innovmetric

WHITE PAPER

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen **De slimme 3D-metrologie-benadering**



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen
De slimme 3D-metrologie-benadering

Productiebedrijven bewaken de productkwaliteit elke dag door dimensionale meetgegevens te verzamelen. Deze gegevens worden gebruikt om de stabiliteit van een productieproces te onderzoeken, het vermogen van het proces te bepalen om de kwaliteit en functionaliteit van onderdelen te garanderen, en om indexen vast te stellen om het vermogen van het proces om te voldoen aan de dimensionale vereisten te kwantificeren. Het maakt allemaal deel uit van hun continue verbeteringsproces.

Bij de introductie van een nieuw fabricageproces kunnen er problemen worden waargenomen met de processtabiliteit zonder dat men de oorzaak kan achterhalen en corrigeren. Deze problemen zijn in sommige gevallen niet gerelateerd aan het productieproces, maar aan het meetsysteem zelf.

Metrologen weten dat een meting nooit exact is. Een veelvoud aan bronnen van variatie beïnvloeden de prestatie van het meetsysteem, wat leidt tot onzekerheid in de meting. Door een analyse van het Measurement System Analysis (MSA) uit te voeren aan de hand van herhaalbaarheids- en R&R-onderzoeken van de meter, kan de variatie van het meetsysteem worden geraamd. Deze onderzoeken stellen metrologen in staat om de validiteit van het meetsysteem te beoordelen en de factoren die bijdragen aan de totale gemeten procesvariatie die daadwerkelijk afkomstig zijn van het meetsysteem, te minimaliseren.

Een MSA-onderzoek kan behoorlijk complex zijn om op te zetten en uit te voeren – vooral in de context van 3D-metrologie – en vereist uitgebreide kennis van statistiek om bruikbare gegevens te verkrijgen.

Dit whitepaper zal:

- De belangrijkste concepten van Measurement System Analysis en hun praktische toepassing voor 3D-meetapparatuur uitleggen
- Een volledig digitaal proces verkennen van het opzetten en uitvoeren van herhaalbaarheids- en R&R-onderzoeken van een meter om resultaten rechtstreeks in Excel te verkrijgen voor analyse en delen en
- Aanbevelingen geven voor metrologen om onderzoeksresultaten te analyseren



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

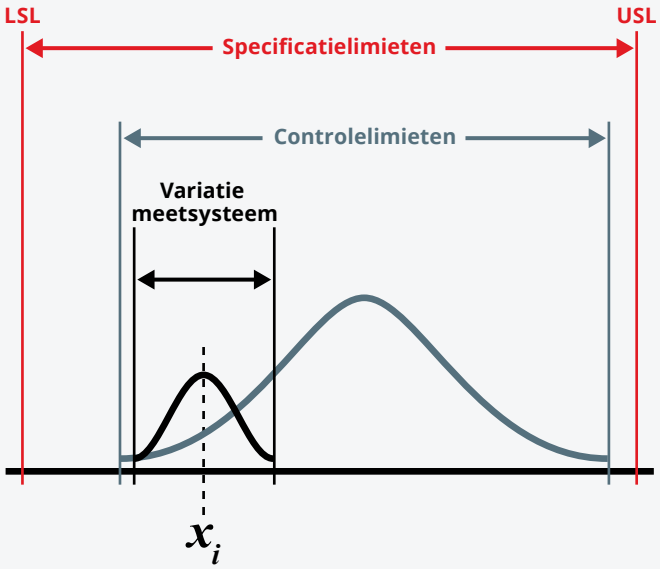
Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Begrijpen van belangrijke parameters

Laten we eens kijken naar de cruciale rol van de MSA in de context van het algehele inspectieproces voor onderdelen.Tijdens dit proces meten metrologen *belangrijke kenmerken*, zoals grootte, afmetingen, posities, profielen en oriëntaties, om hun afwijking van de nominale specificaties te bepalen. Ze beoordelen de naleving van de technische specificaties, zoals vastgelegd in het controleplan, aan de hand van toleranties en eisen. Elke meting wordt gekenmerkt door twee hoofdcomponenten: een die de werkelijke afwijking weergeeft (d.w.z. reële waarde), en een andere die de variabiliteit van het meetsysteem weerspiegelt. Om ervoor te zorgen dat hun meetsysteem geloofwaardig en betrouwbaar is voor de taak, moeten metrologen de amplitude van de variatie in het meetsysteem identificeren en ervoor zorgen dat deze maximaal 10% tot 30% van de specificatielimieten vertegenwoordigt. De variabiliteit of prestatie van het meetsysteem moet proportioneel klein genoeg zijn om geen significante bijdrage te leveren aan de totale gemeten procesvariatie, rekening houdend met zowel de variatie van het fabricageproces als het meetsysteem, en het proces niet uit de specificatie duwen limieten *(LSL,USL)* of toleranties.

Afbeelding 1 toont deze interactie, waarbij de prestatie van een meetsysteem en de gemeten waarden (x_i) een relatief discrete en voorspelbare bijdrage leveren aan de gemeten procesvariatie. Deze variatie wordt verkregen uit meetresultaten op onderdelen die uit de productielijn komen met behulp van SPC-technieken. Gewoonlijk worden controlelimieten berekend met behulp van deze gegevens. Met andere woorden, de prestatie van het meetsysteem is van invloed op de resultaten van de totale gemeten procesvariatie, en de workflow voor de analyse van het meetsysteem helpt deze prestatie te identificeren.



