

GYÁRTÁS FOLYAMATKÉPESSÉGÉNEK VISSZAIGAZOLÁSA STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

Nagy Krisztián

*beszállítói minőségbiztosítási mérnök, Robert Bosch Elektromos Szerszámgyártó Kft.
3526 Miskolc, Robert Bosch Park 1, e-mail: krisztian.nagy@hu.bosch.com*

Varga Gyula

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: gyulavarga@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

A gyártás tervezés során az egyik elsődleges cél a hibamentes folyamat elérése, ezzel biztosítva a gyártott alkatrészek, termékek megfelelő minőségét és kedvező gyártási költségét. A gyakorlatban elkövetett hibákat megemlítve a cikkben megtalálható a gyártás tervezés során szükséges lépések, annak érdekében, hogy a lehető legkisebb hibaarányt el lehessen érni. Mindehhez statisztikai módszereken alapuló vizsgálatok szükségesek. A mérőrendszer megfelelőségét alapul véve két példa kapcsán kerül bemutatásra a folyamatképeségi vizsgálatok kivitelezése.

Kulcsszavak: *minőség tervezés, folyamatképeség, statisztikai vizsgálatok*

Abstract

At production planning, one of the main goals is to reach the failure-free process. Therefore, the quality of the parts, products will be stable on the best price level. We can see the necessary steps in the project phase to reach the best failure rate for the production and read some typical failures from the practice. All this we use different analysis with statistical methods. Two examples will be presented about capability studies when we presume the proper measuring system.

Keywords: *quality planning, capability of the process, statistical examinations*

1. Bevezetés

Napjainkban a cégek életének legnagyobb részét a piacon való versenyképesség javítása, fenntartása teszi ki. A folyamatos fejlesztések, a produktivitás javítása, az automatizálás elengedhetetlen ennek elérése érdekében. A modern technológia alkalmazása nem elegendő ahhoz, hogy a gyártási folyamat stabil legyen, ne keletkezzen hibás termék, valamint ne kerüljön ki a vevőhöz. Tehát a folyamatot szabályozni kell, ami a munkadarabok ismérveinek időszakos vizsgálataival, mérésével valósul meg. Fontos, hogy a folyamatba történő beavatkozás időben megtörténjen, mielőtt hibás termék keletkezne. Ezzel pedig a selejt költség szüntethető meg, amivel nem csak a vevői elégedettséget lehet megnövelni, hanem segít a versenyképes ár elérésében is. Ennek megvalósítása érdekében egy rendszert kell kidolgozni, a mérőeszköz megfelelő kiválasztásától kezdve a statisztikai folyamat szabályozásig (SPC). Alkalmazható

kézi számítási eljárás mind a mérőrendszer, mind a gép- és folyamatképességi vizsgálatokhoz, de csak abban az esetben, ha normál eloszlásról van szó. A gyakorlat azt mutatja, hogy a mérőrendszer vizsgálata során eredményesen használható, de a különböző gyártási folyamatokat, termék paramétereiket nem minden esetben lehet normál eloszlás alapján leírni. Ekkor az látható, hogy a haranggörbe valamelyik irányba megdől, és ha az nem kerül valamilyen módon korrigálásra, akkor a normál eloszlás hibás eredményt eredményez a görbe szélső értékeinél. Ebben az esetben olyan eloszlás függvényt kell választani, ami pontosabban leírja a folyamatot, a megadott mérési eredmények alapján. Ezért kiemelten fontos a statisztikai programok használata.

A mérőrendszer bemenetének (mérőeszköz, ember, alkatrész, környezet, módszer stb.) ingadozása a kimenet ingadozását eredményezi. A mérési adatokat elemezve lehet minősíteni a termékeket, a gyártási folyamatokat és arról való döntést, hogy pl. [1]:

- Megfelelő, vagy nem megfelelő a termék?
- A kívánt folyamatképesség el lett-e érve, vagy javítani kell a folyamaton?

