_{ETV}
- 5) Vypočte se složka standardní nejistoty způsobená teplotními vlivy u_{cT}
- 6) Vypočte se diferenciální teplotní roztažnost Δ_{DE}
- 7) Jestliže se má korigovat naměřená délka, provede se korekce.
- 8) Ve zprávě se uvede korigovaná délka L_c a složka standardní nejistoty způsobená teplotními vlivy u_{cT} .
- 9) Jestliže se nemá provést žádná korekce, uvede se nekorigovaný výsledek L_m , diferenciální teplotní roztažnost (systematická chyba) Δ_{DE} a složka

6.3.7 ČSN P ISO/TS 17450-2 [21]

ISO/TS 17450 se sestává z následujících částí se společným názvem Geometrické specifikace produktů (GPS) – Všeobecné koncepty:

- Část 1: Model geometrické specifikace a ověřování.
- Část 2: Základní zásady, specifikace, operátory a nejistoty.

Tato část ISO/TS 17450 definuje termíny, které se vztahují k specifikacím, operátorům (a operacím) a nejistotám používaným v normách o geometrických požadavcích na výrobky (GPS), předkládá základní zásady koncepce GPS a zabývá se dopadem nejistoty na tyto zásady a zkoumá procesy specifikování a ověřování tak, jak se používají u GPS.

6.3.8 ČSN P ISO/TS 21748 [22]

Tento dokument obsahuje návod pro:

- Hodnocení nejistot měření pomocí údajů získaných ze studií realizovaných v souladu s mezinárodní normou ISO 5725-2:1994.
- Porovnávání výsledků mezilaboratorní studie s nejistotami měření (MU – measurement uncertainty) získanými pomocí platných zásad šíření nejistoty.

Mezinárodní norma ISO 5725-3:1994 poskytuje další modely pro studie mezilehlé shodnosti. Ačkoliv se stejný obecný přístup může aplikovat při použití těchto rozšířených modelů, hodnocení nejistoty pomocí těchto modelů není zahrnuto do této technické specifikace.

Technická specifikace je použitelná na všechny oblasti měření a zkoušek, kde se má stanovit nejistota, která je spojena s výsledkem, který se má určit.

Tato technická specifikace nepopisuje aplikaci údajů o opakovatelnosti bez údajů o reprodukovatelnosti, předpokládá, že poznané nezanedbatelné systematické vlivy jsou napraveny, buď aplikací číselné korekce jako součástí metody měření, nebo vyšetřením a odstraněním příčiny vlivu.

Doporučení této technické specifikace jsou určena zejména jako návod. Uznává se, že ačkoliv předložená doporučení mají vytvářet přínosný přístup k hodnocení nejistoty pro mnoho různých záměrů – je možno zvolit i jiné vhodné přístupy.

Obecně odkazy na výsledky měření, metody a procesy v této technické specifikaci se mají chápat jako další nástroje využitelné rovněž při testování výsledků, metod a procesů.

Pricipiálně jsou jednotlivé výsledky a způsob provádění procesu měření takové, že je nejistota měření vztažena k jednotlivým výsledkům. Naproti tomu opakovatelnost, reprodukovatelnost a vychýlení se týkají způsobu provádění procesu měření nebo zkoušení. Při studiích podle všech částí ISO 5725 je v procesu měření nebo zkoušení uvažována jedna metoda měření použitá všemi laboratoři, které se studie zúčastňují. Nutno poznamenat, že pro účely této mezinárodní normy se o metodě měření předpokládá,

že je uplatňována formou jediného podrobného postupu. V této mezinárodní normě se mlčky předpokládá, že číselné hodnoty charakterizující způsob provedení procesu a odvozené ze studií o způsobu provádění metody se vztahují ke všem jednotlivým výsledkům měření vyprodukovaným procesem. Bude ukázáno, že tento předpoklad vyžaduje podpůrný důkaz ve formě vhodných dat z řízení a zabezpečování kvality pro proces měření.

Použití principů této mezinárodní normy je založeno na dvou zásadách:

- Směrodatná odchylka reprodukovatelnosti získaná při mezilaboratorní studii je platnou bází pro vyhodnocení nejistoty měření.
- Vlivy nepozorované v kontextu mezilaboratorní studie musí být prokazatelně zanedbatelné nebo se s nimi musí jasně počítat. Poslední zásada se realizuje rozšířením základního modelu pro mezilaboratorní studii.

6.3.9 ČSN ISO 7066-2 [23]

O metodě vyrovnání závislosti kalibračních údajů do přímky a stanovení nejistoty kalibrace je pojednáno v ISO 7066-1. ISO 7066-2 pojednává o případech, v nichž přímka je nevhodná pro presentaci kalibračních hodnot.

Tato část ISO 7066 popisuje postupy pro vyrovnání nelineárního souboru kalibračních údajů do polynomické závislosti kvadratického, kubického a vyššího stupně za použití kritéria nejmenších čtverců a stanovení nejistoty výsledné kalibrační křivky. Berou se v úvahu pouze celočíselné hodnoty exponentů polynomu.

Protože je všeobecně nepraktické realizovat tento typ vyrovnání do křivky a stanovení nejistoty bez použití počítače, je v této části ISO 7066 předpokládáno jeho použití uživatlem. V mnoha případech je možné využití standardní rutiny, které jsou k dispozici ve většině počítačů, alternativy jsou potom programy ve Fortranu. Extrapolace mimo rozsah kalibračních hodnot není dovolena.