Afbeelding 1
Prestatie van een meetsysteem met betrekking tot de totale procesvariatie

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

- Definitie meetsysteem
- Prestatie-indexen meetsysteem
  - Systematische onzekerheid
  - Willekeurige onzekerheid
- Capaciteit en prestatie meetsysteem
- Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

- Herhaalbaarheidsonderzoeken
- R&R-onderzoeken voor meetsystemen

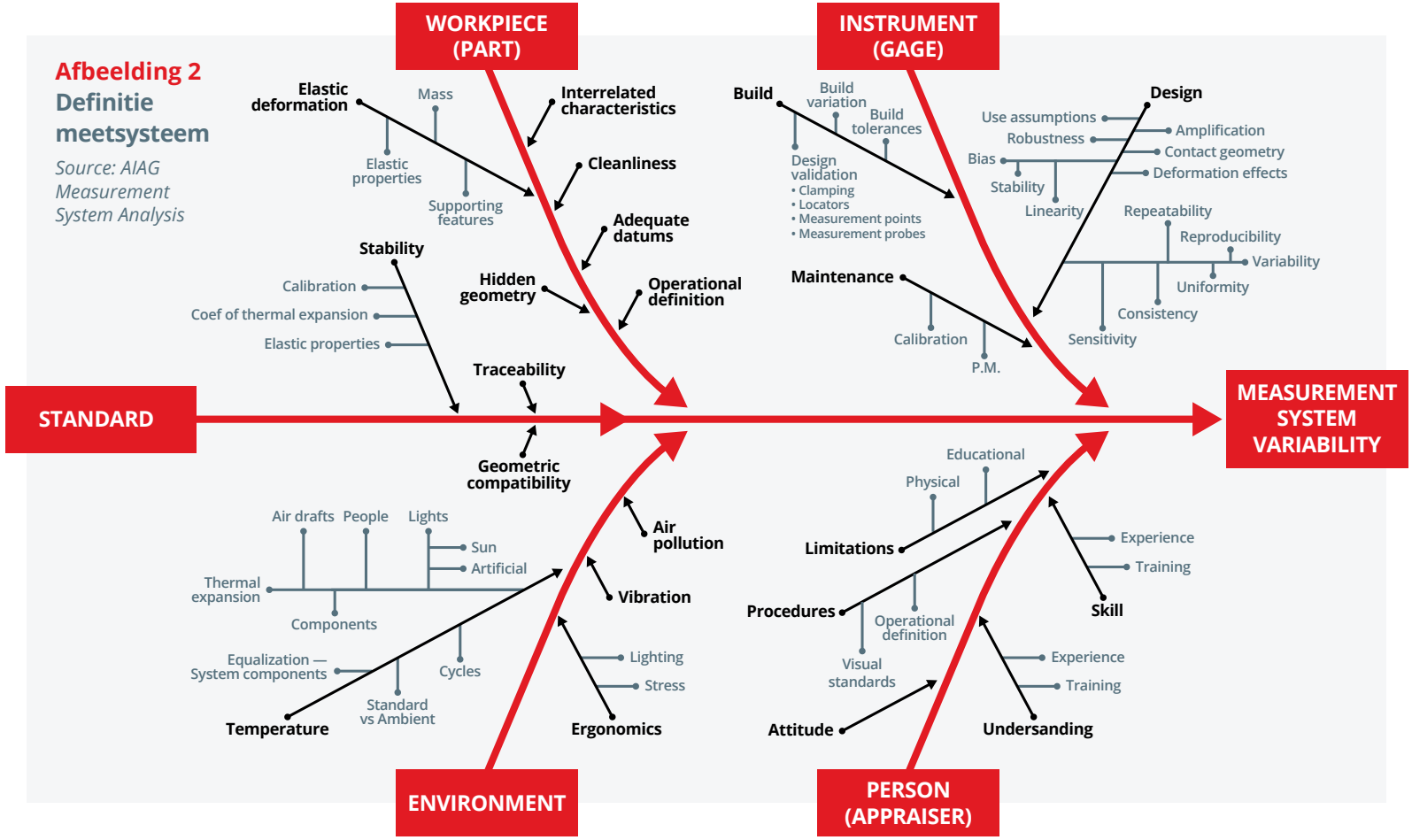
Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Definitie meetsysteem

Voordat de prestatie van het meetsysteem wordt bepaald, is het van cruciaal belang om alle potentiële bronnen van variatie te identificeren die het meetproces van een belangrijk kenmerk kunnen beïnvloeden. De Automotive Industry Action Group (AIAG) stelt dat het meetsysteem is samengesteld uit "*de verzameling van instrumenten of meters, normen, operaties, methoden, opspanningen, software, personeel, omgeving en aannames die worden gebruikt om een meeteenheid te kwantificeren of een beoordeling vast te stellen voor het kenmerk dat wordt gemeten; het volledige proces dat wordt gebruikt om metingen te verkrijgen.*" De MSA moet al deze factoren in overweging nemen, zoals weergegeven in afbeelding 2, omdat ze de algehele onzekerheid van het meetsysteem beïnvloeden.

Afbeelding 2
Definitie meetsysteem
Source: AIAG Measurement System Analysis



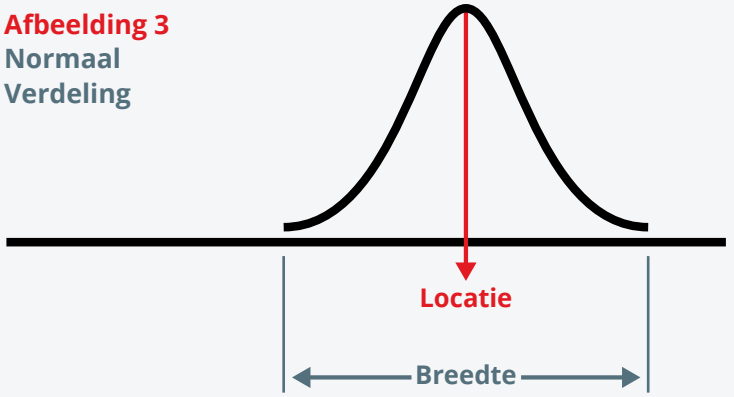
Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering
Begrijpen van belangrijke parameters
Definitie meetsysteem
Prestatie-indexen meetsysteem
• Systematische onzekerheid
• Willekeurige onzekerheid
Capaciteit en prestatie meetsysteem
Uitgebreide onzekerheid
De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren
MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware
Herhaalbaarheidsonderzoeken
R&R-onderzoeken voor meetsystemen
Aanbevelingen voor metrologen
Conclusie

