

# Sběr důvěryhodných dat z 3D měření Přístup metrologie Smart 3D



Sběr důvěryhodných  
dat z 3D měření |  
Přístup metrologie  
Smart 3D

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti  
měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost  
měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky  
pro vyhodnocení nejistoty  
komplexních 3D měřicích  
systémů

Provádění studií MSA  
s využitím experimentální  
metodiky a inteligentního  
3D metrologického  
softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro  
metrologie

Závěr

# Sběr spolehlivých 3D měření

## Přístup metrologie Smart 3D

Výrobní společnosti sledují kvalitu výrobků každý den sběrem údajů z měření rozměrů. Tyto údaje se používají ke zkoumání stability výrobního procesu, k určení schopnosti procesu zajistit kvalitu a funkčnost dílů a ke stanovení ukazatelů, které kvantifikují způsobilost procesu splnit rozměrové požadavky. To vše je součástí jejich procesu neustálého zlepšování.

Při zavádění nového výrobního procesu mohou být vnímány problémy se stabilitou procesu, aniž by bylo možné určit příčinu a napravit ji. Tyto problémy v některých případech nesouvisí s výrobním procesem, ale spíše se samotným měřicím systémem.

Metrologové jsou si vědomi, že měření není nikdy přesné. Výkonnost měřicího systému ovlivňuje množství zdrojů chyb, které vedou k nejistotě měření, které vedou k nejistotě měření. Provedením Analýzy systému měření (MSA) prostřednictvím studií opakovatelnosti a reprodukovatelnosti R&R lze odhadnout variaci měřicího systému. Tyto studie umožňují metrologům posoudit platnost měřicího systému a minimalizovat faktory, které se podílejí na celkové variaci měřeného procesu a které ve skutečnosti pocházejí z měřicího systému.

Studie MSA může být poměrně složitá na sestavení a provedení – tím spíše v kontextu 3D metrologie – a vyžaduje rozsáhlé znalosti statistiky, aby bylo možné získat použitelná data.

### Tato uživatelská příručka:

- Vysvětluje klíčové pojmy analýzy měřicího systému a jejich praktické využití pro 3D měřicí zařízení,
- Zkoumá plně digitální proces od nastavení a provedení studií R&R až po získání výsledků přímo v Excelu pro analýzu a sdílení, a
- Poskytuje metrologům doporučení pro analýzu výsledků studie.



Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

### Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

### Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

### Doporučení pro metrologii

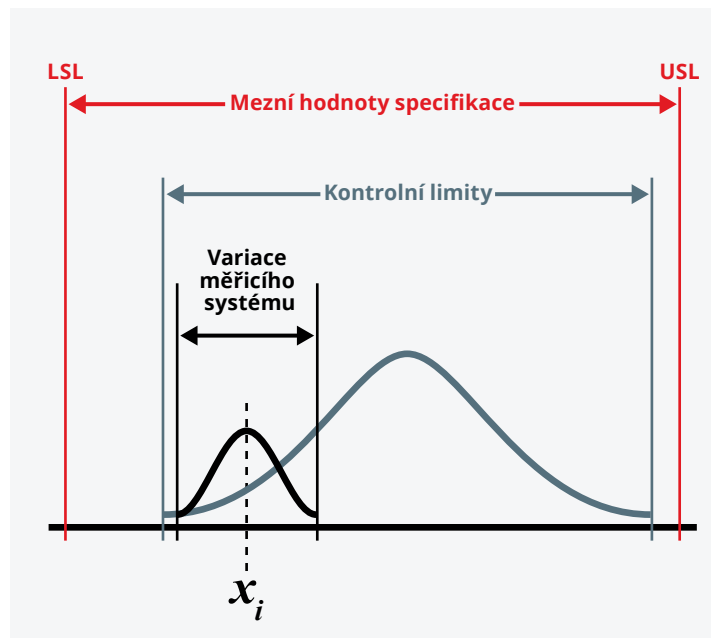
Závěr

# Pochopení základů MSA

Prozkoumejme klíčovou roli MSA v kontextu celkového procesu kontroly dílů. Během tohoto procesu metrologové měří *parametry*, jako jsou rozměry, velikosti, polohy, profily a orientace, aby určili jejich odchylky od jmenovitých hodnot. Posuzují shodu s technickými specifikacemi stanovenými v plánu měření prostřednictvím tolerancí a požadavků. Každé měření je charakterizováno dvěma hlavními složkami: jedna představuje skutečnou odchylku (tj. reálnou hodnotu) a druhá odráží variabilitu měřicího systému. Aby metrologové zajistili, že je jejich měřicí systém pro daný úkol důvěryhodný a spolehlivý, musí určit amplitudu variace měřicího systému a zajistit, aby představovala maximálně 10 až 30 % mezních hodnot specifikace. Variace nebo výkonnost měřicího systému musí být proporcionálně dostatečně malá, aby se významně nepodílela na celkové variaci měřeného procesu s ohledem na variaci výrobního procesu i měřicího systému a nevytlačila proces mimo mezní hodnoty specifikace (*LSL, USL*) nebo tolerance.