6.3.10 ČSN EN 55016-4-2 [24]

Tato část 55016-4-2 je základní normou, která určuje způsob, jakým se bere v úvahu nejistota měření při posuzování vyhovění mezím CISPR. Vztahuje se rovněž na jakékoliv zkoušky EMC, jestliže interpretace výsledků a odvozených závěrů bude ovlivněna nejistotou měření způsobenou přístrojovým vybavením použitým při zkoušení.

CISPR 16-4 *Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti – Nejistoty, statistické hodnoty a stanovování mezí* se skládá z následujících pěti částí:

- Část 4-1: Nejistoty v normalizovaných zkouškách EMC.
- Část 4-2: Nejistota měřicího zařízení.
- Část 4-3: Statistické úvahy při posuzování vyhovění požadavkům EMC hromadně vyráběných výrobků.
- Část 4-4: Statistiky stížností a model výpočtu mezí pro ochranu rádiových služeb.
- Část 4-5: Podmínky pro použití alternativních zkušebních metod.

Z praktických důvodů jsou normalizované zkoušky elektromagnetické kompatibility (EMC) zjednodušenou reprezentací možných scénářů elektromagnetické interference (EMI), se kterými se výrobek může setkat praxi. V důsledku toho jsou v normě EMC měřená veličina, mezní hodnota, měřicí přístroje, měřicí uspořádání, postup měření a podmínky při měření zjednodušené, nicméně stále smysluplné (reprezentativní). Smysluplný zde znamená, že existuje statistická korelace mezi vyhověním výrobku mezím, založeným na standardizovaných zkouškách EMC s použitím standardizovaného zkušebního zařízení, a mezi vysokou pravděpodobností skutečné EMC stejného výrobku během jeho životnosti. Část 4-4 poskytuje metody pro odvození smysluplných mezí pro rušení založených na statistice, aby byly ochráněny rádiové služby.

Obecně platí, že normalizované zkoušky EMC by měly být vyvinuty tak, aby se získaly reprodukovatelné výsledky, budou-li tytéž zkoušky provedeny různými zkušebnami na tomtéž EUT. Různé zdroje nejistot však reprodukovatelnost standardizovaných zkoušek EMC omezují.

Část 4-1 je technická zpráva, která se skládá ze souboru informativních zpráv týkajících se všech zdrojů nejistot, se kterými se lze setkat při zkouškách EMC. Typickými příklady zdrojů nejistot jsou EUT samotné, měřicí přístroje, uspořádání EUT, zkušební postupy a okolní podmínky.

Část 4-2 popisuje specifickou kategorii nejistot, tj. nejistotu přístrojového zařízení (MIU). V této části jsou uvedeny příklady výčtu MIU pro většinu měřících metod CISPR. V této části jsou také udány normativní požadavky na to, jak použít MIU při posouzení, zda EUT vyhovuje mezím (tj. rozhodnutí o posouzení shody).

Část 4-3 je technická zpráva popisující statistické zhodnocení zkušebních výsledků při zkouškách pro posouzení dodržení mezí, jestliže jsou zkoušky provedeny na vzorku masově produkováných výrobků. Tento způsob hodnocení je známý jako pravidlo 80/80%.

Část 4-4 je technická zpráva obsahující doporučení CISPR pro shromažďování statistických dat o stížnostech na rušení a pro klasifikaci zdrojů rušení. Jsou také uvedeny modely pro výpočet mezí pro různé způsoby interferenční vazby.

Část 4-5 je technická zpráva popisující metodu, která umožňuje komisím pro výrobky odvodit meze pro alternativní zkušební metody s použitím konverzí z již stanovených mezí.

Podkladový materiál normy, který je použitý při určování hodnot nejistoty měření pro CISPR podle kapitoly 4 této normy a který poskytuje hodnotné základy těm, kdo potřebují jak základní, tak další informace týkající se nejistoty měření a pro to, aby se zahrnuly individuální nejistoty do měřicího řetězce. Tato příloha však není návodem či učebnicí určeným pro kopírování při výpočtech nejistoty. Pro tyto účely by se měly použít odkazy uvedené v seznamu literatury. Specifikace pro měřicí instrumentaci jsou uvedeny v CISPR 16-1, na měřicí metody se vztahuje CISPR 16-2. Další informace o vysokofrekvenčním rušení je v CISPR 16-3. Zbývající části CISPR 16-4 obsahují další obecné informace o nejistotách, statistikách a stanovování mezí.

6.3.11 ČSN EN ISO 14956 [25]

Tato evropská norma stanoví pro účely měření kvality ovzduší postup při:

- Odhadu nejistoty měření na základě skutečných nebo uváděných hodnot všech významných charakteristik měřicí metody za ustálených podmínek.
- Posouzení, zda určené hodnoty těchto charakteristik měřicí metody splňují či nesplňují požadavky na jakost výsledků měřené veličiny.
- Posouzení použitelnosti měřicí metody na základě laboratorních zkoušek a ověřovací terénní zkoušky.
- Stanovení požadavků na dynamické chování přístrojů.

Tato norma platí pro měřicí postupy poskytující výsledky ve formě časově určených průměrných hodnot.

Charakteristiky metody měření vyjadřují odchylky od dokonalého měření a z toho důvodu jsou příspěvkem k nejistotě výsledku měření. Za kritérium vhodnosti měřicí metody se bere spíše kombinovaný vliv charakteristik metody měření na výsledek měření vyjádřený nejistotou měření než kterákoli z těchto charakteristik sama o sobě.