Prestatie-indexen meetsysteem

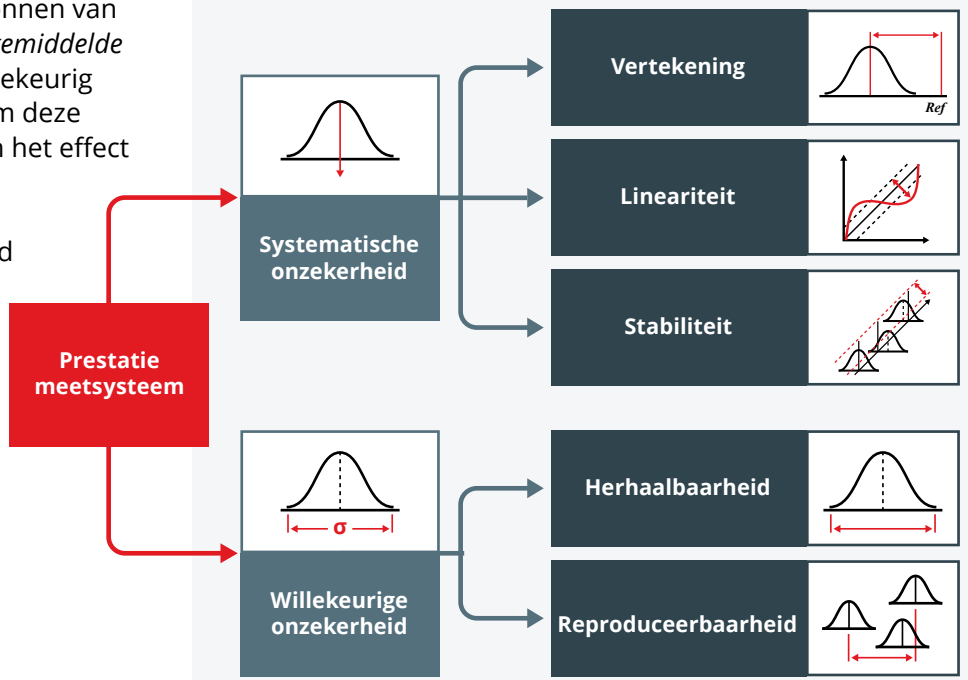
De prestatie van een meetsysteem wordt bepaald met behulp van indexen die de meetonzekerheid categoriseren en kwantificeren. Door gegevens over het proces te verzamelen, kan de metroloog de totale meetvariabiliteit kwantificeren door een specifiek gedrag dat ermee samenhangt te bepalen. Meestal wordt dit gedrag beschreven als een willekeurige variabele (RV, random variable) met een Normaal Verdeling (normaal). Afbeelding 3 illustreert dit concept, waarbij de zwarte curve de verzamelde gegevens vertegenwoordigt, d.w.z. de gemeten waarden afkomstig van het meetproces, en de distributie gedefinieerd door de locatie (*gemiddelde*) en breedteparameters (*standaarddeviatie*).

De meerdere factoren die van invloed zijn op het meetproces vertegenwoordigen meerdere bronnen van onzekerheid die ofwel systematisch zijn (bijv. *gemiddelde meetwaarde versus werkelijke waarde*) ofwel willekeurig (bijv. *spreiding van metingen*). Het is mogelijk om deze onzekerheden te categoriseren afhankelijk van het effect dat ze hebben op de geïdentificeerde verdelingsparameters. Zoals aangegeven in afbeelding 4, omvat systematische onzekerheid vertekening, lineariteit en stabiliteit, terwijl willekeurige onzekerheid herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid omvat. Elke categorie is duidelijk te herkennen aan het unieke distributiepatroon.

Afbeelding 3
Normaal Verdeling



Afbeelding 4
Prestatie-indexen



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters
- Definitie meetsysteem
- Prestatie-indexen meetsysteem
  - Systematische onzekerheid
  - Willekeurige onzekerheid
- Capaciteit en prestatie meetsysteem
- Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

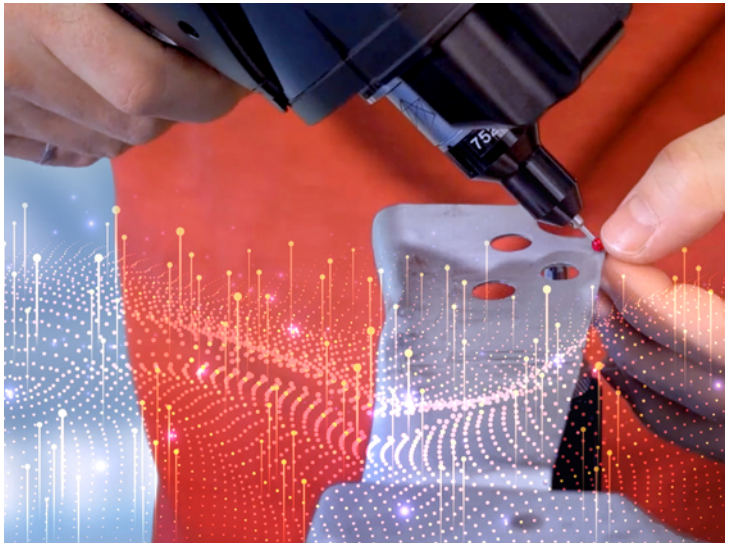
MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware
- Herhaalbaarheidsonderzoeken
- R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