**Obrázek 1**  
Výkonnost měřicího systému s ohledem na celkovou variaci procesu

Na obrázku 1 je znázorněna tato interakce, kdy výkonnost měřicího systému a naměřené hodnoty ( $X_i$ ) mají relativně diskrétní a předvídatelný příspěvek k naměřené variaci procesu. Tato odchylka se získává z výsledků měření na dílech pocházejících z výrobní linky pomocí technik SPC. Obvykle se na základě těchto údajů vypočítávají kontrolní limity. Jinými slovy, výkonnost měřicího systému ovlivňuje výsledky celkové variace měřeného procesu a pracovní postup analýzy měřicího systému pomáhá tuto výkonnost identifikovat.



Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

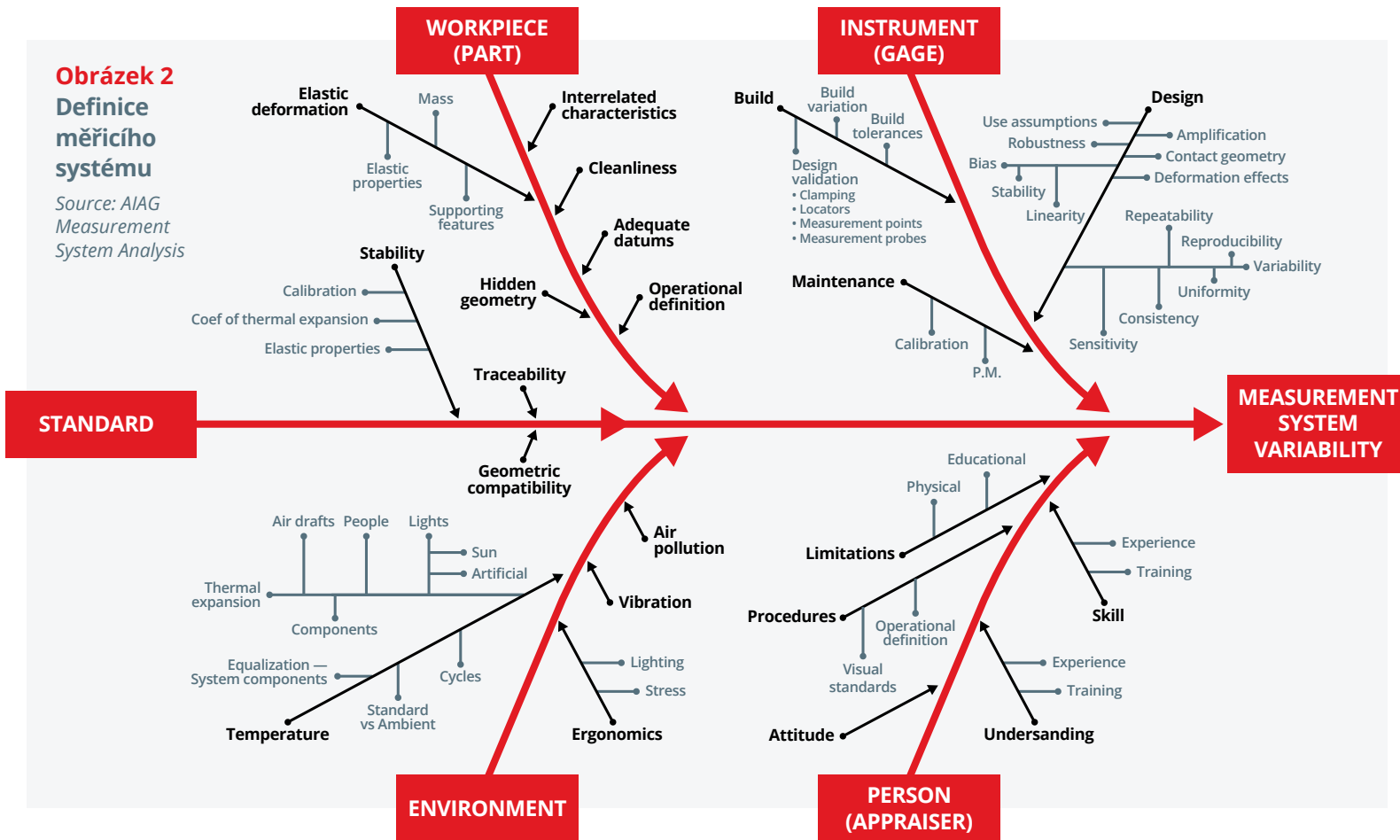
Doporučení pro metrologii

Závěr

## Definice měřicího systému

Před stanovením výkonnosti měřicího systému je rozhodující identifikovat všechny potenciální zdroje nejistot, které mohou ovlivnit proces měření klíčové charakteristiky. [Automotive Industry Action Group \(AIAG\)](#) uvádí, že měřicí systém je tvořen „souborem přístrojů nebo měřidel, norem, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke

kvantifikaci měrné jednotky nebo stanovení hodnocení měřené vlastnosti; kompletní proces používaný k získání měření“. MSA musí vzít v úvahu všechny tyto faktory, jak je podrobně uvedeno na obrázku 2, protože ovlivňují celkovou nejistotu měřicího systému.