Postup pro výpočet nejistoty měření uváděný dále, je založen na zákonu šíření nejistoty definovaném v GUM:

1) Určí se analyt a analytická funkce vyjadřující vztah mezi měřenou veličinou a vstupními veličinami. Kvantita reprezentující tuto součást měřicího systému, která je určena kalibrací, se bere jako jedna vstupní veličina.

2) Identifikují se všechny (hlavní) zdroje nejistoty (rušivé vlivy) ovlivňující všechny vstupní veličiny nebo přímo analyt.

3) Určí se modelová funkce a funkce rozptylu při zachování hlavních zdrojů nejistoty.

4) Použije se vhodných charakteristik měřicí metody měřicího systému.

5) Označí se všechny (hlavní) zdroje nejistoty jednoznačně přiřazené charakteristikám metody. Jedna charakteristika metody může zahrnovat několik zdrojů

nejistoty (např. reprodukovatelnost). Žádný z hlavních zdrojů nejistoty nesmí být přidružen k více jak jedné charakteristice metody. Pokud některý z hlavních zdrojů nejistoty nelze přidružit k vhodné charakteristice metody, musí být tato nejistota uvedena samostatně.

6) Všechny složky nejistoty (charakteristiky metody) se převedou na standardní nejistoty vstupních veličin a rušivých vlivů. Použije se váhového faktoru w_i odvozeného z analytické funkce nebo citlivostního koeficientu působící veličiny b_j a rozdílu Δx_j hodnoty x_j při měření a příslušné kalibraci pro působící veličinu X_j pro vyjádření příslušné standardní nejistoty měřené hodnoty.

7) Vypočte se kombinovaná standardní nejistota a rozšířená nejistota s využitím korelace.

7 Ekonomické zhodnocení nákladů z pohledu stupně splnění úrovně požadavků souborem inherentních metrologických charakteristik [26]

Nejistoty měření předurčují v podstatě vhodnost volby charakteristik, které jsou z hlediska metrologie vhodné pro prokázání kvality. Inherentnost, tedy vnitřní obsazenost je právě rozhodující pro filtraci a to zejména u souřadnicových měřicích strojů (CMM), kde na optimálním nastavení filtru závisí výsledek měření. Závažným kritériem pro prokázání nejistoty měření na CMM je vedle přesnosti hardwarové vybavenosti a nejistota vybavenosti software. Filtry je možné zařadit mezi vybavenost hardware, jejich nastavení ovlivňuje funkčnost software.

7.1 Způsobilost měřidla (měřicího zařízení):

- Charakterizuje vhodnost měřidla pro měření určitého znaku kvality v daném rozpětí.
- Její úroveň může výrazně ovlivnit hodnověrnost informací o způsobilosti procesu nebo měřicího vybavení.

7.2 Způsobilost procesu a jeho znaky

V případě, že výrobní proces je ovlivňován jen náhodnými vlivy, je charakterizován parametry normálního rozdělení:

1) Aritmetický průměr

Představuje např. rozměr, na který je seřízeno měřicí vybavení.

2) Směrodatná odchylka

- Vyjadřuje rozptyl hodnot kontrolovaného parametru vzhledem ke střední hodnotě.
- Charakterizuje přesnost procesu měření. V systému SPC (Statistic Process Control) jsou charakteristiky, ve kterých hraje směrodatná odchylka

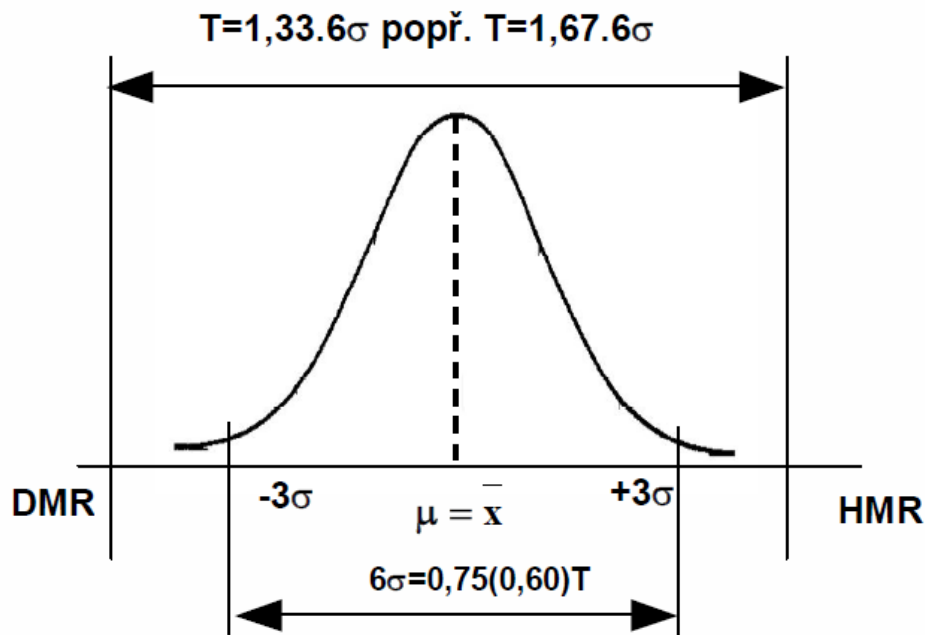
významnou roli. Je to jednak relativní variační rozpětí f_p a charakteristiky C_p , C_{pk} .