Egy mérőrendszert alkalmazó ember a termékparaméterek függvényében négyféle döntést hozhat (1. ábra):

		Tényleges termékparaméter	
		Jó	Rossz
Mérés eredménye	Elfogad	A jót elfogadja (AG)	A rosszat elfogadja (AB) β
	Elutasít	A jót elutasítja (RG) α	A rosszat elutasítja (RB)

1. ábra. Döntéshozatali lehetőség a termékparaméterek függvényében [1]

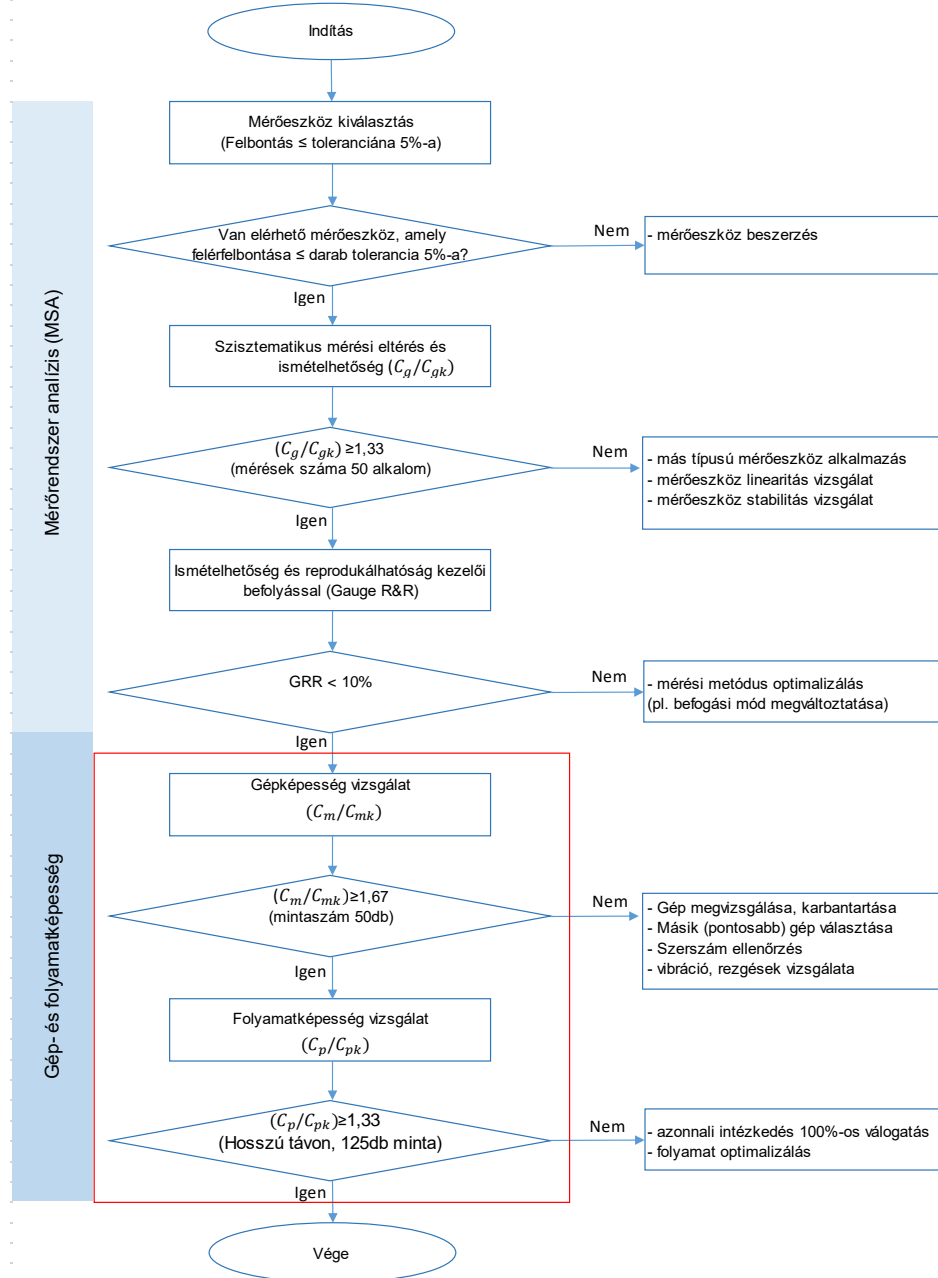
A mérőrendszer ingadozásának (szórásának) növekedésével a jó termék elutasítás és rossz termék elfogadás valószínűsége növekszik (1. ábra).

A fentiekkel összhangban a mérőrendszer elemzés célja [1]:

- Számszerűsíteni, mekkora a mérőrendszer által okozott ingadozás a termelési folyamat ingadozásához képest és az elfogadható-e számunkra?
- Mennyire lehet támaszkodni a mérési folyamatból származó adatokra, amikor egy gyártási folyamat jellemzéséről van szó, azaz mennyire „jók” az adatok olyan értelemben, hogy jellemzően a folyamat ingadozását tükrözik-e nem pedig a mérés bizonytalanságát, amely a leolvasott értékekben jelenik meg.

