

21.8.2018

Uudet ISO-toleranssistandardit ja niiden vaikutus tuotannon digitalisaatioon

1. Johdanto

Standardin ISO 1101 [1] neljäs painos julkaistiin 2017 usean vuoden kehitystyön jälkeen. Uusi painos kumoo samalla kaikki standardin aiemmat painokset. ISO 1101 käsittelee *muodon, suunnan, sijainnin ja heiton geometrisia toleransseja* ja se on yksi tärkeimmistä ISO:n toleranssistandardeista.

Suunnittelijat ovat käyttäneet standardia ISO 1101 teknisissä piirustuksissa jo lähes 50 vuotta. ISO 1011 on implementoitu suurimpaan osaan CAD-järjestelmistä, joilla laaditaan geometrisia toleransseja sisältävää 2D- ja 3D-tuotedokumentaatiota. Tästä johtuen kaikilla standardiin ISO 1011 tehtävillä muutoksilla on suuri vaikutus valmistavassa teollisuudessa.

Standardissa ISO 1101:2017 on kokonaan uusittu rakenne. Siinä määritellään selkeitä, matemaattisesti perusteltuja sääntöjä. Edellisissä painoksissa sääntöjen kuvaamiseen käytettiin lähinnä pelkkiä esimerkkipiirroksia ja kuvailevaa tekstiä. Uudessa painoksessa esitellään myös useita kokonaan uusia tunnuksia, jotka kehittävät GPS-tolerointikieltä huomattavasti.

ISO 1101 kuuluu ISO:n teknisen komitean ISO/TC 213 laatimiin dimensionaalista ja geometrsta tuotemäärittelyä koskeviin standardeihin. Tätä standardikokonaisuutta kutsutaan *ISO GPS -järjestelmäksi* (GPS = *Geometrical Product Specifications*). Jotkin GPS-standardeista käsittelevät peruskonsepteja, joita tarvitsevat lähinnä GPS-standardien laatijat ja mittausohjelmistojen valmistajat. Näitä voisi kutsua *kehittäjästandardeiksi*. Kehittäjästandardien lisäksi on GPS-standardeja, joissa määritellään piirrostunnuksia ja niiden merkityksiä. Suunnittelijat ja valmistajat voivat käyttää näitä merkintöjä soveltaessaan GPS-järjestelmää 2D- ja 3D-tuotedokumenteissa. Näitä standardeja voisi kutsua *käyttäjästandardeiksi*.

Esimerkiksi standardi ISO 17450-1:2011 [2] määrittelee ISO GPS-järjestelmän peruskonseptit ja matemaattisen perustan. Peruskonsepteja käytetään muiden GPS-standardien kehitystyössä ja siitä syystä ISO 17450-1 on kehittäjästandardi. Standardissa ISO 14405-1:2016 [3] taas kuvataan erilaisia pituusmittatoleranssien tyyppejä. Tätä standardia suunnittelija käyttää mittatoleranssien merkintään tuotedokumentaatioissa, ja siksi se on käyttäjästandardi.

Tuotannon digitalisaatio on ollut viime aikoina tärkeä ajuri GPS-symbolikielen kehittämässä ja laajentamisessa. Tuotannon digitalisaatiota kutsutaan eri yhteyksissä nimillä "Smart Manufacturing", "Cyber-Manufacturing", "Cyber-Physical Production Systems" ja "Industrie 4.0". Perinteisten käsimitausvälineiden rinnalle tulneiden koordinaattimitausjärjestelmien (CMS) ja muiden kehittyneiden mittausmenetelmien yleistymisen on luonut tarpeen tukea digitaalisia teknologioita ISO-tason standardisoinnilla. Toisin sanoen ISO GPS-standardien on oltava "CMS-ystävällisiä" eikä pelkästään "tulkkausystävällisiä". Tämä edellyttää selkeämpää matemaattista perustaa GPS-järjestelmältä.