7.2.1 Relativní variační rozpětí f_p :

Nemá být větší než 75 % (60 %) tolerance měřidla u kvantitativních (měřitelných) kvalitativních charakteristik a ne více než 75 % předepsaných jakostních požadavků u kvalitativních (vypočitatelných) kvalitativních charakteristik nevyhovujících jednotek vztažených na jedno měření atd.), vypočteme jej podle vztahu:

$$f_p = \frac{6\sigma}{T} \cdot 100[\%] \quad \text{kde } T \dots \text{výrobní tolerance výrobku.} \quad (41)$$

Vztah mezi výrobní tolerancí a rozptylem je možno vyjádřit graficky viz



Obrázek č.: 10 Vztah mezi velikostí výrobní tolerance a rozptylem

$$1) \quad 6\sigma = 0,75T \Rightarrow \frac{T}{6\sigma} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \quad (42)$$

$$2) \quad 6\sigma = 0,60T \Rightarrow \frac{T}{6\sigma} = \frac{1}{0,6} = 1,67 \quad (43)$$

$$3) \quad 6\sigma = T \Rightarrow \frac{T}{6\sigma} = 1 \quad (44)$$

K hodnocení způsobilosti procesu se používají **indexy** (ukazatele) **způsobilosti** (C_p , C_{pk}), které porovnávají předepsanou přípustnou variabilitu hodnot danou tolerančními mezemi se skutečnou variabilitou sledovaného znaku jakosti dosahovanou u **statisticky zvládnutého procesu**.

Pro hodnocení způsobilosti procesu se doporučuje tento postup:

- volba znaku jakosti,
- shromažďování údajů,
- posouzení statistické zvládnutelnosti procesu např. pomocí regulačních diagramů,
- ověření normality rozdělení sledovaného znaku jakosti,
- výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami.

Volba znaku jakosti:

Měl by to být znak, jehož hodnota odráží úspěšnost sledovaného procesu (specifikován zákazníkem nebo znak zásadní z hlediska vlastnosti produktu nebo návaznosti na další technologický postup). Sleduje-li se více znaků, je potřeba způsobilost hodnotit pro každý znak samostatně.

Shromažďování údajů:

Údaje by měly být shromažďovány v průběhu časového období, které je dostatečně dlouhé, aby se v něm projeví všechny běžné zdroje variability ovlivňující proces (změna obsluhy, vlastnosti materiálu, změny prostředí, údržba a seřízení výrobního zařízení, změny technologických parametrů atd.). V pravidelných časových nebo dávkových intervalech se z výrobního procesu odebírá určitý počet po sobě vyrobených vzorků (tvoří podskupiny) a zjišťují se hodnoty sledovaného znaku jakosti. Dle ČSN ISO 8258 podskupinu by mělo tvořit 4–5 výrobků a měly by být získány údaje o 25 podskupinách.

Posouzení statistické zvládnutelnosti procesu:

Shromážděné údaje musí odpovídat statisticky zvládnutému procesu, tj. stavu, v němž variabilita sledovaného znaku je vyvolána pouze náhodnými příčinami. V tomto případě se jedná o „pravou“ způsobilost procesu. K ověření statistické zvládnutelnosti se používají regulační diagramy, které umožňují odlišit vliv náhodných příčin od vymežitelných. Pokud proces není statisticky zvládnutý, lze postupnou analýzou vymežitelných příčin, jejich odstraněním a vylučováním příslušných podskupin získat

údaje, které odpovídají statisticky zvládnutelnému procesu, pokud nedojde k výrazné redukci údajů, lze zbylých hodnot využít pro stanovení způsobilosti procesu.

Ověření normality rozdělení hodnot:

Pokud předpoklad o normalitě rozdělení hodnot není splněn a k výpočtu indexů způsobilosti se použijí standardní vztahy, získaná informace je bezcenná. Přibližné posouzení normality rozdělení hodnot je možno provést na základě tvaru sestrojeného histogramu (zvonovitý tvar). Další možností je grafická metoda s využitím pravděpodobnostní sítě, do níž je transformovaná distribuční funkce normálního rozdělení. Do této sítě se vynášejí údaje o relativní kumulativní četnosti hodnot a posuzuje se, jak dalece vynášené body respektují přímkovou závislost, jež odpovídá normálnímu rozdělení. Exaktním způsobem ověření normality hodnot je použití některých testů dobré shody, např. testu χ^2 nebo testu založeném na vyhodnocení šikmosti a špičatosti zpracovaných hodnot.

7.2.2 Index způsobilosti C_p

Je mírou schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančního pole. Lze jej počítat, jsou-li stanoveny toleranční meze oboustranně. Charakterizuje možnosti procesu dané jeho variabilitou, ale neříká nic o tom, jak jsou tyto možnosti využity. Bere v úvahu jen rozptyl výrobního procesu a velikost výrobní tolerance, vypočte se ze vztahu:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (45)$$

kde: T ... výrobní tolerance znaku jakosti.

USL (HMR) ... horní mezní rozměr znaku jakosti.

LSL (DMR) ... dolní mezní rozměr znaku jakosti.

σ ... směrodatná odchylka znaku jakosti.

Hodnotu směrodatné odchylky základního souboru většinou neznáme, nahrazuje se vhodným odhadem. Směrodatnou odchylku lze odhadnout pomocí vztahů:

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (46)$$

Kde: \bar{R} ... Průměrné rozpětí v podskupinách.