Sběr důvěryhodných dat z 3D měření | Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

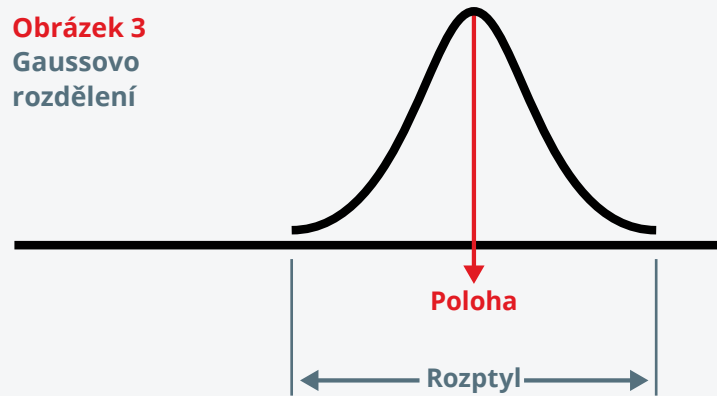


## Ukazatele výkonnosti měřicího systému

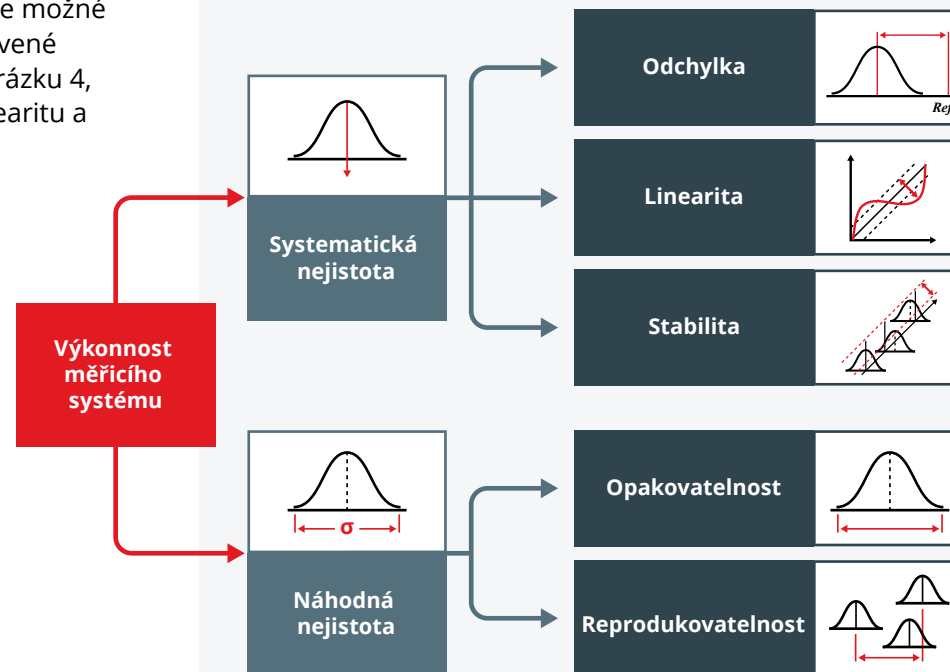
Výkonnost měřicího systému se určuje pomocí ukazatelů, které kvalifikují a kvantifikují nejistotu měření. Sběrem dat o procesu může metrolog kvantifikovat celkovou variabilitu měření určením specifického chování s ním spojeným. Obvykle je toto chování popsáno jako náhodná proměnná (NV) s Gaussovým (normálním) rozdělením. Obrázek 3 znázorňuje tento koncept, přičemž černá křivka představuje data výběrového souboru, tj. naměřené hodnoty pocházející z procesu měření, a její rozdělení definované parametry polohy (*střední hodnota*) a rozptylem (*směrodatná odchylka*).

Více faktorů ovlivňujících proces měření představuje více zdrojů nejistoty, které jsou buď systematické (*např. průměrná hodnota měření oproti skutečné hodnotě*), nebo náhodné (*např. rozptyl měření*). Tyto nejistoty je možné kvalifikovat podle toho, jaký mají vliv na stanovené parametry rozdělení. Jak je znázorněno na obrázku 4, systematická nejistota zahrnuje odchýlení, linearitu a stabilitu, zatímco náhodná nejistota zahrnuje opakovatelnost a reprodukovatelnost. Každá kategorie je jasně identifikovatelná podle své jedinečné charakteristiky rozdělení.

Obrázek 3  
Gaussovo rozdělení



Obrázek 4  
Ukazatele výkonnosti



Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

## • Systematická nejistota

Systematická nejistota je nejistota měření silně spojená s polohou normálního rozdělení vzhledem k nominální hodnotě. Matematicky ovlivňuje střední hodnotu naměřených dat. Běžně se pro ni používá termín *chyba přesnosti*. Chyba přesnosti představuje exaktnost mezi průměrem jednoho nebo více naměřených výsledků a nominální hodnotou. Chyba přesnosti je obecně reprodukovatelná a často je způsobena problémy, které lze kvantifikovat a opravit. Tři typy systematické nejistoty jsou odchylka, linearita a stabilita, přičemž odchylka je nejčastější. *Odchylka* představuje vzdálenost mezi průměrem jednoho nebo více naměřených výsledků ( $\bar{x}$ ) a nominální hodnotou (**Ref**). Matematicky se odchylka odhaduje jako rozdíl mezi skutečnou hodnotou (hodnotou **Ref**) a odhadem aritmetického průměru z měřených hodnot stejného parametru na stejném dílu. *Linearita* naproti tomu udává, jak dobře se údaje získané v celém rozsahu měření přístroje shodují s nominální hodnotou. Je to rozdíl v odchylce v celém zamýšleném měřicím rozsahu přístroje. *Linearita* představuje změnu v odchylce od jednoho extrému měřicího rozsahu k druhému. Posledním typem systematické nejistoty je *stabilita*. Představuje schopnost měřicího systému udržet si svou metrologickou způsobilost v průběhu času. Stabilita popisuje změny odchýlení v čase, obvykle v době mezi dvěma kalibracemi systému.



