

11. Mérőeszközök és mérések mérés technikai tulajdonságai és képességvizsgálata

A következőkben abból indulunk ki, hogy a mérésünk stabil a középértéke és a bizonytalansága szempontjából és normális eloszlású.

Gyártási folyamat képessége alatt a folyamattal szemben támasztott követelményhez (tűrés) képest a

folyamat bizonytalanságának (szórás) arányát értjük a következő összefüggés szerint: $C_p = \frac{T}{6s}$, ahol „C_p” a képességindex (process capability), a „T” (Tolerance – tűrés), „s” a folyamat szórása. A képességindex azt fejezi ki, hogy a folyamat mekkora megbízhatósággal esik a tűrésbe, tehát mekkora a folyamat megbízhatósága. A képességindex határértéke 1,33, ha a képességindex ennél nagyobb, akkor a folyamat „képes”, ha a képességindex kisebb, mint 1,33, akkor a folyamat „nem képes”. Ha azt feltételezzük, hogy a folyamat normális eloszlású, akkor 1,33 képességindexnél a folyamat szórása:

$$s = \frac{T}{8}$$

és ideális esetben – ha a folyamat a tűrés közepén helyezkedik el – akkor a tévedés, selejt (tűrésen kívül esés) valószínűsége 0,0063 %, ami általában elhanyagolhatóan kicsinek tekinthető.

Ez a képességindex nem veszi figyelembe a folyamat elhelyezkedését (kaphatjuk ugyanazt a képességindexet tűrésen belüli és kívüli folyamatokra is). A folyamat elhelyezkedését a korrigált képességindex figyelembe veszi a következőképpen: $C_{pk} = C_p * (1 - k)$, ahol

$$k = \frac{2 * \left| \frac{FH + AH}{2} - \mu \right|}{FH - AH}$$

FH a tűrés felső, AH a tűrés alsó határértéke, μ a folyamat várható értéke (elhelyezkedése). Ideális esetben a folyamat a tűrés közepén helyezkedik el, akkor $k = 0$, ha $k = 1$, akkor a folyamat a tűrőhatárra esik, ha $k > 1$, akkor a folyamat a tűrésen kívül helyezkedik el. Ha a folyamat tűrés közepére esik, akkor $C_p = C_{pk}$, ha $C_{pk} = 0$, akkor a folyamat a tűrőhatáron van (ebben az esetben a várható selejt már több, mint 50 %), ha pedig $C_{pk} < 0$, akkor a folyamat a tűrésmezőn kívül helyezkedik el. A **mérőképességindex** hasonló a folyamatképesség-indexhez:

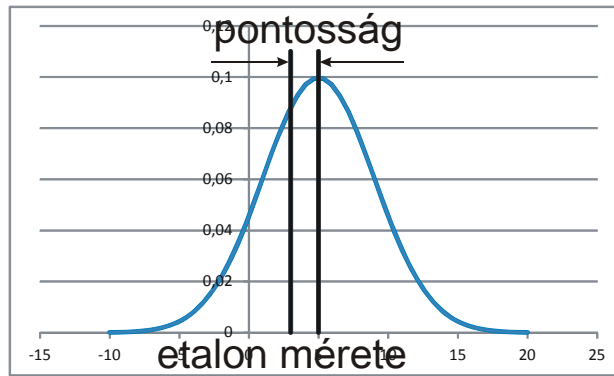
$$C_g = \frac{0,2 * T}{4 * s_g}, \text{ (Gauge, } s_g \text{ pedig a mérés szórása) ami valójában ezt jelenti: } C'_g = \frac{T}{20 * s_g} \text{ és mivel}$$

ennek határértéke szintén 1,33, ezért a mérési folyamattal szemben közel háromszor szigorúbb követelményt támaszt az egyéb gyártási folyamatokhoz képest. A korrigált mérőképességindex pedig

$$C_{gk} = \frac{0,1 * T - |Bi|}{2 * s_g}, \text{ ami ezt jelenti: } C'_{gk} = \frac{T - 10 * |Bi|}{20 * s_g}, \text{ ahol Bi a mérés rendszeres hibája.}$$