A 2. ábra a gyártás folyamatképességének visszaigazolására szolgál. Egy folyamatábrát tartalmaz, mely lépésről-lépésre bemutatja, hogy ehhez milyen vizsgálatok elvégzése szükséges. A vizsgálatokat két fő részre oszthatjuk, az egyik a mérőrendszer felépítése és az ahhoz kapcsolódó ellenőrzések, míg a második szakaszban a gyártási folyamatot érintő vizsgálatok szerepelnek. A mérőrendszer elemzésről (MSA) részletes információt tartalmaz az MSA Referencia kézikönyv [2]. Az ellenőrzés első lépése a

megfelelő mérőeszköz kiválasztása, majd a mérőeszköz pontosságának ellenőrzése (C_g , C_{gk}), ezt követően a mérési módszer ismételtetésének és reprodukálhatóságának vizsgálatára (GRR) következik.



2. ábra. Folyamatábra a mérőrendszer és a folyamatképességi vizsgálatok kialakítására

Csak akkor mondhatjuk ki a mérőrendszerünk megfelelőségét, ha mindkét vizsgálat eredménye megfelelő. Ezzel megbizonyosodtunk a mérőeszköz és a mérési módszer helyességéről, amivel vizsgálhatjuk először a gyártó berendezés pontosságát, majd a gyártási folyamat stabilitását [3-4].

Jelen vizsgálatnál feltételezzük, hogy a mérőrendszer megfelelően lett kiépítve. A legtöbbször elkövetett hiba, hogy nem kerül sor a mérőrendszer visszaigazolására, de így a kapott eredmények sem lesznek megbízhatóak. Sokszor csak a hibaanalízis során derül ki, hogy a mérőeszköz nem megfelelő vagy a mérési módszer nem ismételtető [5-7].

2. Gépképesség vizsgálatok

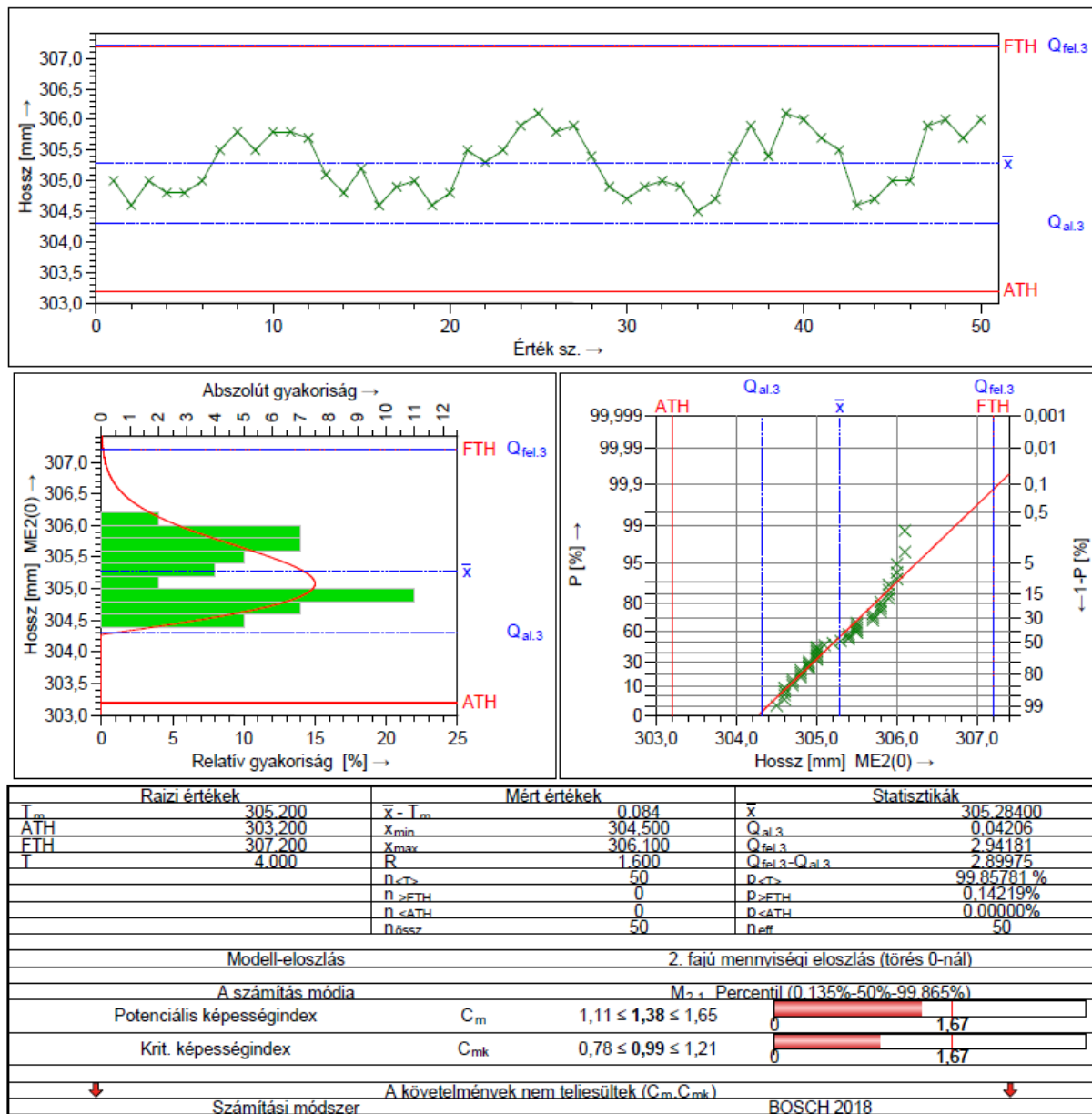
A gépképesség vizsgálat elvégzése a következő példán keresztül kerül bemutatása. Látható, hogy nem elegendő a mérési adatok szoftverbe való importálása és a kiértékelés elvégzése, mert nem elfogadható eredmény során nincs információnk a mért darabokról, így a hibaanalízis nem végezhető el. Tehát a példa rámutat arra, hogy milyen nagy szerepe van a szükséges adatok mintákhoz rendelésének.