## • Náhodná nejistota

Zbývajícím zdrojem nejistoty měření je náhodná nejistota, běžně nazývaná *chyba preciznosti*. Chyba preciznosti představuje statistické kolísání naměřených dat v důsledku omezení měřicího systému. Chyba preciznosti popisuje očekávanou variaci opakovaných měření v rozsahu měření. Dva typy náhodné nejistoty jsou opakovatelnost a reprodukovatelnost. *Opakovatelnost* představuje šířku rozptylu měření získaných za velmi přesně řízených podmínek. Popisuje schopnost systému získat stejné měření při použití stejného přístroje, dílu, šablony a stejných podmínek prostředí. Úzké rozdělení znamená lepší opakovatelnost měření. *Reprodukovatelnost* představuje variaci mezi měřeními provedenými různými operátory, se stejným přístrojem a za stejných podmínek. Matematicky se jedná o variaci průměru odečtů provedených jednotlivými operátory.

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

## Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Způsobilost měřicího systému ( $\sigma_{způsobilost}$ ), označovaná také jako celková *nejistota měření*, je kombinací všech systematických a náhodných nejistot. Kvantifikuje pochybnost spojenou s měřením za známých podmínek a používá se k určení celkové nejistoty měřicího systému v krátkém časovém období. Způsobilost lze vypočítat pomocí vzorce:

$$\sigma_{způsobilost}^2 = \sigma_{Odchylka (linearita)}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

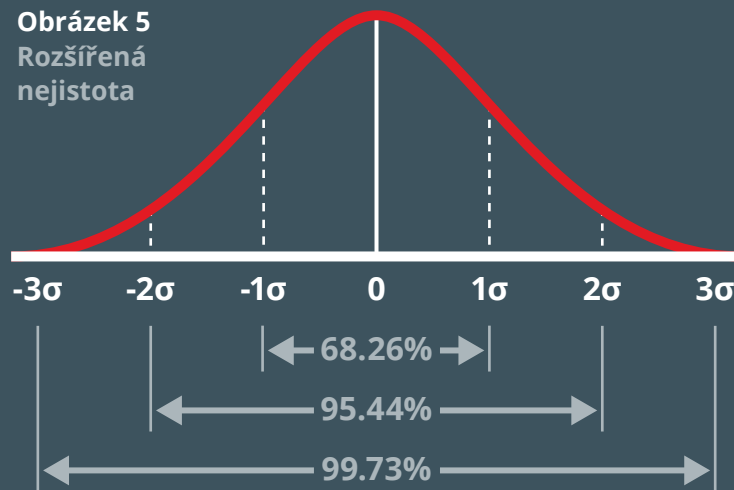
Výkonnost naproti tomu zohledňuje nejen zdroje systémových a náhodných nejistot, ale také zdroje odchýlení, které se objevují v čase. Vypočítá se podle vzorce:

$$\sigma_{výkonnost}^2 = \sigma_{způsobilost}^2 + \sigma_{stabilita}^2$$

## Rozšířená nejistota

V posledním kroku procesu analýzy systému měření se stanoví *rozšířená nejistota (U)* spojená s měřicím systémem. Rozšířená nejistota představuje celkovou hodnotu nejistoty měření, která v rámci určité úrovně spolehlivosti popisuje rozsah, v němž se očekává skutečný výsledek měření získaný systémem. Lze ji vyjádřit jako:  $U = \pm K\sigma_{celk}$  kde  $U$  je rozšířená nejistota,  $K$  je faktor pokrytí, který představuje plochu pod distribuční křivkou pro požadovanou úroveň spolehlivosti (např.  $K=3$  pro 99,73 % úroveň spolehlivosti) a  $\sigma_{celk}$  je celková standardní nejistota měřicího systému, která obvykle odpovídá jeho výkonnosti. Nejčastěji používané faktory spolehlivosti při analýze měřicího systému najdete na obrázku níže.

Obrázek 5  
Rozšířená nejistota



Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

# Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Pro vyhodnocení nejistoty měření systému je nutné nejprve definovat jeho model měření. Tento model je matematickým vyjádřením vztahu mezi výstupní veličinou měřicího systému a vstupními veličinami, o nichž je známo, že se podílejí na procesu měření. Existují dva typy měření: přímé a nepřímé, což ovlivní způsob, jakým je model definován. Přímé měření je takové, kdy měřicí zařízení přímo poskytuje výstupní veličinu. Například vnější průměr ( $Y$ ) se měří pomocí mikrometru, který přímo poskytuje fyzikální hodnotu  $X$ . V tomto případě je model měření (tj. funkce) identifikován jako  $Y=X$ . Většina 3D měřicích zařízení však provádí nepřímé měření. Nemohou poskytnout hodnotu ( $Y$ ) přímo, ale spíše uvažují funkci několika ( $n$ ) fyzikálních hodnot ( $X_i$ ),  $Y=f(X_1, \dots, X_n)$ . Například přenosný souřadnicový měřicí stroj využívá polohu a orientaci několika snímačů k získání určitého výstupu. Tyto fyzikální hodnoty, v tomto příkladu poloha a orientace snímačů použité k výpočtu výstupní veličiny, jsou všechny ovlivněny specifickou nejistotou měření ( $u_{x_i}$ ). Proto je naměřený výsledek daný ramenem ( $Y$ ) závislý na souboru hodnot ( $X_i$ ) a souvisejících nejistot ( $u_{x_i}$ ) použitých pro jeho odhad. V konečném důsledku má naměřená hodnota ( $Y$ ) také celkovou nejistotu ( $u_y$ ).