Toinen tärkeä ajuri GPS-kielen kehittämiseen on teollisuuden tarve työkaluille, joilla toiminnallinen vaatimus voidaan esittää tavoilla, jotka eivät aiemmin olleet mahdollisia. Esimerkiksi perinteinen huippu-laaksotyypinen tasomaisuustoleranssi ei välttämättä ole riittävä toiminnallisuuden kuvaamiseen: graniittisen pöytäpinnan suunnittelija voi sallia tietyn määrän kuoppia tai halkeamia materiaalissa, mutta mitään materiaalista ulospäin olevia piikkejä ei sallita. Optisen pinnan suunnittelija voi puolestaan haluta rajoittaa neliöllisenä keskiarvona pinnan poikkeamaa täydellisestä tasosta väljemmän huippu-laaksotoleranssin lisäksi.

Ennen GPS-standardeja teollisuuden piti käsitellä edellä kuvattuja tilanteita joko silloisilla työkaluilla

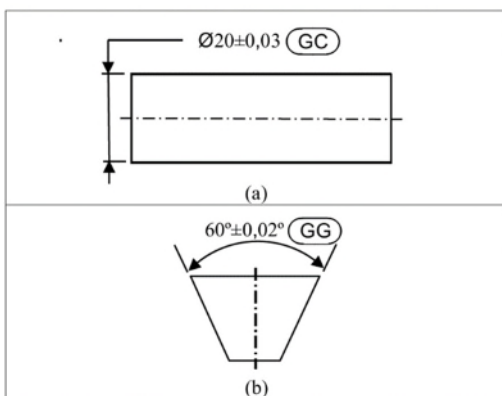
tai tekemällä piirustuksiin sanallisia kuvauksia toiminnallisen vaatimuksen selittämiseksi. Ongelmana rajallisella työkaluvalikoimalla on tarpeeton vaatimustason nousu, joka taas johtaa kustannusten kasvuun. Kirjalliset merkinnät saattavat olla monitulkintaisia (johtuen mm. kielimuurista), vaikka ne olisi laatinut kokenut asiantuntija. Standardien laatijat taas käyvät monia iteraatiokierroksi kehittäessään symboleita ja määritelmä, joiden avulla vaatimus voidaan esittää yksiselitteisesti.

Tämän artikkelin tarkoituksena on esittää lyhyt katsaus viime aikoina julkaistuihin käyttäjästandardeihin ja tutkia niiden vaikutusta tuotannon digitalisaatioon. Ensin käsitellään pituus- ja kulmamittoja, joita voidaan nyt määrittellä useilla tavoilla käyttämällä erityisiä muuttajamerkintöjä.

2. Mitalliset elementit

Mitalliseen elementtiin liittyvä mitta on erittäin yleinen suunnittelukonsepti ja siihen on kiinnitetty erityistä huomiota teknisessä komiteassa ISO/TC 213. Mittatolerointia koskee kaksi viimeaikaista GPS-standardia; toinen koskee *pituuksmittoja* (ISO 14405-1:2016) ja toinen *kulmamittoja* (ISO 14405-3:2016 [4]).

Perinteiset metrologiset menetelmät mitallisen elementin mittaamisessa ovat esim. mikrometrit, työntömitat ja korkeusmittarit, joilla voidaan määrittää *paikallinen* mitta. Perinteisiä menetelmiä ovat myös meno- ja hylkytulkkien käyttäminen (ts. toiminnalliset tulkit), joilla voidaan määrittää *kokonaismittatoleranssi*. Uudet GPS-standardit tukevat näitä perinteisiä menetelmiä. Sen lisäksi ne tukevat uudenlaisia määrittelyitä, joita voi mitata vain CMS-laitteilla, ks. seuraava esimerkki.



Kuva 1 Muuttajamerkintöjen käyttäminen
a) lieriömäisen elementin pituusmitan tolerointiin, ja
b) kartiomaisen elementin kulmamitan tolerointiin.

Kuvassa 1 a) on lieriömäisen elementin pituusmitan toleranssi GC-muuttajalla (GC voidaan lukea "Global Chebyshev"). Kun GC-muuttajaa käytetään, se tarkoittaa, että matemaattisesti täydellisen muotoinen lieriö sovitetaan työkappaleen lieriöpinnasta mitattuun pistepilveen käyttämällä minimax-tyyppistä (Chebyshev) sovituskriteeriä. Tämän jälkeen tämän sovitetun lieriön halkaisijaa verrataan annettuihin toleranssirajoihin.