Mérőeszközök mérés technikai tulajdonságai

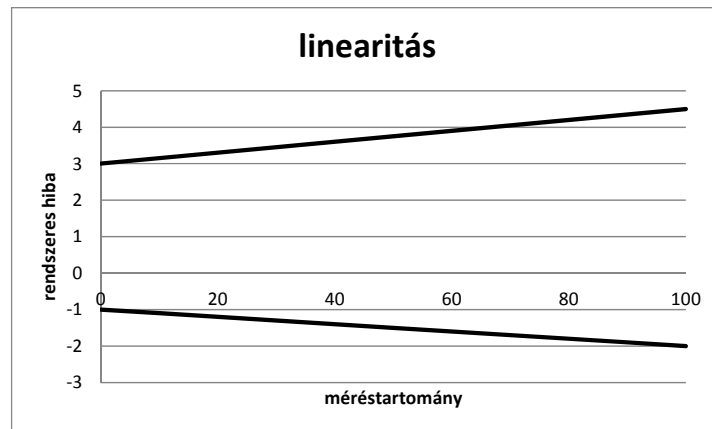
Pontosság, vagy a mérés, vagy mérőeszköz rendszeres hibája (Systematic Error of Measurement) alatt ugyanannak az értéknek megismételhetőségi feltételek közt elvégzett végtelen számú méréssel kapott számtani középértékének és a ténylegesnek tekinthető érték (etalon) különbségét értjük. Mérés technikai szempontból akkor nagy a mérés pontossága, ha a pontosság = 0.



11.1 ábra: Mérés pontosága

A mérés pontoságát a képességvizsgálat első eljárásával lehet meghatározni. Etalont kell megismételhetőségi feltételek közt többször mérni.

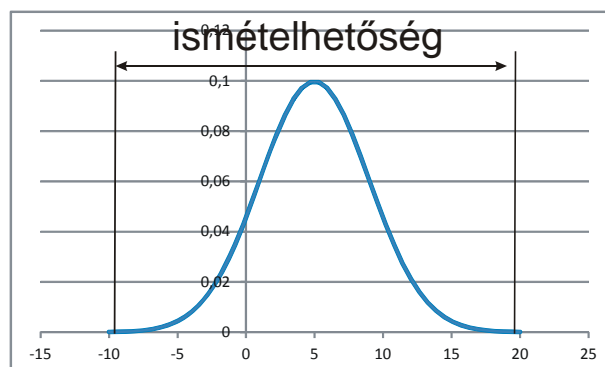
Linearitás (Linearity): a mérőeszköz rendszeres hibája a mérési tartomány egy bizonyos szakaszán, általában a tűrésmezőn, vagy állandó, vagy állandó – és megengedetten kis – meredekséggel változhat (növekedhet).



11.2 ábra: Mérés linearitása: a mérési eredményeknek a határok között kell lenniük

A mérés linearitását úgy lehet megállapítani, hogy az előző pontossági vizsgálatot a méréstartomány több pontján kell elvégezni. A hibagörbe-felvétel is ennek felel meg.

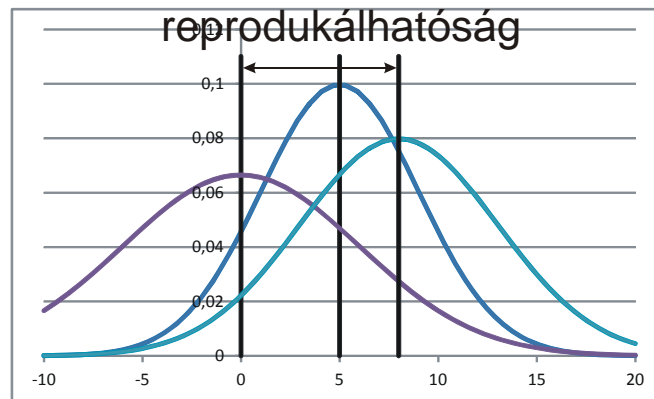
Ismételhetőség (Repeatability, Wiederholpräzision): ugyanolyan körülmények közt megismételve a mérést mennyire térnek el a mérési eredmények egymástól, mekkora a mérés megbízhatósági tartománya, milyen széles az a sáv, amibe a mérési eredmények belesznek.