Pokud je model reprezentující měřicí systém explicitně formulován, lze jej použít k šíření nejistot ze vstupních veličin do výstupních veličin pomocí dvou strategií: Taylorovy řady nebo simulace Monte Carlo. Těmito strategiemi se podrobně zabývají publikace jako [Guide to the expression of uncertainty in measurement \(Průvodce vyjadřováním nejistoty měření\) \(GUM\)](#)<sup>1</sup>. Na druhou stranu, pokud je model příliš složitý na to, aby mohl být explicitně formulován, nebo pokud nejsou známy parametry, musí být použita experimentální strategie. Analýzou výstupní veličiny pomocí statistických nástrojů lze odhadnout celkovou nejistotu měřicího systému. Například v situaci, kdy metrolog používá přenosnou souřadnicovou měřicí jednotku se skenerem k měření profilu povrchu, je identifikace měřicí funkce mnohem složitější. V tomto případě musí být použita experimentální analýza. Protože se provádí přímo na základě výsledků měření, nemusí metrolog měřicí systém rozebírat, což je jednodušší, přehlednější a srozumitelnější.

<sup>1</sup> Vyhodnocování údajů z měření – Průvodce vyjadřováním nejistoty měření (JCGM 100:2008) vydaný Mezinárodním úřadem pro váhy a míry (Bureau International des Poids et Mesures).

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie  
Smart 3D

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

## Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

## Doporučení pro metrologii

## Závěr



# Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Provedení experimentální analýzy za účelem stanovení rozšířené nejistoty komplexních 3D měřicích systémů vyžaduje nejprve provedení studie opakovatelnosti a následně kompletní studie R&R. Shromážděním údajů o výsledcích měření systému pomocí různých nastavení a zkoušek může metrolog odhadnout celkovou odchylku pomocí dříve popsaných ukazatelů výkonnosti. Tyto studie jsou však tradičně složité na provedení a k získání odpovídajících výsledků vyžadují rozsáhlé znalosti statistiky.

**Figure 6**  
PolyWorks MSA panel nástrojů



PolyWorks® nabízí integrované inteligentní 3D metrologické softwarové řešení MSA pro provádění studií komplexních 3D měřicích systémů v rámci plně digitálního procesu. Uživatelům umožňuje:

- 1 Určit klíčové parametry požadované plánem kontrol;
- 2 Vytvořit studii výběrem jejího typu a definováním klíčových parametrů, které jsou nezbytné pro kontrolu kvality a sledovatelnost;
- 3 Provést studii sběrem dat pro všechny konfigurace 3D měřicích zařízení a kontexty měření v rámci jediné univerzální softwarové platformy;
- 4 Vytvářet informačně bohaté zprávy publikované přímo v aplikaci Microsoft Excel s předformátovanými tabulkami propojenými s inteligentními 3D kontrolními daty; a
- 5 Provádět sofistikované analýzy v aplikaci Excel bez pokročilých znalostí statistických softwarových aplikací.

Řešení PolyWorks MSA zajišťuje, že všechny výpočty jsou prováděny v rámci jednoho softwarového ekosystému, od nastavení studií přes pořízení měření až po automaticky generované výsledky, jako jsou ukazatele a grafy, a plně digitální řetězec zajišťuje integritu dat a důvěryhodné výsledky.

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

## Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

## Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

## Doporučení pro metrologii

Závěr

## Studie opakovatelnosti



Prvním krokem při provádění analýzy měřicího systému je studie opakovatelnosti. Posuzuje variaci měřících systémů (přístrojová nejistota), pokud je ovlivněna minimálním počtem zdrojů variace. Používá se při počátečním hodnocení

měřicího systému k rychlému porovnání různých konfigurací systému, například míst upnutí přípravku nebo parametrů metrologického vybavení.

Studie opakovatelnosti se provádí:

- 1 - Umístěním dílu do přípravku (je-li to vhodné);
- 2 - Změřením dílu pomocí 3D měřicího zařízení;
- 3 - Vyjmutím dílu z přípravku a
- 4 - Opakováním kroků jeden až tři, vždy s použitím stejného dílu, přípravku a měřicího zařízení.

Pomocí plánu kontrol metrolog určí klíčové parametry, na základě kterých musí být provedena statistická analýza. Díl se měří minimálně 10krát, obvykle však alespoň 30krát, aby se získal dobrý odhad variace přístroje. Tento typ studie obvykle provádí starší metrolog, který má potřebné zkušenosti, aby rychle odhalil a snadno vyřešil problémy v procesu měření.

Existují dva typy studií opakovatelnosti:

### Typ 1 Studie měřidla<sup>2</sup> :

- Posuzuje vliv odchylky a opakovatelnosti na měření.
- Vyžaduje certifikovaný etalon známých rozměrů.
- Jejím výstupem jsou dvě metriky: Cg a Cgk.
- Použije se v případě, že je k dispozici certifikovaný etalon a stabilita měřicího systému nepředstavuje problém.