Kuvassa 1 b) on muuttajamerkintä GG (GG voidaan lukea "Global Gaussian"). Kun GG-muuttajaa käytetään, se tarkoittaa, että matemaattisesti täydellisen muotoinen kartio sovitetaan työkappaleen kartiopinnasta mitattuun pistepilveen käyttämällä pienimmän neliösumman (Gauss) mukaista sovituskriteeriä. Tämän jälkeen sovitetun kartion kulmaa verrataan annettuihin toleranssirajoihin.

Edellä annetun kuvauksen mukaan on selvää, että GC ja GG -muuttajat edellyttävät pisteiden keräämistä työkappaleesta, luultavimmin käyttämällä CMS-laitetta tai vastaavaa skannaavaa laitetta. Näin saatua "pistepilvidataa" prosessoidaan ohjelmistolla, joka osaa hyödyntää standardissa määritellyjä Chebyshevin ja Gaussin suodatusalgoritmeja. GC ja GG eivät ole ainoita uusia mittatoleroinnin muuttajamerkintöjä. Uusia muuttajia on yhteensä 16 (yksi niistä on LP, joka tarkoittaa paikallista kaksipistemittaa). Jos mitään näistä muuttajista ei esitetä mitalle, tavanomaista kaksipistemittaa käytetään oletusarvona. Kaksipistemittaa voidaan todeta esim. mikrometriä käyttämällä.

3. GPS-operaatiot ja hajonnan mittaaminen

Mittatoleranssien yhteydessä edellä mainittiin useita operaatioita tarkentamatta niiden merkitystä. Tällaisia operaatioita ovat "pistepilven mittaaminen", "työkappaleen elementti" ja "sovituskriteeri". Nämä ja muita operaatioita määritellään ISO GPS -kehittäjästandardeissa käyttämällä neljää ISO GPS -operaatiota.

Neljä tärkeintä GPS-operaatiota ovat:

1. *Mittaus (otanta)*. Tässä operaatiossa luodaan laskennallinen kuvaus epätäydellisestä mallista. Laskennallinen kuvaus voi olla (mahdollisesti tiheä) joukko pisteitä, tai interpoloitu pinta (esim. lineaarisesti kolmioitu).

2. *Ositus*. Tässä operaatiossa työkappaleen mitattu pintamalli jaetaan osiin, jotka vastaavat virheettömän nimellismuodon rajaamaa pinta-elementtiä.
3. *Suodatus*. Tässä operaatiossa luodaan mitta-kaavasta riippuva laskennallinen kuvaus pintamallista. Suodatus voi edeltää mittausta tai se voidaan tehdä mittauksen jälkeen.
4. *Sovitus*. Tässä operaatiossa matemaattisesti virheettömän muotoinen pinta (tai käyrä) sovitaan mitattuun ja suodatettuun pistejoukkoon käyttämällä optimointimenetelmiä.

Hajonnan mittaaminen

Perinteisesti geometrinen tolerointi on nojannut vahvasti toleranssialueisiin. Tämä on johtanut siihen, että toleranssin vaihteluväli on ollut ainoa hajontaa kuvaava menetelmä. Uusissa ISO GPS -standardeissa esitellään uusia hajonnan ilmaisemiseen sopivia menetelmiä. Perinteisten toleranssialueiden lisäksi nyt voidaan määrittellä myös hajontaa kuvaavia parametrejä, ks. taulukko 1.

Taulukko 1 Uudet hajontaa koskevat parametrit

Tunnus	Parametri
P	Vertailu huippuun
V	Vertailu laaksoon
T	Huippu-laakso
Q	Neliöjuuri (RMS)

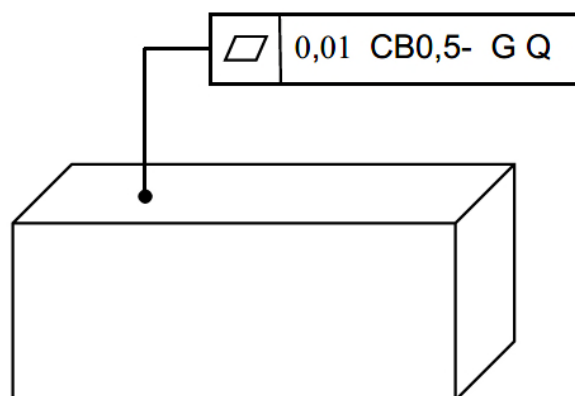
Taulukon 1 parametrit mitataan vertailupinnasta, joka muodostetaan sovituseraatiolla. Sovitus-tapa voidaan määrittellä taulukon 2 tunnuksilla. Taulukoiden 1 ja 2 tunnuksia voidaan yhdistellä monilla eri tavoilla. Kuvassa 2 esitetään tasomaisuusmäärittely.