$d_2 \dots$ Konstanty závislé na rozsahu.

Skutečná variabilita znaku jakosti je vyjádřena hodnotou 6σ , jež v případě normálního rozdělení vymezuje oblast, v níž s 99,7 % pravděpodobnosti leží všechny hodnoty. Index způsobilosti C_p vyjadřuje pouze přesnost procesu. Neodhaluje polohu procesu vzhledem k tolerančnímu poli.

7.2.3 Index způsobilosti C_{pk} (zohledňuje správnost nastavení)

Zohledňuje jak variabilitu, tak umístění hodnot sledovaného znaku jakosti v tolerančním poli a charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Určuje polohu střední hodnoty (aritmetického průměru) vzhledem ke středu tolerančního pole T . Kromě kolísání výrobního procesu bere v úvahu i polohu střední hodnoty rozdělení četnosti vzhledem ke specifikovaným hodnotám. Je schopen poskytnout podrobnější informace o procesu. Lze jej počítat jak v případě oboustranných, tak i jednostranných tolerančních mezí, vypočteme jej ze vztahu:

$$C_{pk} = \frac{\min[USL - \bar{x}; \bar{x} - LSL]}{3\sigma} \quad (47)$$

kde: USL (HMR) ... horní mezní rozměr znaku jakosti,

LSL (DMR) ... dolní mezní rozměr znaku jakosti,

σ ... odhad směrodatné odchylky,

\bar{x} ... aritmetický průměr.

Hodnota μ výrobního procesu (skutečná hodnota regulované veličiny) se odhaduje pomocí aritmetického průměru naměřených hodnot výběru \bar{x} . Určitou nevýhodou použití indexu C_{pk} při posuzování způsobilosti procesu je to, že změna jeho hodnoty může souviset jak se změnou variability, tak se změnou polohy procesu (seřízení mimo střed tolerančního pole). Nezměněná hodnota indexu C_{pk} může souviset se změnou polohy procesu a se změnou proměnlivosti (variability) procesu. V těchto případech je vhodné uvádět oba indexy způsobilosti. Index způsobilosti C_{pk} udává, zda je nebo není seřízeno nejčastěji na střed tolerančního pole (míra bezpečnosti pro překročení tolerančních mezí na straně neshodných výrobků (zmetků)). Pokud proces není nastaven na střed tolerančního pole, může dojít i při relativně vysoké hodnotě C_p k situaci, že se vyrábí vysoké procento zmetků (neshodných výrobků).

Na rozdíl od indexu způsobilosti C_p může index způsobilosti C_{pk} v případech, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti je posunuta za jednu z předepsaných mezí, nabývat i záporných hodnot. Výrobní proces je způsobilý, když: $c_p \geq 1,33$ popř. 1,67 $c_{pk} \geq 1,33$ popř. 1,67, Zvětšování hodnot charakteristik C_p a C_{pk} je důkazem zlepšování výrobního procesu. Čím je číslo vyšší, tím je rozptyl výrobního procesu vzhledem k toleranci menší a rozměr je dodržován s rezervou. Hodnota $C_p=1$ znamená, že rozptyl výrobního procesu je právě tak velký jako daná tolerance. U hodnot menších než 1 rozptyl přesahuje toleranční meze a musí být regulován.

7.2.4 Index způsobilosti C_{pm} (Taguchiho index způsobilosti)

V případě jeho použití se variabilita sledovaného znaku necharakterizuje rozptylem kolem střední hodnoty, ale rozptylem kolem optimální hodnoty. Index zohledňuje variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti a míru dosažení optimální hodnoty. Podmínkou jeho použití je to, že optimální hodnota musí ležet ve středu tolerančního rozpětí.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - M)^2}} \quad (48)$$

kde M cílová (optimální) hodnota

V případě, že cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikovaná jedna toleranční mez, zavádí se C_{pm}^*

$$C_{pm}^* = \min \left\{ \frac{M - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - M)^2}}, \frac{USL - M}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - M)^2}} \right\} \quad (49)$$

Hodnocení způsobilosti procesu v případě sledování kvalitativního znaku

V tomto případě je vhodným kritériem způsobilosti procesu průměrný podíl neshodných jednotek ve výběru, popř. průměrné hodnoty výběrových charakteristik odpovídajících úrovním centrálních přímek v regulačních diagramech při regulaci srovnáváním. Hodnota indexu způsobilosti výrazně závisí na stanovené přípustné mezní hodnotě podílu neshodných jednotek (v řadě případů není toto jednoduché určit). Na základě průměrného podílu neshodných jednotek se přímo vypočítá hodnota C_{pk} :

$$C_{pk} = \frac{p_{\max} - \bar{p}}{3\sigma_p}, \quad C_{pk} = \sqrt{\frac{(1 - \bar{p})\bar{p}}{n}} \quad (50)$$

kde:

p_{\max} ... přípustná mezní hodnota podílu neshodných jednotek,

p ... stanovený průměrný podíl neshodných jednotek,

σ_p ... směrodatná odchylka podílu neshodných jednotek,

n ... průměrný rozsah podskupiny.