11.3 ábra: Mérés ismételhetősége

A **mérés ismételhetőségét** megismételhetőségi feltételek közt végzett mérési sorozattal lehet megállapítani. Nem szükséges hozzá etalon, egy kiválasztott munkadarabot is lehet mérni, de mivel az etalonnak általában jobbak a méréstechnikai tulajdonságai, mint a munkadaraboknak, ezért etalonon valamivel kisebb ismételhetőség adódhat.

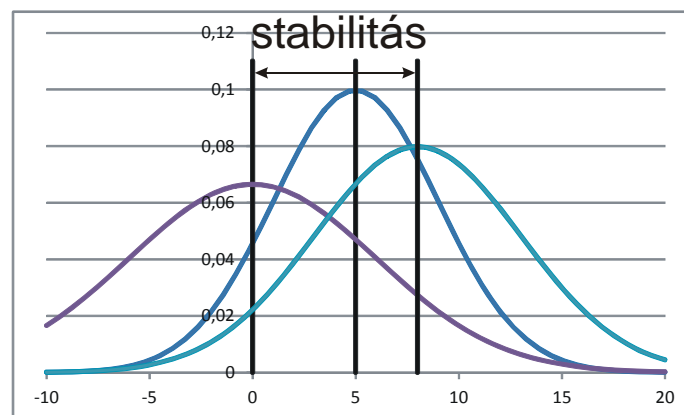
Reprodukálhatóság (Reproducibility, Vergleichspräzision) ugyanannak a méretnek más mérőszemélyek által kapott mérési eredményeinek eltérése.



11.4 ábra: Mérés reprodukálhatósága

A reprodukálhatóságot nem célszerű etalonon mérni, mivel ennél a mérésnél torzítja a mérést, ha a mérőszemély tudja a mérés tárgyának a feltételezhető méretét.

Stabilitás (Stability) a mérőeszköz metrológiai tulajdonságainak időbeli állandósága.



11.5 ábra: Mérés stabilitása

A mérést megismételhetőségi feltételek mellett bizonyos idő elteltével ismételi meg a mérést végző személy. A gépészeti mérések a munkadarabok, és a mérőeszközök vonatkozásában időben alig változnak. A környezeti feltételek, a mérést végző személy, vagy a mérési módszerek gyorsabban szoktak változni.

A mérések méréstechnikai tulajdonságainak ellenőrzésére rendelkezésre állnak kidolgozott módszerek, melyek bizonyos ésszerű sorrendben követik egymást.

Első eljárás: Mérőeszköz mérőképességének vizsgálata

A mérőeszközzel meg kell mérni egy a tűrésmezőbe (ha nem adott, akkor a méréstartományba) eső etalont megismételhetőségi feltételek mellett (ugyan az a mérőeszköz, a mérést végző személy, a mérési módszer és a körülmények és az állandóságot biztosító kellően rövid idő alatt) 50-szer (minimum 20-szor => **30-szor**).

Le kell írni a mérőhasáb névleges értékétől mérhető eltérést előjelhelyesen mikrométerben!

Elkészítendő táblázat:

első oszlop: sorszám (1-30)

második oszlop: mért érték (eltérés mikronban)