Taulukko 2 Uudet sovitusta koskevat tunnuksat

Tunnus	Sovitus
C	Minimax (Chebyshev)
G	Pienin neliösumma (Gauss)
X	Suurin sisään sovitettu ^a
N	Pienin ympärille sovitettu ^a
E	Materiaalin ulkopuolinen rajoite
I	Materiaalin sisäpuolinen rajoite

4. Muoto ja suodatus

Muototoleransseilla ohjataan suoruutta, tasomaisuutta, ympyrämäisyyttä, lieriömäisyyttä sekä viivan ja pinnan muotoa. Muototolerointi ei edellytä peruselementtien käyttämistä. Perinteisesti muototoleranssi on määritelty toleranssialueiden avulla. Uusissa ISO GPS-standardeissa on toleranssialueen lisäksi mahdollista kuvata hajontaa tässä kappaleessa kuvattavilla menetelmillä. Kuvassa 2 esitetään yksi uusista tavoista määrittellä tasomaisuustoleranssi, joka käyttää lisäksi pitkäaaltopäästösuoatusta.



Kuva 2 Tasomaisuustoleranssin määrittely käyttämällä Gaussin sovitusta, RMS-parametria ja closing ball -suodatinta.

Kuvassa 2 yläpinta, jossa on muototoleranssimäärittely, suodatetaan ensin käyttämällä halkaisijan 0,5 mm closing ball -suodatinta (merkitään CB). Luku 0,5 seuraava väliviiva osoittaa, että se on pitkäaaltopäästösuoatinta, joka poistaa joitakin pinnan lyhytaaltoisia yksityiskohtia. ISO/TC 213 on standardisoinut tunnuksat Gauss-, morfologia- ja splinittyypisille suodattimille. Muita suodattimia kehitetään yhä.

Kuvassa 2 suodatusmerkintöjen jälkeiset tunnuksat G ja Q osoittavat, että taso sovitetaan suodatettuun pintaan käyttämällä pienimmän neliösumman (merkintä G taulukossa 2) sovituskriteerillä ja neliöjuuri -tyyppinen hajonnan sovitettuun pintaan nähden (merkintä Q taulukossa 1) olisi oltava piirustukseen merkityn toleranssiarvon 0,01 sisällä. RMS on keskihajonta. ISO 1101 sisältää paljon muitakin suodatuksia.

Muototoleranssien merkitys kasvaa, kun lisäävä valmistus (Additive Manufacturing, "3D-tulostus")

yleistyy. Muototoleransseja käsitellään uudistettussa standardissa ISO 1660:2017 [5]. Se sisältää laajan työkaluvalikoiman muototoleransseista ja siinä on paljon hyviä esimerkkejä. Sen merkitys luultavasti kasvaa tuotannon digitalisointumisen vuoksi.

5. Peruselementit

Peruselementtejä tarvitaan kaikkiin toleranssimäärittelyihin mitallisia elementtejä ja muototoleransseja lukuun ottamatta. Peruselementtejä koskeva standardi ISO 5459 [6] on tällä hetkellä uusittavana. Tekninen komitea ISO/TC 213 pyrkii löytämään peruselementeille uuden matemaattisen määritelmän, joka soveltuisi kaikille peruselementityypeille ja joka toimisi sekä perinteisillä mittaustavallineilla (esim. tasoilla, kulmapaloilla, tuurnilla jne.) sekä moderneilla digitaalisilla menetelmillä (esim. koordinaattimittauskoneet). Lupaava kandidaatti uudeksi määritelmäksi on pienimmän neliösumman kriteeriin perustuva määrittely, joka voidaan muodostaa taulukon 2 tunnuksilla G ja E.