### Studie opakovatelnosti<sup>3</sup> :

- Posuzuje opakovatelnost a stabilitu měřicího systému.
- Nevyžaduje certifikovaný etalon.
- Používá graf I-MR jako základ pro hodnocení variace a stability.

Hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že studie typu 1 potřebuje certifikovaný etalon, který by pomohl identifikovat možné odchýlení a nehodnotí stabilitu měřicího systému.

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřících systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

<sup>2</sup> Požadavky na Analýzu systému měření pro dodavatelský řetězec leteckých motorů (AS13003), které vydalo sdružení SAE International.

<sup>3</sup> Analýza měřicího systému (MSA), kterou zveřejnila skupina Automotive Industry Action Group (AIAG).

Obě studie opakovatelnosti usnadňuje řešení PolyWorks MSA:

- 1 - Metrolog je krok za krokem veden nezbytnými kroky studie s vytvořením kontrolního projektu, který je kompletní se všemi požadovanými měřeními, jejich parametry, kontrolami a výstupními metrikami, stejně jako počtem měřených kusů, což zajišťuje robustní šablonu měření.
- 2 - Operátoři jsou pak v průběhu pořizování měření vedeni pokyny na obrazovce a 3D zobrazením.
- 3 - Po dokončení procesu pořizování měření jsou výsledky kontroly automaticky publikovány do předem naformátovaných tabulek programu Excel, které jsou dynamicky propojeny s 3D kontrolními daty projektu kontroly.
- 4 - Předformátované tabulky poskytují metrologovi automaticky vypočtené a pro analýzu připravené variace přístroje, tj. opakovatelnosti, ukazatele výkonosti a grafy.
- 5 - Pro dokončení této analýzy a rychlou optimalizaci procesu měření může metrolog v projektu kontroly upravit parametry měření a sledovat jejich přímý vliv na variaci přístroje, přičemž PolyWorks automaticky aktualizuje tabulkový ukazatel a hodnoty grafu.

## Studie R&R

Zatímco studie opakovatelnosti umožňují analyzovat a optimalizovat variace přístrojů měřicího systému, studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidel neboli studie R&R jsou nutné k dokončení konečné validace měřicího systému.

Studie R&R se obvykle provádějí až po studiích opakovatelnosti, protože vyžadují více zdrojů, dílů a nákladů. Tím, že metrolog nejprve provede studii opakovatelnosti, může navíc korigovat variaci přístroje před analýzou a korekcí jeho reprodukovatelnosti. Pro odhad nejistoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému existuje několik uznávaných empirických metod. Dvě nejběžnější metody jsou *metoda průměru a rozsahu (X-bar R)* a *metoda analýzy rozptylu (ANOVA)*. V obou případech se sběr dat řídí přísnými pravidly, aby byly zajištěny věrohodné výsledky:

- **Počet operátorů:** požadují se minimálně 3 operátoři, kteří musí měřicí systém používat ve výrobě.
- **Počet dílů:** musí být vybrány minimálně 2 díly, které jsou reprezentativní pro variace vyskytující se ve výrobním procesu. Pokud je to možné, upřednostňuje se počet 10; čím větší počet dílů, tím lepší odhad chování procesu.
- **Počet opakování:** každý operátor musí změřit všechny díly více než jednou. Obvykle se provádějí 2 nebo 3 opakování.
- **Náhodné pořadí měření:** aby se zajistilo, že pořadí měření neovlivní výsledky, musí každý operátor měřit díly v náhodném pořadí.

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření |  
Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

Řešení PolyWorks MSA umožňuje uživatelům vytvořit a provést kompletní studii R&R měřidel pomocí těchto dvou standardních metod:

- 1 - Metrolog rychle vybere metodu analýzy a zadá parametry, jako je počet operátorů, opakování a dílů.
- 2 - Poté PolyWorks vytvoří projekt kontroly se všemi potřebnými díly v určitém pořadí.
- 3 - List s pořadím běhu se pak automaticky exportuje do tabulky Excel, která vede operátory během procesu sběru měření a zajišťuje náhodné pořadí měření.
- 4 - Panel nástrojů vede operátory procesem kontroly a zajišťuje, aby byly změřeny všechny klíčové parametry a aby bylo získáno dostatečné množství nasnímaných a skenovaných dat pro získání spolehlivých výsledků měření.
- 5 - Po dokončení měření metrolog použije projekt kontroly k odhadu variability měřicího systému.

Hlavní rozdíl mezi metodikami X-bar R a ANOVA spočívá v analýze výsledků. Metoda X-bar R umožňuje kvantifikovat opakovatelnost a reprodukovatelnost pomocí výpočtů kontrolních grafů. V příručce AIAG „Analýza měřicího systému“ je tato metodika představena podrobně. Metoda R&R měřidel s metodikou ANOVA poskytuje více informací a je proto komplexnější.

Analýza rozptylu (ANOVA) je statistická analýza, která rozděluje zdroje variací v měřicím systému následujícím způsobem:

- **Opakovatelnost:** variace měřicího systému, které nelze přičíst jiným zdrojům variací.
- **Operátor:** variace mezi operátory.
- **Interakce díl/operátor:** variace vyplývající z interakce mezi operátory a díly (když operátor měří různé díly odlišně).
- **Díl od dílu:** variace pocházející z jednotlivých dílů v rámci studie. Představuje variaci výrobního procesu.