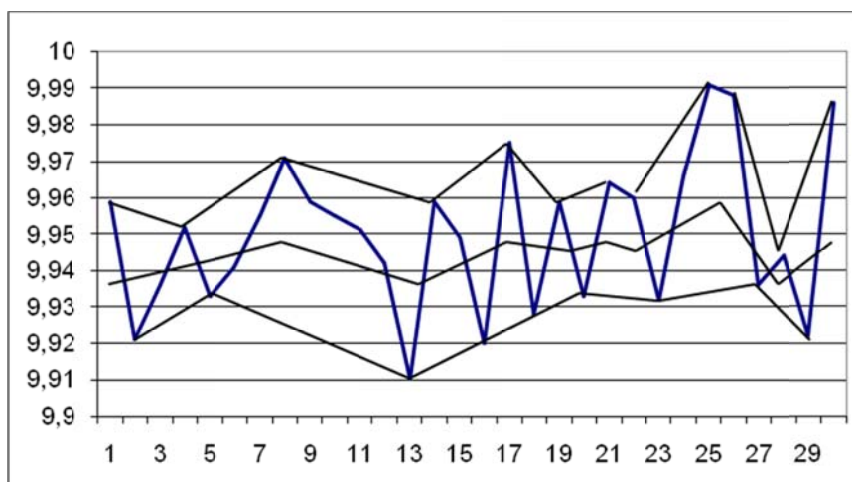
harmadik oszlop: tényleges érték

Ábrázolni kell a mért értékeket egy diagramban és a diagram alapján meg kell ítélni a mért értékek véletlenszerűségét, kétféle stabilitását: középérték (minimum, maximum, bizonytalanság) és bizonytalanság (minimum, maximum, változás), valamint hogy mind a középérték, mind a bizonytalanság mutat-e valamilyen trendet, ugrásokat, vagy periodicitást (ismétlődést), vannak-e kiugró értékek?

Példa. a következő 30 értékre:

9,959	9,921	9,936	9,952	9,933	9,941	9,955	9,971	9,959	9,955	9,951	9,942	9,91	9,959	9,949
9,92	9,975	9,928	9,959	9,933	9,964	9,96	9,932	9,966	9,991	9,988	9,936	9,944	9,922	9,986

Diagramban ábrázolva ezeket az értékeket (első sor balról jobbra, majd második sor balról jobbra: az értékek sorrendje fontos!), majd a helyi szélsőérték maximumokat összekötve (értékek sávját felülről határoló görbe), majd a helyi szélsőérték minimumokat összekötve (értékek sávját alulról határoló vonal), végül pedig a határoló vonalak középvonalát berajzolva:



11.6 ábra: Képességvizsgálat mért értékeinek lefutása

Az értékek véletlenszerűek, mert semmilyen szabályosságot nem lehet felfedezni, kiugró értékek a szélső értékek lehetnek, amelyek ebben az esetben nem feltűnőek. Azt kell vizuális (nem számolósos) vizsgálatnál kiugró értéknek tartani, ami abból a sávból, amibe az értékek többsége (az összes nem kiugró érték) beleesik, ennek a sáv szélességének a kétszeresénél jobban eltér. Itt a sáv szélesség 0,04-0,05, tehát kiugró lenne egy 10,05-nál nagyobb, vagy 9,84-nél kisebb érték. Kiugró csak 1-2 érték lehet!

Középérték minimuma: 9,937

középérték maximuma: 9,959

középérték ingadozása: $9,959 - 9,937 = 0,022$

Ha a középérték lefutása a végén nem ugrana le, akkor a folyamat növekvő trendes lenne.

A bizonytalanság (értékek sáv szélessége) minimuma: 0,010

A bizonytalanság maximuma:

0,058

Elvileg csak akkor elég a 30 mérés, ha ezek alapján mind a középérték, mind a bizonytalanság szempontjából stabilizálódott a folyamat!

Akkor stabilak az értékek, ha

- az értékek véletlenszerűek (nincs semmilyen szabályosság, trend, ugrás), és
- a középérték ingadozása, és
- az értékek bizonytalanságának változása (ingadozása) kisebb, mint a jó mikrométernél feltételezhető ~ 5 mikrométer (fél osztásérték)

Ezután ki kell számolni a tényleges értékek számtani középértékét (\bar{x}_g) és szórását (s_g)!

(A 30 mintaérték átlaga: 9,9499, szórása: 0,0207636)

A mérőeszköz rendszeres hibája:

$B_i = \bar{x}_g - x_m$, ahol x_m az etalon tényleges (nek tekinthető) értéke.

A C_{gk} képességindex meghatározása a rendszeres és a véletlen mérési hiba figyelembevételével:

$$C_{gk} = \frac{0,1 * T - |B_i|}{2 * s_g}$$

A C_g képességindex meghatározása, amely csak a véletlen hibát (az ismételhetőségi pontosságot) veszi figyelembe. Kétoldalról határolt minőségi jellemzőknél a C_{gk} és a C_g különbsége a folyamatnak a javíthatóságát jelenti (pl. a mérőeszköznek olyan pontos beállításával, amikor a rendszeres hiba

$B_i = 0$).

$$C_g = \frac{0,2 * T}{4 * s_g}$$

Az eredmények kiértékelése:

I. eset: $C_{gk} \geq 1,33$

A mérőeszköz „képes”.