• Systematische onzekerheid

Systematische onzekerheid is de meetonzekerheid die sterk samenhangt met de positie van de normale verdeling ten opzichte van een bekende referentie. Wiskundig beïnvloedt het de gemiddelde waarde van de gemeten gegevens. De gebruikelijke term hiervoor is *nauwkeurigheidsfout*. Nauwkeurigheidsfout vertegenwoordigt de nauwkeurigheid tussen het gemiddelde van een of meer meetresultaten en een referentiewaarde. Nauwkeurigheidsfouten zijn over het algemeen reproduceerbaar en zijn vaak te wijten aan problemen die kunnen worden gekwantificeerd en gecorrigeerd. De drie soorten systematische onzekerheid zijn vertekening, lineariteit en stabiliteit, waarbij vertekening de meest voorkomende is. *Vertekening* vertegenwoordigt de afstand tussen het gemiddelde van een of meer meetresultaten ($\bar{x}$) en een referentiewaarde (***Ref***). Wiskundig gezien wordt de vertekening geschat door het verschil tussen de werkelijke waarde (***Ref*** waarde) en het waargenomen gemiddelde van metingen op hetzelfde kenmerk op hetzelfde onderdeel. *Lineariteit* daarentegen geeft aan hoe goed de gegevens die zijn verzameld over het meetbereik van een instrument overeenkomen met de referentiewaarde. Het is het verschil in vertekening over het gehele beoogde meetbereik van de apparatuur. *Lineariteit* vertegenwoordigt de verandering in vertekening van het ene uiterste van het meetbereik naar het andere. Het laatste systematische onzekerheidstype is *stabiliteit*. Dit vertegenwoordigt het vermogen van een meetsysteem om zijn metrologische capaciteit in de loop van de tijd te behouden. Stabiliteit beschrijft de variatie van de vertekening in de tijd, meestal de tijd tussen twee systeemkalibraties.



• Willekeurige onzekerheid

De resterende bron van meetonzekerheid is willekeurige onzekerheid, gewoonlijk precisiefout genoemd. Precisiefout vertegenwoordigt de statistische fluctuaties in de gemeten gegevens als gevolg van de beperkingen van het meetsysteem. De precisiefout beschrijft de verwachte variatie van herhaalde metingen over het meetbereik. De twee soorten willekeurige onzekerheid zijn herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid. *Herhaalbaarheid* vertegenwoordigt de breedte van de spreiding van metingen die zijn verkregen onder een reeks zeer gecontroleerde omstandigheden. Dit beschrijft het vermogen van het systeem om dezelfde meting te krijgen, met dezelfde apparatuur, hetzelfde onderdeel, dezelfde sjabloon en dezelfde omgevingsomstandigheden. Een smalle distributie duidt op een meer herhaalbare meting. *Reproduceerbaarheid* beschrijft de variatie tussen metingen door verschillende operators, met dezelfde apparatuur en onder dezelfde omstandigheden. Wiskundig gezien is dit de variatie in het gemiddelde van de metingen die door elk van de operators zijn gedaan.

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

· Systematische onzekerheid

· Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Het vermogen van een meetsysteem ($\sigma_{vermogen}$), ook wel de totale *standaardonzekerheid* genoemd, is de combinatie van alle systematische en willekeurige onzekerheden. Het kwantificeert de twijfel die gepaard gaat met een meting onder bekende omstandigheden en wordt gebruikt om de totale onzekerheid van het meetsysteem over een korte periode te identificeren. Het vermogen kan worden berekend met behulp van de formule:

$$\sigma_{vermogen}^2 = \sigma_{Vertekening\ (lineariteit)}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

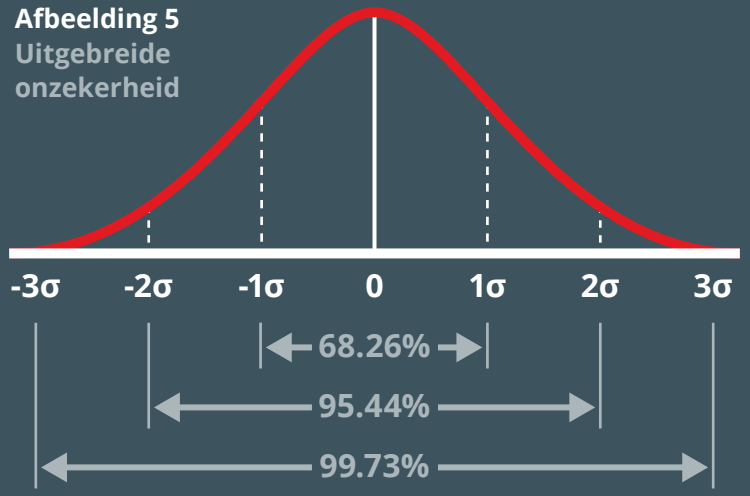
Prestaties daarentegen houden niet alleen rekening met de bronnen van systemische en willekeurige variaties, maar ook met de bronnen van drift die zich in de loop van de tijd voordoen. Deze worden berekend met de formule:

$$\sigma_{prestaties}^2 = \sigma_{vermogen}^2 + \sigma_{stabiliteit}^2$$

Uitgebreide onzekerheid

De laatste stap van het Measurement System Analysis proces bepaalt de *uitgebreide onzekerheid* (U) die is gekoppeld aan het meetsysteem. Uitgebreide onzekerheid vertegenwoordigt de totale waarde voor meetonzekerheid die, binnen een specifiek betrouwbaarheidsniveau, het bereik beschrijft dat naar verwachting het werkelijke meetresultaat bevat dat door een systeem wordt verkregen. Het kan worden uitgedrukt als: $U = \pm K\sigma_{tot}$ waar U de uitgebreide onzekerheid is, K de dekkingsfactor die het gebied onder de normale curve vertegenwoordigt voor een gewenst betrouwbaarheidsniveau (bijv. $K = 3$ voor een betrouwbaarheidsniveau van 99,73%) en σ_{tot} de totale standaardonzekerheid van het meetsysteem dat gewoonlijk overeenkomt met zijn prestatie. De meest gebruikte betrouwbaarheidsfactoren tijdens de analyse van het meetsysteem staan in onderstaande afbeelding.