6. Yhteenveto

Tässä artikkelissa esitettiin katsaus standardin ISO 1101:2017 uusiin tehokkaisiin tolerointityökaluihin, jotka ovat nyt suunnittelijoiden käytettävissä. Näiden uusien vaatimusten todentaminen edellyttää digitaalisia työkaluja, kuten CMS-järjestelmien käyttöä. ISO GPS -standardit hyödyntävät käynnissä olevaa tuotannon digitalisaatiokehitystä ja toisaalta tarjoavat jo ennakoivasti uusia mahdollisuuksia.

Kehitystyö ei estä perinteisten mittausten menetelmien käyttämistä. Näiden menetelmien etuina voivat olla yksinkertaisuus ja kustannustehokkuus. Niiden käyttämisessä olisi kuitenkin varmistettava niihin liittyvästä mittausepävarmuudesta.

ISO-toleranssistandardien kehittyminen ja muutokset tuovat myös haasteita:

- *Opetus ja koulutus.* Uudenlaiset sääntöpohjaiset GPS-standardit asettavat enemmän vastuuta opetukseen ja koulutukseen. Opetusmateriaalia on uusittava ja kehitettävä. Jopa kouluttajia olisi koulutettava.
- *Implementointi CAD-järjestelmiin.* Kaikki suurimmat CAD-järjestelmät tukevat standardin ISO 1101 aikaisempia versioita. Niiden olisi nyt siirryttävä tukemaan uutta pai-

nosta ISO 1101:2017 ja muita käyttäjäs-tandardeja. Aluksi tuki voi olla 2D-piirustuksia varten ennen kuin 3D-työkaluja saadaan kehitettyä. ISO GPS-merkintöjen käytettävyydellä CAD-järjestelmissä on iso merkitys koko järjestelmän käyttöönotossa teollisuudessa.

- *Implementointi CAM- ja CMS-järjestelmiin ja muihin tarkastusjärjestelmiin.* ISO GPS:n uudet menetelmät nojautuvat vahvasti digitaalisiin mittausten menetelmiin.
- *Implementointi tiedonsiirtostandardeihin.* Tuotantoketjussa siirretään tietoa järjestelmäalustasta toiseen. Standardisoituja tiedonsiirtoformaatteja, kuten STEP, kehitetään koko ajan, mutta niiden käyttöönotto CAD-järjestelmissä laahaa perässä.

Näihin haasteisiin olisi vastattava sekä ohjelmistokehityksessä että koulutusmaailmassa.

7. Lähteet

Tämä artikkeli perustuu raporttiin "A Brief Analysis of Recent ISO Tolerancing Standards and Their Potential Impact on Digitization of Manufacturing" (Edward P. Morse, Craig M. Shakarji, Vijay Srinivasan). 2018. Elsevier.

https://www.researchgate.net/publication/325962081_A_Brief_Analysis_of_Recent_ISO_Tolerancing_Standards_and_Their_Potential_Impact_on_Digitization_of_Manufacturing

Viitatu standardit

SFS julkaisee GPS-standardit Suomessa SFS-EN -standardeina. Standardeja voi ostaa SFS:n verkkokaupasta <https://sales.sfs.fi>.

[1] ISO 1101:2017

SFS-EN ISO 1101 Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. Suomennettu.

[2] ISO 17450-1:2011

SFS-EN ISO 17450-1:2011 Geometrical product specifications (GPS). General concepts. Part 1: Model for geometrical specification and verification.

[3] ISO 14405-1:2016

SFS-EN ISO 14405-1:2016 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Mittatolerointi. Osa 1: Pituusmitat. Suomennettu.

[4] ISO 14405-3:2016

SFS-EN ISO 14405-3:2017 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional tolerancing. Part 3: Angular sizes.

[5] ISO 1660:2017

SFS-EN ISO 1660:2017 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Profile tolerancing.

[6] ISO 5459:2011

SFS-EN ISO 5459 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Peruselementit ja peruselementtijärjestelmät. Suomennettu.

Lisätietoja, koulutusta ja neuvontaa:

Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA
Puhelin (09) 192 3279,
jukka-pekka.rapinoja@metsta.fi

Kirjoittaja toimii standardisoinnin asiantuntijana METSTA ry:ssä. Rapinojan vastuulla ovat mm. teknisen tuotedokumentoinnin ja ISO/GPS-toleranssien standardisointi sekä koneturvallisuuden standardisointiin liittyvät asiat Suomessa. Rapinoja kouluttaa ISO/GPS-järjestelmän käyttöä.