Možnosti dosažení způsobilosti procesu

Pokud se zjistí, že proces není způsobilý, je potřeba realizovat opatření, která umožní způsobilosti dosáhnout. Je třeba rozlišit případy, kdy nezpůsobilost procesu je způsobena posunem hodnot vůči mezním hodnotám [$c_p \geq 1,33(1,67)$, $c_{pk} \geq 1,33(1,67)$], nebo vysokou variabilitou sledovaného znaku jakosti [$c_p \geq 1,33(1,67)$, $c_{pk} \geq 1,33(1,67)$].

V prvním případě stačí pouze proces správně seřídit vzhledem k tolerančním mezím, v případě, že charakter procesu seřízení neumožňuje, lze způsobilost dosáhnout i snížením variability.

Ve druhém případě je k dosažení způsobilosti nutné snížit variabilitu dosahovaných hodnot, což obvykle vyžaduje buď radikální zásah do technologie, nebo převod výroby na jiné výrobní zařízení.

V první fázi bychom však neměli opomenout prověřit, zda přípustné mezní hodnoty nejsou zbytečně přísné, nebo zda se na vysoké variabilitě hodnot sledovaného znaku jakosti nepodílí nevhodný postup či metoda měření nebo nevyhovující měřicí zařízení.

7.3 Způsobilost výrobního zařízení

Způsobilost výrobního zařízení na rozdíl od způsobilosti procesu se vztahuje k opakovatelnosti produktu za újeji vymezeného souboru podmínek během kratší doby. Provádí se obvykle před hodnocením způsobilosti procesu, cílem je poskytnutí důkazu o tom, že výrobní zařízení je schopno vyrábět v požadovaných tolerancích. Provádí se obvykle v těchto situacích:

- U výrobce výrobního zařízení před dodáním zákazníkovi.
- Po instalaci výrobního zařízení u zákazníka.
- Po určité době provozování výrobního zařízení.
- Po opravách výrobního zařízení.
- Před zahájením výroby nového výrobku.

Vlastnímu shromažďování dat předchází zajištění stabilních podmínek chodu (stejný materiál, obsluha, nastavení výrobního zařízení, stabilní provozní parametry, atd.).

Za těchto „modelových“ podmínek se na zařízení vyrobí cca 50 ks výrobků a proměří zvolený znak jakosti. Získané údaje se zobrazí do časové řady a provede se analýza průběhu hodnot. Analýza slouží k odhalení trendů, periodicity nebo nepravidelností chodu zařízení. Poté se naměřené hodnoty rozdělí do „umělých“ podskupin po pěti a pomocí regulačního diagramu se analyzuje, zda proces je statisticky zvládnutý.

V případě záporné odpovědi se analyzují vymežitelné příčiny a provádí se nápravná opatření až do dosažení statistické zvládnutelnosti. Obdobně jako u způsobilosti procesů je nutno před výpočtem ověřit normalitu naměřených hodnot. V kladném případě se indexy způsobilosti výrobního zařízení počítají dle stejných vztahů jako pro indexy způsobilosti procesu. Indexy způsobilosti výrobního zařízení se označují symboly C_m a C_{mk} . Výrobní zařízení se obvykle považuje za způsobilé v případě, když hodnoty indexů způsobilosti $>1,67$.

7.4 Způsobilost měřidel

Vhodnost měřicího zařízení se posuzuje na základě řady statistických vlastností (např. shodnost a správnost měření, linearita, stabilita apod.). Při hodnocení způsobilosti měřidla (měřicího zařízení) se porovnává variabilita měření (shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti) s určitou částí šířky tolerančního pole sledovaného znaku jakosti. Způsobilost tedy vyjadřuje vhodnost použití měřidla pro kontrolu znaku jakosti v určitém tolerančním rozpětí.

Údaje potřebné pro hodnocení způsobilosti se získají opakovaným měřením etalonu o jmenovité hodnotě (pokud možno odpovídající středu tolerančního pole). Měření provádí jeden pracovník v místě používání měřidla (nejlépe 50 měření). Před vlastním výpočtem je vhodné graficky znázornit průběh hodnot pro analýzu trendů. Periodicity nebo jiných

nenáhodných jevů a dále ověřit normalitu rozdělení naměřených hodnot. Výpočet indexů způsobilosti měřidla:

$$C_g = \frac{0,2(USL - LSL)}{6\sigma_g} \quad (51)$$

$$C_{gk} = \frac{0,1(USL - LSL) - |x_r - \bar{x}|}{3\sigma_g} \quad (52)$$

kde:

USL (HMR) ... horní mezní rozměr znaku jakosti,

LSL (DMR) ... dolní mezní rozměr znaku jakosti,

σ_g ... směrodatná odchylka naměřených hodnot,

x_r ... jmenovitá hodnota etalonu,

\bar{x} ... aritmetický průměr naměřených hodnot,

V případě znalosti směrodatné odchylky způsobilého procesu nahrazuje se toleranční rozpětí ve vztazích hodnotou 6σ . Měřicí zařízení se považuje za způsobilé, pokud indexy způsobilosti C_g (C_{gk}) $> 1,33$.

8 Ekonomické aspekty

8.1 Význam jakosti v tržní ekonomice

Bylo prokázáno, že účinný management jakosti vede k:

- Zlepšení ekonomických výsledků,
- Vyššímu zájmu o požadavky zákazníků,
- Rozvoji podnikové kultury a vedení lidí,
- Významným změnám v osobním rozvoji zaměstnanců.

Jakost je rozhodujícím faktorem stabilního ekonomického růstu podniku.