Afbeelding 5
Uitgebreide onzekerheid



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

Om de meetonzekerheid van een systeem te evalueren, moet eerst het meetmodel worden gedefinieerd. Dit model is een wiskundige weergave van de relatie tussen de outputhoeveelheid van het meetsysteem en de inputhoeveelheden waarvan bekend is dat ze betrokken zijn bij het meetproces. Er zijn twee soorten metingen: direct en indirect, en dit heeft invloed op de manier waarop het model wordt gedefinieerd. Directe meting is wanneer een meetapparaat direct de outputhoeveelheid levert. Een uitwendige diameter (Y) wordt bijvoorbeeld gemeten met een micrometer, die direct de fysieke waarde X geeft. In dit geval wordt het meetmodel (d.w.z. functie) geïdentificeerd als $Y=X$. De meeste 3D-meetapparaten voeren echter indirecte metingen uit. Ze kunnen de waarde (Y) niet direct leveren, maar beschouwen eerder een functie van verschillende (n) fysieke waarden (X_i), $Y=f(X_1,...,(X_n)$. Een draagbare CMM gebruikt bijvoorbeeld de positie en oriëntatie van meerdere encoders om een specifieke output te verkrijgen. Deze fysieke waarden, in dit voorbeeld de positie en oriëntatie van de encoders die worden gebruikt om de outputhoeveelheid te berekenen, worden allemaal beïnvloed door een specifieke meetonzekerheid (u_{xi}). Daarom is het meetresultaat dat door de arm (Y) wordt gegeven, afhankelijk van de reeks waarden (X_i) en de bijbehorende onzekerheden (u_{xi}) die voor de schatting worden gebruikt. Uiteindelijk heeft de gemeten waarde (Y) ook een totale onzekerheid (u_y).

Als het model dat het meetsysteem representeert expliciet wordt geformuleerd, kan het worden gebruikt om de onzekerheden van de invoerhoeveelheden naar de uitvoerhoeveelheden te propageren met behulp van twee strategieën: een Taylor-reeks of een Monte Carlo-simulatie. Deze strategieën komen uitgebreid aan bod in publicaties zoals de Gids voor het uitdrukken van onzekerheid in meten *(GUM)*[1]. Aan de andere kant: **als het model te complex is om expliciet te formuleren of wanneer parameters onbekend zijn, moet een experimentele strategie worden gebruikt**. Door de outputhoeveelheid te analyseren met behulp van statistische hulpmiddelen, is het mogelijk om de totale onzekerheid van het meetsysteem in te schatten. In een situatie waarin een metroloog bijvoorbeeld een draagbare CMM met scanner gebruikt om een oppervlakteprofiel te meten, is de meetfunctie veel complexer om te identificeren. In dit geval moet experimentele analyse worden gebruikt. Omdat het direct op de meetresultaten wordt gedaan, hoeft de metroloog niet het volledige meetsysteem op te splitsen, waardoor het eenvoudiger, rechtlijniger en begrijpelijker wordt.

[1] Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008) gepubliceerd door het Bureau International des Poids et Mesures

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Om een experimentele analyse uit te voeren om de uitgebreide onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te bepalen, moet eerst een herhaalbaarheidsonderzoek worden uitgevoerd, gevolgd door een volledig R&R-onderzoek van het meetsysteem. Door gegevens te verzamelen over de meetresultaten van het systeem met behulp van verschillende opstellingen en testen, kan de metroloog de totale variatie schatten met behulp van de eerder beschreven prestatie-indexen. Deze onderzoeken zijn echter traditioneel complex om uit te voeren en vereisen uitgebreide kennis van statistiek om de juiste resultaten te verkrijgen.

Figure 6
PolyWorks MSA werkbalk



PolyWorks® biedt een slimme 3D-meetsoftwareoplossing met geïntegreerde MSA voor het uitvoeren van onderzoeken van complexe 3D-meetsystemen binnen een volledig digitaal proces. Hiermee kunnen gebruikers:

1. De belangrijkste kenmerken specificeren die vereist zijn door het controleplan;
2. Het onderzoek aanmaken door een type te selecteren en de belangrijkste parameters te definiëren, die essentieel zijn voor kwaliteitscontrole en traceerbaarheid;
3. Het onderzoek uitvoeren door gegevensacquisitie uit te voeren voor alle configuraties van 3D-meetapparatuur en meetcontexten, binnen slechts één universeel softwareplatform;
4. Informatierijke rapporten produceren die rechtstreeks in Microsoft Excel worden gepubliceerd met voorgeformatteerde spreadsheets die zijn gekoppeld aan slimme 3D-inspectiegegevens; en
5. Geavanceerde analyses uitvoeren in Excel zonder de noodzaak van geavanceerde expertise in statistische softwaretoepassingen.

Van het opzetten van de onderzoeken tot de meetacquisitie en de automatisch gegenereerde resultaten, zoals indexen en grafieken, zorgt de PolyWorks MSA-oplossing ervoor dat alle berekeningen worden uitgevoerd binnen één software-ecosysteem en de volledig digitale keten zorgt voor gegevensintegriteit en betrouwbare resultaten.

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Beide herhaalbaarheidsonderzoeken zijn mogelijk met de MSA-oplossing van PolyWorks:

1 - De metroloog wordt stap voor stap begeleid in de noodzakelijke stappen van het onderzoek met het aanmaken van een inspectieproject dat compleet is met alle vereiste metingen, hun kenmerken, controles en outputstatistieken, evenals het aantal te meten stukken, wat voor een robuuste meetsjabloon zorgt.

2 - Vervolgens worden operators tijdens de meetacquisitie begeleid met instructies op het scherm en 3D-weergaven.

3 - Zodra het meetacquisitieproces is voltooid, worden de inspectieresultaten automatisch gepubliceerd in vooraf opgemaakte Excel-spreadsheets die dynamisch zijn gekoppeld aan de 3D-inspectiegegevens van het inspectieproject.

4 - De voorgeformatteerde spreadsheets bieden de metroloog automatisch berekende en analyseklare apparatuurvariaties, d.w.z. herhaalbaarheid, prestatie-indexen en grafieken.

5 - Om deze analyse te voltooien en het meetproces snel te optimaliseren, kan de metroloog de meetparameters in het inspectieproject aanpassen en hun directe invloed op de variatie in de apparatuur zien, waarbij PolyWorks automatisch de spreadsheetindex en grafiekwaarden bijwerkt.