Bez ohledu na použitou metodu se zdroje variace považují za statisticky nezávislé. Proto se sestavují na náhodném základě (součet rozptylů), aby se vyjádřila celková nejistota.

Metodika nejprve určí, zda je variace vyplývající z interakce mezi díly a operátory významná. Pokud ano, je nutné ji zohlednit v celkové reprodukovatelnosti systému ( $\sigma_{reprodukovatelnost}$ ) následujícím způsobem:

$$\sigma_{reprodukovatelnost}^2 = \sigma_{operátor}^2 + \sigma_{interakce}^2$$

Vzhledem k tomu, že během studie byla přímo zjištěna opakovatelnost ( $\sigma_{repeatability}$ ), je možné stanovit opakovatelnost a reprodukovatelnost ( $\sigma_{R\&R}$ ) měřicího systému takto:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reprodukovatelnost}^2 + \sigma_{opakovatelnost}^2$$

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření | Přístup metrologie Smart 3D

Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilsto a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr



Nakonec se celková naměřená variace procesu ( $\sigma_{\text{celkový}}$ ) získá přičtením opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému k odhadnuté variaci výrobního procesu ( $\sigma_{\text{díl od dílu}}$ ) takto:

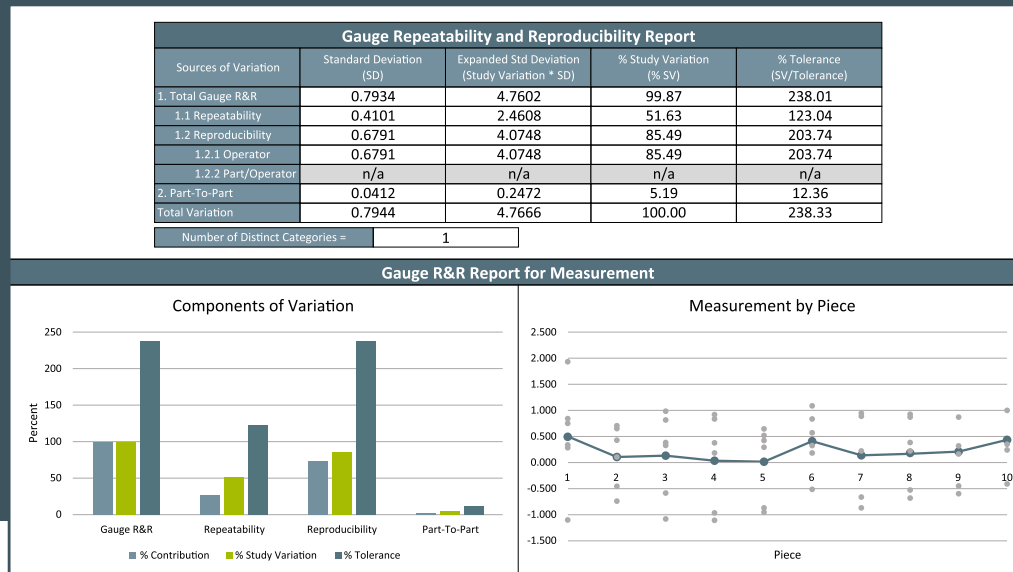
$$\sigma_{\text{celkový}}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{\text{díl od dílu}}^2$$

Analýza výsledků studie spočívá v:

- Zajištění, že nejistota měřicího systému ( $\sigma_{R\&R}$ ) má malý podíl na celkové variaci měřeného procesu. Odhadovaná variace výrobního procesu (díl od dílu) by měla představovat většinu variability. Pokud je příspěvek variace mezi jednotlivými díly relativně vyšší než zbytek nejistoty, znamená to, že měřicí systém dokáže spolehlivě rozlišit výrobní chyby.

- Porovnání variace měřicího systému s mezními hodnotami specifikace (tolerancemi), aby bylo zajištěno, že variace představuje maximálně 30 % mezních hodnot.

Publikační krok řešení PolyWorks MSA převádí data ze studie MSA na interpretovatelné výsledky a na údaje, které lze použít, prostřednictvím přehledných tabulek, souhrnů a grafů, jak je znázorněno na obrázku 7. Jedná se o výkonnou a důležitou součást procesu digitální studie, protože výrazně usnadňuje interpretaci a řešení problémů s výsledky studie. Umožňuje uživatelům publikovat výsledky do vybrané šablony Excelu X-bar R nebo ANOVA a rychle analyzovat chybu měření a další zdroje variability. Při provádění studie ANOVA může metrolog například rozdělit rozptyl do čtyř kategorií: díly, posuzovatelé, interakce mezi díly a posuzovateli a chyba replikace způsobená měřidlem.