Az $s_g = 0$ eset indoklásra szorul, mivel ez a következő okok miatt is bekövetkezhet:

- A mérőeszköz felbontása nem elegendő ahhoz, hogy a mérési eredmények a befolyásoló tényezők miatti ingadozását kimutassa.
- A mérőeszköz hibája (pl. a mérőtapintó szorul).

II. eset: $C_{gk} < 1,33$

A mérőeszköz „nem képes”.

Ha a C_{gk} 10%-nál kevesebbet tér el a C_g -től, akkor a rendszeres hibát elegendően/elfogadhatóan kicsinek tekintjük.

Második eljárás: Ismételhetőségi és reprodukálhatósági vizsgálat

A következő eljárás a mérés, illetve a mérőeszköz ismételhetőségének és reprodukálhatóságának (leírásuk a DIN EN ISO 10012 szabványban található) meghatározására szolgál. Ennek az eljárásnak a gyakorlatban elterjedt neve az „**R&R vizsgálat**” (Repeatability & Reproducibility). Ehhez 2 vagy 3 mérőszemély ugyanazt az 5-10 munkadarabot kétszer, vagy háromszor méri meg. A mérőszemélyeket abból a körből kell megválasztani, akiknek a mérési eredményeit közösen értékeljük ki. A vizsgálatba a feltételezhető mérést befolyásoló tényezők alapján (kor, képzettség, nem, gyakorlat ...) lehetőleg a legszélsőségesebb személyeket kell bevonni. A vizsgálat során mérendő munkadarabokat úgy kell

kiválasztani, hogy a teljes vizsgálati tartományt – ne csak egy részét - lefedjék a méretükkel. A méréseket úgy kell elvégeztetni, hogy a mérőszemélyek se egymást ne befolyásolhassák, se egy személy esetén a korábbi mérés ne befolyásolhassa az ismételt mérést.

Kiértékelés a következő formalap alapján történik.

Az R&R vizsgálat kiértékelésének lépései:

- az összetartozó mérések terjedelmeinek meghatározása
- átlagos terjedelem meghatározása
- terjedelem felső szabályzóhatárának meghatározása
- azok a terjedelmek, melyek nagyobbak, mint szabályzóhatár kiugró értékek (újramérendők)
- az újramért értékekkel az átlagos terjedelem újraszámolása, új (szűkebb) szabályozási határ, míg a terjedelmek bele nem esnek
- reprodukálhatóság szórásának meghatározása, a két legjobban eltérő átlagértékű mérőszemély átlagai alapján
- az ismételhetőség szórásának meghatározása az átlagos terjedelem alapján
- az összegzett szórás meghatározása
- „pontosság” (helyesen: ismételhetőség) meghatározása: összegzett szórás * szorzótényező a megbízhatósági szint alapján
- tűrésmezőfelhasználás %-ban (pontosság/tűrésmező)

A reprodukálhatóság szórása azt fejezi ki, hogy az együtt mérő személyek mennyire mértek különbözően. Az ismételhetőség szórása a mérőeszköz saját bizonytalansága. Az ismételhetőség szórásának egy kicsit rosszabbnak kell lennie, mint ami az első eljárásból kijött szórás, mivel itt nem etalont, hanem annál nagyobb bizonytalanságú munkadarabokat mértek. Másrészt az a jó, ha a reprodukálhatóság szórása kisebb, mint az ismételhetőség szórás, mert a mérőeszközöknek olyannak kellene lenniük, hogy a mérést végző személy minél kisebb befolyással legyen a mérés eredményére => objektivitás! A reprodukálhatóság szórását elsősorban a mérőszemélyek, az ismételhetőség szórását pedig elsősorban a mérőeszköz határozza meg. Ha az a bizonytalanság, amit a mérőszemélyek visznek bele a mérésbe nagyobb, mint a mérőeszköz által bevitt bizonytalanság, akkor azt feltételezzük, hogy a mérést végző személyek nem hozzák ki a mérőeszközből, amire az képes.