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Hoewel herhaalbaarheidsonderzoeken het mogelijk maken de variatie in meetsysteemapparatuur te analyseren en te optimaliseren, zijn herhaalbaarheids- en reproduceerbaarheidsonderzoeken van meetinstrumenten, of R&R-onderzoeken van meetsystemen, vereist om de definitieve validatie van een meetsysteem te voltooien.

R&R-onderzoeken van meetsystemen worden meestal uitgevoerd na herhaalbaarheidsonderzoeken omdat er meer middelen, onderdelen en kosten voor nodig zijn. Door eerst een herhaalbaarheidsonderzoek uit te voeren, kan de metroloog de variatie in de apparatuur corrigeren voordat hij de reproduceerbaarheid ervan analyseert en corrigeert. Er bestaan verschillende geaccepteerde empirische methoden om de onzekerheid van de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van meetsystemen te schatten. De twee meest gebruikte methoden zijn de *Average and Range Method* (X-bar R) en de *Analysis of Variance*- (ANOVA-) methode. In beide gevallen volgt het verzamelen van gegevens strikte regels om geloofwaardige resultaten te garanderen:

- **Aantal operators:** er zijn minimaal 3 operators nodig en zij moeten het meetsysteem gebruiken in een productiecontext.
- **Aantal onderdelen:** er moeten minimaal 2 onderdelen worden geselecteerd, representatief voor de variaties die in het productieproces worden gevonden. Indien mogelijk zou het voorkeursaantal 10 zijn; hoe groter het aantal onderdelen, hoe beter de schatting van het procesgedrag.
- **Aantal herhalingen:** elke operator moet alle onderdelen meer dan één keer meten. Gewoonlijk worden twee of drie herhalingen uitgevoerd.
- **Willekeurige volgorde voor metingen:** om ervoor te zorgen dat de meetvolgorde de resultaten niet beïnvloedt, moet elke operator onderdelen in een willekeurige volgorde meten.

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Herhaalbaarheidsonderzoeken



De eerste stap bij het uitvoeren van een meetsysteemanalyse is een herhaalbaarheidsonderzoek. Hiermee wordt de variabiliteit van meetsystemen (variatie van apparatuur) beoordeeld wanneer deze wordt beïnvloed door een minimum aantal bronnen van variatie. Het wordt gebruikt tijdens de eerste evaluatie van een meetsysteem om snel verschillende systeemconfiguraties te vergelijken, zoals de klemlocaties van de opspanning of de parameters van de metrologische hardware.

Een herhaalbaarheidsonderzoek wordt uitgevoerd door:

1 - Het in een opspanning plaatsen van een onderdeel (indien van toepassing)

2 - Het meten van het onderdeel met een 3D-meetapparaat

3 - Het uit de opspanning verwijderen van het onderdeel en

4 - Herhalen van stappen één tot en met drie, iedere keer met hetzelfde onderdeel, opspanning en meetapparaat

Met behulp van het controleplan identificeert de metroloog de belangrijkste kenmerken waarop statistische analyse moet worden uitgevoerd. Het onderdeel wordt minimaal 10 keer gemeten, maar meestal minstens 30 keer, om een goede schatting van de variatie in de apparatuur te krijgen. Dit type onderzoek wordt meestal uitgevoerd door een senior metroloog die over de nodige ervaring beschikt om problemen in het meetproces snel op te sporen en eenvoudig op te lossen.

Er zijn twee soorten herhaalbaarheidsonderzoeken:

Meetonderzoek Type 1[2] :

- Beoordeelt het effect van vertekening en herhaalbaarheid op meting
- Vereist een gecertificeerde referentie van bekende afmetingen
- Geeft als output twee statistieken: Cg en Cgk
- Geldt wanneer een gecertificeerde referentie beschikbaar is en de stabiliteit van het meetsysteem geen probleem is

R-onderzoek meetapparaat[3] :

- Beoordeelt de herhaalbaarheid en stabiliteit van het meetsysteem
- Vereist geen gecertificeerde referentie
- Gebruikt de I-MR-kaart als basis voor de evaluatie van variatie en stabiliteit

Het belangrijkste verschil tussen beide is dat het Type 1-onderzoek een gecertificeerde referentie nodig heeft om een mogelijke vertekening te helpen identificeren en niet de stabiliteit van het meetsysteem beoordeelt.

[2] Measurement System Analysis Requirements for the Aero Engine Supply Chain (AS13003) gepubliceerd door SAE International.

[3] Measurement System Analysis (MSA) gepubliceerd door de Automotive Industry Action Group (AIAG).

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Met de MSA-oplossing van PolyWorks kunnen gebruikers een compleet R&R-onderzoek van het meetsysteem aanmaken en uitvoeren met behulp van deze twee standaardmethoden:

1 - De metroloog selecteert snel de analysemethode en specificeert parameters zoals het aantal operators, herhalingen en onderdelen.

2 - Vervolgens maakt PolyWorks het inspectieproject met alle benodigde onderdelen in een specifieke runvolgorde aan.

3 - Hierna wordt automatisch een werkblad met de runvolgorde geëxporteerd naar een Excel-spreadsheet, die de operators begeleidt tijdens het proces voor het verzamelen van metingen, waardoor een willekeurige meetvolgorde wordt gegarandeerd.

4 - Een werkbalk leidt de operators door het inspectieproces en zorgt ervoor dat alle belangrijke kenmerken worden gemeten en dat er voldoende getaste en gescande gegevens worden verkregen om betrouwbare meetextracties te verkrijgen.

5 - Na voltooiing van de meting gebruikt de metroloog het inspectieproject om de variabiliteit van het meetsysteem in te schatten.

Het belangrijkste verschil tussen de X-bar R- en ANOVA-methodologieën ligt in de analyse van de resultaten. De X-bar R-methode maakt het mogelijk om herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid te kwantificeren met behulp van controlekaartberekeningen. De gids "Measurement System Analysis" van de AIAG presenteert de methodologie in detail. R&R van het meetsysteem met de ANOVA-methodologie biedt meer informatie en is daarom uitgebreider.