Interní účinky zavedeného systému jakosti:

- Klesá podíl neshod (zmetků) na celkových výkonech,
- Stoupá výtěžnost materiálů,
- Stoupá produktivita,
- Snižují se náklady.

Externí účinky zavedeného systému jakosti:

- Stoupá míra spokojenosti zákazníků,
- Zlepšování zisku,
- Nárůst podílu na trhu.

Management jakosti je nejdůležitějším ochranným faktorem před ztrátami trhu.

Výzkumy ukázaly, že 66% všech příčin ztrát trhu padá na vrub nízké jakosti výrobků a služeb (rozhodující podíl nedostatků v předvýrobních etapách), zbývající třetina příčin má jiné pozadí, např. přechod odběratelů na jinou produkci.

Jakost je velmi významným zdrojem úspor materiálů a energie.

Typickým příkladem z této oblasti je výroba a používání výrobků s nízkou spolehlivostí (vyšší poruchovost \Rightarrow poruchové prostoje, náklady na opravy, energetická zátěž atd.)

Jakost ovlivňuje makroekonomické ukazatele

- Devizová bilance, vliv na školství, veřejný sektor.

Jakost je limitujícím faktorem tzv. trvale udržitelného rozvoje.

Tento faktor je úzce spjat s ochranou životního prostředí, je často podceňován.

Jakost a ochrana spotřebitele jsou spjité nádoby.

Normou ČSN ISO 8402 je pojem odpovědnost za výrobek definován jako povinnost výrobce, nebo jiných osob k náhradě ztráty spojené s újmou na zdraví, škodou na majetku nebo jinou škodou způsobenou výrobkem. Orgány státní správy se začaly intenzivně zabývat touto problematikou. Dlouhodobé zkušenosti ukázaly, že neúčinnější formou jak motivovat výrobce k produkci výrobků, jež nepoškodí uživatele, je vymáhání vysokých náhrad. Směrnice ES z r. 1985 říká:

- Výrobce odpovídá za škodu způsobenou vadou výrobku, přičemž se nezabavuje odpovědnosti ani dovozci zboží,
- Pokud není možné určit konkrétního dovozce (výrobce), zodpovídá za škodu celý dodavatelský řetězec.
- Směrnice je nekompromisní.

8.2 Náklady na jakost**8.2.1 Náklady na jakost u výrobce:**

- 1) Náklady na interní vady (ztráty z neopravitelných neshodných výrobků, náklady na opravy neshod (ve výrobě, v předvýrobních etapách, servisu), ztráty znehodnocením materiálů, penále za poškozování prostředí.
- 2) Náklady na externí vady - vznikají v důsledku neplnění uživatelských požadavků na jakost po dodání zákazníkovi, náklady na reklamace, garanční servis, náklady na soudní spory atd.
- 3) Náklady na hodnocení - náklady na pořizování a udržování měřicí techniky nákup softwaru náklady na certifikaci.
- 4) Náklady na prevenci - činnosti, které zabraňují vzniku neshod a vedou ke zlepšení jakosti (vzdělávání, náklady na budování a rozvoj systému řízení jakosti, náklady na poradenskou činnost

Náklady na jakost u spotřebitele (náklady na životní cyklus):

- 1) Náklady spotřebitele (uživatele) zařízení na jeho nákup a instalaci.
- 2) Náklady na využívání udržování během stanovené doby života.

Tedy výrobce i uživatel podléhají při provozu výrobku třem faktorů, které s jakostí výrobků souvisí. Vzájemné souvislosti nám přibližuje přehled tabulka 7.

Tabulka 7 Přehled faktorů a jejich vzájemné souvislosti

	U dodavatele	U spotřebitele
rizika	<ul style="list-style-type: none"> • Ztráta jména • Ztráta trhu • Stížnosti, reklamace • Plýtvání zdroji 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohrožení pozice • Nespokojenost s výrobkem • Dostupnost výrobků a služeb • Reklamace, ztráta důvěry
Náklady	<ul style="list-style-type: none"> • Nedostatky v marketingu a tvorbě návrhu • Opravy, přepracování • Náhrady • Opakované zpracování • Ztráty na výrobě • Záruční servis • Pokuty, penále 	<ul style="list-style-type: none"> • Na dovoz náhradního výrobku • Na provoz výrobku • Na údržbu a opravy • Na prostoje • Na likvidaci
přínosy	<ul style="list-style-type: none"> • Zvýšení rentability • Zlepšení postavení na trhu • Zvýšení zisku • Zlepšení CASH-FLOW 	<ul style="list-style-type: none"> • Snížení nákladů • Zvýšení výkonnosti • Zvýšení spokojenosti • Zvýšení zisku • Zlepšení CASH-FLOW • Růst důvěry

9 Závěr

Cílem mé práce byla podpora harmonizace informací obsažených v normě ISO/TS 16610 pro potřeby českých technických norem. Provedení analýzy současných filtrů a seznámení české metrologické veřejnosti s pravidly správné praxe pro použití statistické filtrace při měření.

V práci jsou podrobně popsány samotné důvody pro použití filtrace a dále jakým způsobem a proč správně volit druh filtru vzhledem k charakteru vstupních informací. Pro každý filtr jsem dále specifikoval oblast použití podle ISO/TS 16610 a dalších mezinárodních norem zabývajících se problematikou GPS.

Především jsem se věnoval filtraci pomocí profilových filtrů. Plošné filtry byly zmíněny pouze okrajově, protože bych jejich popisem překročil rámec zadané diplomové práce. Zmínil jsem se však o jejich použití a provázanosti s filtry profilovými.