Obrázek 7  
R&R  
měřidel

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření | Přístup metrologie Smart 3D

### Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

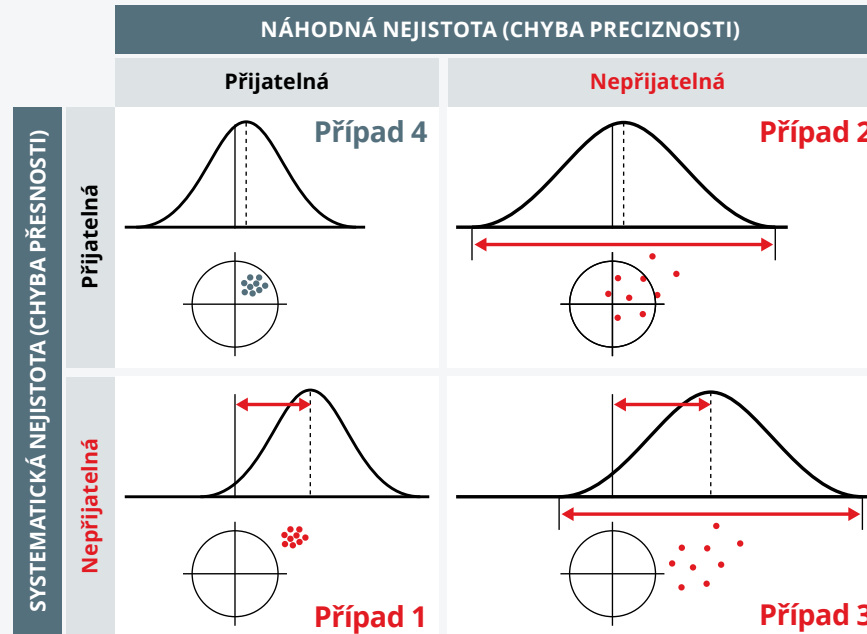
Studie R&R

Doporučení pro metrologii

Závěr

# Doporučení pro metrology

Údaje shromážděné z měřicího systému poskytují zpětnou vazbu o vlivu nejistot měření. S využitím ukazatelů výkonnosti (strana 5) může metrolog přijmout nápravná opatření k optimalizaci svého procesu měření. Použijme konkrétní příklad – graf cílové hodnoty a rozptylu chybových hodnot, jak je znázorněno na obrázku 8.



Obrázek 8 Chyby přesnosti a preciznosti

První problém (případ 1), který může metrolog identifikovat, je chyba přesnosti – může pocházet z odchýlení na linearitě systému, ale v obou případech lze tuto chybu snadno opravit. Možné příčiny chyby přesnosti mohou být následující:

- měřicí zařízení, které potřebuje kalibraci;
- opotřebované zařízení, přístroj, nebo přípravek;
- chyba v etalonu použitém v procesu analýzy;
- metoda měření (např. technika upínání).

Druhým problémem, se kterým se metrolog může setkat, je chyba preciznosti (případ 2). Ta může souviset se samotným měřicím systémem (opakovatelnost) nebo může být způsobena operátory (reprodukovatelnost).

Možné příčiny chyby preciznosti mohou být4:

- související s dílem: tvar, poloha, povrchová úprava, kuželovitost, konzistence vzorku;
- související s nástrojem: oprava, opotřebení, porucha přístroje nebo přípravku, špatná kvalita nebo údržba;
- související s metodikou: variace v nastavení, technika, držení, upínání;
- související s operátorem: technika, poloha, nedostatek zkušeností, manipulační dovednosti nebo výcvik, pocit únavy.

Pokud jsou přítomny všechny zdroje chyb (případ 3), měl by metrolog rozdělit výkonnost měřicího systému pomocí ukazatelů a opravit postupně jeden typ chyby, aby byl měřicí systém přijatelný (případ 4).

<sup>4</sup> Analýza systému měření (MSA), kterou zveřejnila skupina Automotive Industry Action Group (AIAG).

Sběr důvěryhodných dat z 3D měření | Přístup metrologie Smart 3D

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů

Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

Doporučení pro metrology

Závěr

# Závěr

Efektivní proces analýzy měřicího systému zajistí, že budete vykonávat důvěryhodná 3D měření. Dnes již není nutné zabývat se zastaralými, složitými procesy, které vyžadují několik softwarových řešení třetích stran a pokročilé odborné znalosti statistických softwarových aplikací.

Inteligentní 3D metrologické softwarové řešení PolyWorks® MSA výrazně zjednodušuje nastavení a provádění studií MSA pro prostředí s 3D měřicími přístroji a poskytuje spolehlivou analýzu variací měřicího systému. Poskytuje snadno použitelný plně digitální pracovní postup, který zajišťuje integritu naměřených dat a umožňuje výrobcům s jistotou provádět studie MSA pro každý nový díl, což přináší lepší kontrolu kvality.

Laurent Émond-Girard, P.Eng., M.A.Sc.  
Inženýr výrobních procesů, InnovMetric

**polyworks**  
europa

Chcete-li více informací:

Kontaktujte nás: [infoczn@polyworkseuropa.com](mailto:infoczn@polyworkseuropa.com)

Navštivte naše webové stránky: [Linked in](#)



**Sběr důvěryhodných dat z 3D měření | Přístup metrologie Smart 3D**

## Pochopení základů MSA

Definice měřicího systému

Ukazatele výkonnosti měřicího systému

- Systematická nejistota
- Náhodná nejistota

Způsobilost a výkonnost měřicího systému

Rozšířená nejistota

**Výběr vhodné metodiky pro vyhodnocení nejistoty komplexních 3D měřicích systémů**

**Provádění studií MSA s využitím experimentální metodiky a inteligentního 3D metrologického softwaru.**

Studie opakovatelnosti

Studie R&R

**Doporučení pro metrologie**

**Závěr**