Variantieanalyse (ANOVA) is een statistische analyse die de bronnen van variaties in een meetsysteem als volgt opsplitst:

- **Herhaalbaarheid:** afwijking van het meetsysteem die niet is toe te schrijven aan andere bronnen van variatie.
- **Operator:** *variatie tussen operators.*
- **Interactie** onderdeel/operator: variatie als gevolg van de interactie tussen operators en onderdelen (wanneer een operator verschillende onderdelen verschillend meet).
- **Van onderdeel tot onderdeel:** variatie vanuit de onderdelen binnen het onderzoek. Vertegenwoordigt de variatie in het productieproces.

Ongeacht de gebruikte methode worden de bronnen van variatie als statistisch onafhankelijk beschouwd. Daarom worden ze willekeurig samengesteld (som van varianties) om de totale onzekerheid uit te drukken.

Ten eerste bepaalt de methodologie of de variatie als gevolg van de interactie tussen onderdelen en operators significant is. Als dit het geval is, moet dit als volgt worden beschouwd in de totale reproduceerbaarheid van het systeem ($\sigma_{reproduceerbaarheid}$):

$$\sigma_{reproduceerbaarheid}^2 = \sigma_{operator}^2 + \sigma_{interactie}^2$$

Omdat herhaalbaarheid ($\sigma_{herhaalbaarheid}$) direct tijdens het onderzoek is geïdentificeerd, is het mogelijk om de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid ($\sigma_{R\&R}$) van het meetsysteem als volgt te bepalen:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reproduceerbaarheid}^2 + \sigma_{herhaalbaarheid}^2$$

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Ten slotte wordt de totale gemeten procesvariatie (σ_{totaal}) verkregen door de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van het meetsysteem als volgt toe te voegen aan de geschatte fabricageprocesvariatie ($\sigma_{van\ onderdeel\ tot\ onderdeel}$):

$$\sigma_{totaal}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{van\ onderdeel\ tot\ onderdeel}^2$$

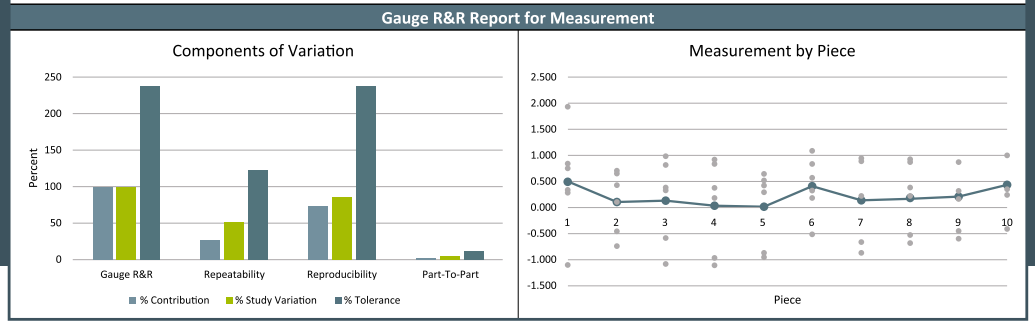
De analyse van de onderzoeksresultaten bestaat uit:

- Waarborgen dat de meetsysteemonzekerheid ($\sigma_{R\&R}$) een kleine bijdrage levert aan de totale gemeten procesvariatie. De geschatte variatie in het productieproces (van onderdeel tot onderdeel) zou het grootste deel van de variabiliteit moeten verklaren. Wanneer de bijdrage van de variatie tussen onderdelen relatief groter is dan de rest van de onzekerheid, betekent dit dat het meetsysteem fabricagefouten betrouwbaar kan onderscheiden.
- De variatie van het meetsysteem vergelijken met de specificatielimieten (toleranties) om ervoor te zorgen dat de variatie maximaal 30% van de limieten vertegenwoordigt.

De publicatiestap van de MSA-oplossing van PolyWorks zet de MSA-onderzoeksgegevens om in interpreteerbare resultaten en bruikbare gegevens door middel van gemakkelijk leesbare tabellen, samenvattingen en grafieken, zoals weergegeven in Afbeelding 7. Dit is een krachtig en belangrijk onderdeel van het digitale onderzoeksproces, omdat het de interpretatie en probleemoplossing van onderzoeksresultaten aanzienlijk vergemakkelijkt. Gebruikers kunnen hiermee resultaten publiceren naar de geselecteerde X-Bar R- of ANOVA-Excel-sjabloon en snel de meetfout en andere bronnen van variabiliteit analyseren. Bij het uitvoeren van een ANOVA-onderzoek kan de metroloog bijvoorbeeld de variantie onderverdelen in vier categorieën: onderdelen, beoordelaars, interactie tussen onderdelen en beoordelaars en replicatiefout als gevolg van de meter.

Gauge Repeatability and Reproducibility Report

Sources of Variation	Standard Deviation (SD)	Expanded Std Deviation (Study Variation * SD)	% Study Variation (% SV)	% Tolerance (SV/Tolerance)
1. Total Gauge R&R	0.7934	4.7602	99.87	238.01
1.1 Repeatability	0.4101	2.4608	51.63	123.04
1.2 Reproducibility	0.6791	4.0748	85.49	203.74
1.2.1 Operator	0.6791	4.0748	85.49	203.74
1.2.2 Part/Operator	n/a	n/a	n/a	n/a
2. Part-To-Part	0.0412	0.2472	5.19	12.36
Total Variation	0.7944	4.7666	100.00	238.33
Number of Distinct Categories =	1			