V poslední části byl uveden výčet nejistot a způsobností s následnými vzorci pro výpočet, které jsou nedílnou součástí při měření a určení.

10 Seznam obrázků

Obrázek č.: 1 Funkce výrobku.....	8
Obrázek č.: 2 Fourierova transformace a filtrace vzhledem k amplitudě	19
Obrázek č.: 3 Gaussova zatěžovací funkce	21
Obrázek č.: 4 Upravená váhová funkce Gaussova filtru	22
Obrázek č.: 5 Zatěžovací funkce spline filtru.....	24
Obrázek č.: 6 Filtrace Spline křivkou.....	27
Obrázek č.: 7 Žebříček aproximací vlnkové transformace.....	29
Obrázek č.: 8 Aproximace dat spline wavelet transformací.....	32
Obrázek č.: 9 Výsledek měření y a kompletní výsledek měření y'	38
Obrázek č.: 10 Vztah mezi velikostí výrobní tolerance a rozptylem.....	52

11 Použité zdroje

- [1] ISO/TS 16610-1 *Technical specification ISO/TS 16610. Geometrical product specifications (GPS) - Filtration*, Ed 1, November, 2006. Reference number ISO/TS 16610:2006
- [2] ČSN ISO/TS 16610-21 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry*. Praha: ÚNMZ, Květen 2012.
- [3] ISO/TS 16610-22 *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 22: Linear profile filters: Spline filter*. Geneva, Ed 1, November 2006
- [4] ISO/TS 16610-32 *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 32: Robust profile filters: Spline filters*, Geneva, Ed 1, March 2009
- [5] ČSN P ISO/TS 16610-49 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace – Část 49: Morfologické profilové filtry - Techniky scale spac*. Praha: ÚNMZ, Červen 2015.
- [6] ČSN 010115 *Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii*, Brno, ČMI, Říjen 1996.
- [7] ČSN P ISO/TS 21749 *Nejistoty měření v metrologických aplikacích - Opakovaná měření a hierarchické experimenty*, Praha: ÚNMZ, Leden 2007.
- [8] ULMAN, Vojtěch. *Astronuklfyzika.sweb.cz* [online]. Ostrava : 14.1.2011 [cit. 2015-05-20]. Filtry a filtrace v nukleární medicíně. Dostupné z WWW: <<http://astronuklfyzika.sweb.cz/Filtry.htm>>.
- [9] SKARNITZL, Radek. *Fonetický ústav* [online]. Praha : 2011, 6.5.2011 [cit. 2015-05-20]. Akustika řeči. Dostupné z WWW: <<http://fu.ff.cuni.cz/vyuka/akustika/>>.
- [11] Wikipedia [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Spojitá funkce. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Spojita_funkce>.
- [12] Wikipedia [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Konvoluce. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Konvoluce>>.
- [13] JAN, Jiří. *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů*. Vyd. 2. Brno: VUTIUM, 2002, 427 s. ISBN 80-214-1558-4.

- [14] lekce37-fou-pmax.pdf. <http://matematika.cuni.cz/>. [online]. 17.6.2015 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://matematika.cuni.cz/dl/analyza/37-fou/lekce37-fou-pmax.pdf>
- [15] ČSN P ENV 13005 *Pokyn pro vyjádření nejistoty měřen*, Praha: ÚNMZ, Listopad 2005.
- [16] ČSN EN ISO 14253-1 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi*, Praha: ÚNMZ Listopad 2014
- [17] ČSN P ISO/TS 14253-2 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku*. Praha: ÚNMZ, Prosinec 2011
- [18] ČSN P ISO/TS 14253-3 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením - Část 3: Směrnice k dosažení souhlasu na základě stanovené nejistoty měření*, Praha: ÚNMZ, Prosinec 2011.
- [19] ČSN P ISO/TS 15530-3 *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Souřadnicové měřicí stroje (CMM): Metody určování nejistoty měření - Část 3: Použití kalibrovaných obrobků nebo etalonů*, Praha: ÚNMZ, Červen 2012.
- [20] ČSN 01 4102 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Systematické chyby a příspěvky k nejistotě měření u měření délky v důsledku teplotních vlivů*, Praha: ÚNMZ, Zaří 2005.
- [21] ČSN P ISO/TS 17450-2 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Obecné pojmy - Část 2: Základní zásady, specifikace, operátory a nejistoty*, Praha: ÚNMZ únor 2013.
- [22] ČSN P ISO/TS 21748 *Návod pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a pravdivosti při odhadování nejistoty měření*, Praha: ÚNMZ, Srpen 2012.
- [23] ČSN ISO 7066-2 *Stanovení nejistoty kalibrace a použití přístrojů měřících průtok. Část 2: Nelineární kalibrační závislosti*, Praha: ÚNMZ, 2 vyd. Únor 1994.

- [24] ČSN EN 55016-4-2 *Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 4-2: Nejistoty, statistické hodnoty a stanovování mezí - Nejistota měřicího zařízení*, Praha: ÚNMZ, 2 vyd. Březen 2012
- [25] ČSN EN ISO 14956 *Kvalita ovzduší - Posouzení vhodnosti měřicí metody porovnáním s požadovanou nejistotou měření*, Praha: ÚNMZ, Květen 2003.
- [26] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 2, základy řízení jakosti*. 1. vyd. Nad názvem: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní Dotisk r. 2008