Az eredő szórás – azt feltételezve, hogy a két szórástényező egymástól független (ez csak részben lehet igaz, mert sok közös tényező is van) – az összetevők négyzetes összegének négyzetgyökeként számolható.

A pontosság az eredő szórás 5,15-szöröse (ez normális eloszlást feltételezve a 99 %-os megbízhatósági szinthez tartozó szórástényező: tévedés valószínűsége 1 %, 100-féltévedés=99,5%, standard normális táblázatból az ehhez tartozó érték: 2,5758, ennek kétszerese 5,15).

Az R&R vizsgálat végeredménye a tűrésmező kihasználás százalékban (PTC), aminél arra kell vigyázni, hogy a tűrésmező mm-ben, a kiértékelési értékek pedig mikrométerben vannak (ugyan olyan mértékegységekben levő értékeket kell egymáshoz viszonyítani)!

A PTC értékelése: megfelel, indoklással felel meg, nem felel meg, határok 10 és 30 (annál jobb, minél kisebb, ellentétben a képességindexekkel)!

Mérőeszköz alkalmassági vizsgálati lap								5,15	
mérőeszköz megnevezése			mérőeszköz száma			vizsgálati sorszám			
alkatrész megnevezése			alkatrész rajzszáma			készítette			
méret megnevezése			tűrésmező			dátum			
ellenőr									
A.			B:			C:			
	1.	2.	terjedelem	1.	2.	terjedelem	1.	2.	terjedelem
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
	ΣA_1	ΣA_2	ΣR_A	ΣB_1	ΣB_2	ΣR_B	ΣC_1	ΣC_2	ΣR_C
mintadarabok száma N=				$\bar{x}_A = \frac{1}{2N} \left(\sum_{i=1}^{10} A_{1i} + \sum_{i=1}^{10} A_{2i} \right) =$					
ellenőrök száma i=				$\bar{x}_B = \frac{1}{2N} \left(\sum_{i=1}^{10} B_{1i} + \sum_{i=1}^{10} B_{2i} \right) =$					
$\bar{R} = \frac{1}{i \cdot N} \left(\sum_{i=1}^{10} R_{Ai} + \sum_{i=1}^{10} R_{Bi} + \sum_{i=1}^{10} R_{Ci} \right)$				$\bar{x}_C = \frac{1}{2N} \left(\sum_{i=1}^{10} C_{1i} + \sum_{i=1}^{10} C_{2i} \right) =$					
Terjedelem felső szabályozóhatára:				Ha valamely egyedi terjedelem a szabályzóhatár fölé esik, akkor azt nem kell figyelembe venni. Meg kell ismételni a mérést, és az új korrigált terjedelemtől alapján újra kell számítani a felső szabályzóhatárt. Mindezt addig kell ismételni, míg az összes egyedi terjedelem a határon belül nem lesz!					
$F_{sh} \bar{R} = \bar{R} \cdot 3,268 =$				$K = 0,707 \quad , \text{ ha két ellenőr van,}$ $K = 0,524 \quad , \text{ ha 3 ellenőr van.}$					
Reprodukálhatóság szórása:									
$\sigma_{repr} = K \cdot \left(\bar{x}_{max} - \bar{x}_{min} \right) =$									
Ismételhetőség szórása:									
$\sigma_{ism} = 0,885 \cdot \bar{R} =$									
Összegzett szórás:				$\sigma_{össz} = \sqrt{\sigma_{repr}^2 + \sigma_{ism}^2} =$					
Pontosság:				$P = 5,15 \cdot \sigma_{össz} =$					
Tűrésmezőfelhasználás százalékban:				$PTC = \frac{P}{\hat{T}ÚRÉ \text{ SMEZŐ}} \cdot 100\% =$					
Megfelel, ha $PTC < 10 \%$. Nem felel meg, ha $PTC > 30 \%$. Indoklással megfelel, ha $10 \% < PTC < 30 \%$.									