Afbeelding 7
R&R-onderzoek meetsysteem



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

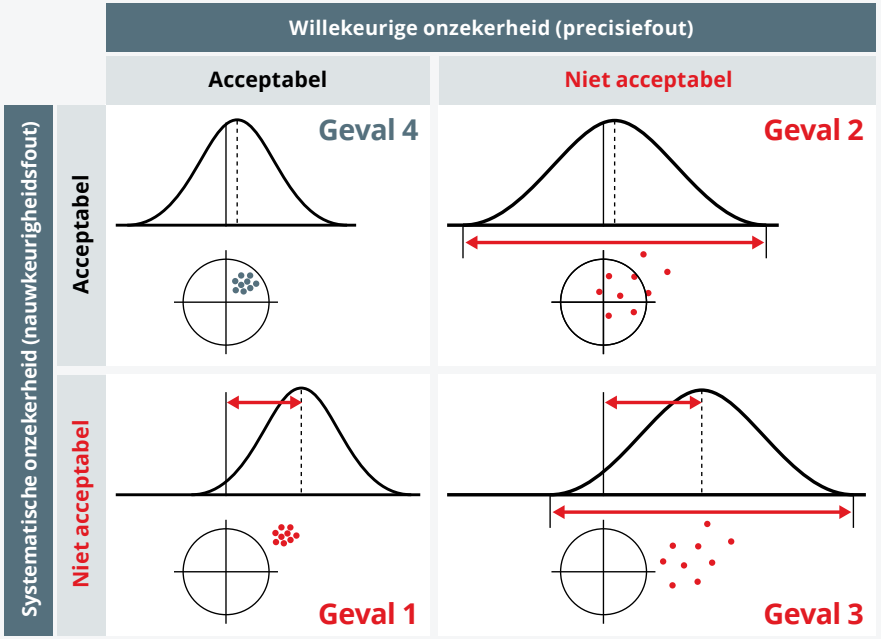
R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie

Aanbevelingen voor metrologen

De verzamelde gegevens over de meetresultaten van het systeem geven feedback over het effect van meetonzekerheden. Met behulp van de prestatie-indexen zoals vermeld op pagina 5 kan de metroloog corrigerende maatregelen nemen om het meetproces te optimaliseren. Laten we een concreet voorbeeld gebruiken: een doel- en spreidingsplot van foutwaarden, zoals geïllustreerd in Afbeelding 8.



Afbeelding 8 Fouten in nauwkeurigheid en precisie

Het eerste probleem (geval 1) dat een metroloog kan identificeren, is of er een nauwkeurigheidsfout is – dit kan komen door de vertekening op de lineariteit van het systeem, maar in beide gevallen kan deze fout gemakkelijk worden gecorrigeerd. De mogelijke oorzaken van een nauwkeurigheidsfout kunnen zijn:

- Het meetapparaat moet worden gekalibreerd
- Een versleten apparaat, uitrusting of opspanning
- Een fout in de in het analyseproces gebruikte referentie
- De meetmethode (bijv. de klemtechniek)

Het tweede probleem waarmee een metroloog te maken kan krijgen, is wanneer er een precisiefout is (geval 2). Dit kan te maken hebben met het meetsysteem zelf (herhaalbaarheid) of veroorzaakt worden door de operators (reproduceerbaarheid).

Mogelijke oorzaken van precisiefout kunnen zijn[4]:

- Onderdeelgerelateerd: vorm, positie, oppervlakteafwerking, tapsheid, monsterconsistentie
- Instrumentgerelateerd: reparatie, slijtage, defect aan apparatuur of opspanning, slechte kwaliteit of onderhoud
- Methodiekgerelateerd: variatie in opstelling, techniek, vasthouden, klemmen
- Operatorgerelateerd: techniek, positie, gebrek aan ervaring, manipulatievaardigheid of training, zich vermoeid voelen

Als alle bronnen van fouten aanwezig zijn (geval 3), moet de metroloog de prestaties van het meetsysteem uitsplitsen met behulp van de indexen en één type fout tegelijk corrigeren om het meetsysteem acceptabel te maken (geval 4).

[4] Measurement System Analysis (MSA) gepubliceerd door de Automotive Industry Action Group (AIAG)

Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering
Begrijpen van belangrijke parameters
Definitie meetsysteem
Prestatie-indexen meetsysteem
• Systematische onzekerheid
• Willekeurige onzekerheid
Capaciteit en prestatie meetsysteem
Uitgebreide onzekerheid
De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren
MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware
Herhaalbaarheidsonderzoeken
R&R-onderzoeken voor meetsystemen
Aanbevelingen voor metrologen
Conclusie

Conclusie

Een effectief analyseproces van het meetsysteem zorgt ervoor dat u betrouwbare 3D-metingen verzamelt. Tegenwoordig is het niet meer nodig om te lijden onder verouderde, complexe processen die meerdere softwareoplossingen van derden en geavanceerde expertise in statistische softwaretoepassingen vereisen.

De slimme 3D-oplossing voor metrologiesoftware van PolyWorks® met MSA vereenvoudigt de opzet en uitvoering van MSA-onderzoeken voor omgevingen met 3D-meetapparatuur aanzienlijk en biedt een betrouwbare analyse van variaties in meetsystemen. Het pakket biedt een gebruiksvriendelijke, volledig digitale workflow die de integriteit van meetgegevens garandeert en fabrikanten in staat stelt om vol vertrouwen MSA-onderzoeken uit te voeren voor elk nieuw onderdeel, wat een betere kwaliteitscontrole oplevert.

Laurent Émond-Girard, P.Eng., M.A.Sc.
Engineer productieprocessen, InnovMetric

polyworks europa

Voor meer informatie

Neem contact met ons op: +31 (40) 3020015 | info@polyworkseuropa.com

Bezoek onze website: polyworks.com

© 2022 InnovMetric Software Inc. Alle rechten voorbehouden.

WP-MSA-LTNL-PWEU-0.0



Betrouwbare 3D-metingen verzamelen| De slimme 3D-metrologie-benadering

Begrijpen van belangrijke parameters

Definitie meetsysteem

Prestatie-indexen meetsysteem

- Systematische onzekerheid
- Willekeurige onzekerheid

Capaciteit en prestatie meetsysteem

Uitgebreide onzekerheid

De juiste methode kiezen om de onzekerheid van complexe 3D-meetsystemen te evalueren

MSA-onderzoeken uitvoeren met behulp van de experimentele methodologie en slimme 3D-metrologiesoftware

Herhaalbaarheidsonderzoeken

R&R-onderzoeken voor meetsystemen

Aanbevelingen voor metrologen

Conclusie