A kiindulási adatokat és a kézi számítás elvégzéséhez szükséges képleteket a 3. ábra tartalmazza. A számítások alapján a gépképesség nem éri el a C_m ; $C_{mk} > 1,66$ -os határértéket, így a folyamat nem elfogadható.

Minta szám	Mért érték x_a	Minta szám	Mért érték x_a	Kézi számítási eljárás:
1	305,000	26	305,800	Legkisebb mért érték $x_{\min} = 304,500$ mm
2	304,600	27	305,900	Legnagyobb mért érték $x_{\max} = 306,100$ mm
3	305,000	28	305,400	Átlag $\bar{x} = 305,284$ mm
4	304,800	29	304,900	Terjedelem $R = x_{\min} - x_{\max} = 1,600$ mm
5	304,800	30	304,700	
6	305,000	31	304,900	Felső tűréshatár FHÉ 307,2 mm
7	305,500	32	305,000	Alsó tűréshatár AHÉ 303,2 mm
8	305,800	33	304,900	
9	305,500	34	304,500	Szórás $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,493$
10	305,800	35	304,700	
11	305,800	36	305,400	Tolerancia $\pm 2 \rightarrow T=4$ mm
12	305,700	37	305,900	
13	305,100	38	305,400	
14	304,800	39	306,100	Gépképesség
15	305,200	40	306,000	$C_m = \frac{T}{6 \times s} = 1,35$
16	304,600	41	305,700	
17	304,900	42	305,500	Korrigált gépképesség
18	305,000	43	304,600	$C_{mk} = \min \left\{ \frac{FHÉ - \bar{x}}{3 \times s}; \frac{\bar{x} - AHÉ}{3 \times s} \right\} = 1,30$
19	304,600	44	304,700	
20	304,800	45	305,000	
21	305,500	46	305,000	
22	305,300	47	305,900	
23	305,500	48	306,000	$C_m / C_{mk} > 1,66 ?$ <input type="checkbox"/> Igen <input checked="" type="checkbox"/> Nem
24	305,900	49	305,700	
25	306,100	50	306,000	

3. ábra. Gépképesség vizsgálat kézi számítás alapján

Az adatokat a Q-das statisztikai program erre vonatkozó qs-STAT moduljába illesztve a számítás másképpen történik. Az adatok eloszlását figyelembe véve, a beállított stratégia alapján, a szoftver automatikusan kiválasztja az optimális eloszlás modellt. A szoftveres kiértékelés eredménye a 4. ábrán látható.



4. ábra. Gépképesség vizsgálat Q-das szoftverrel

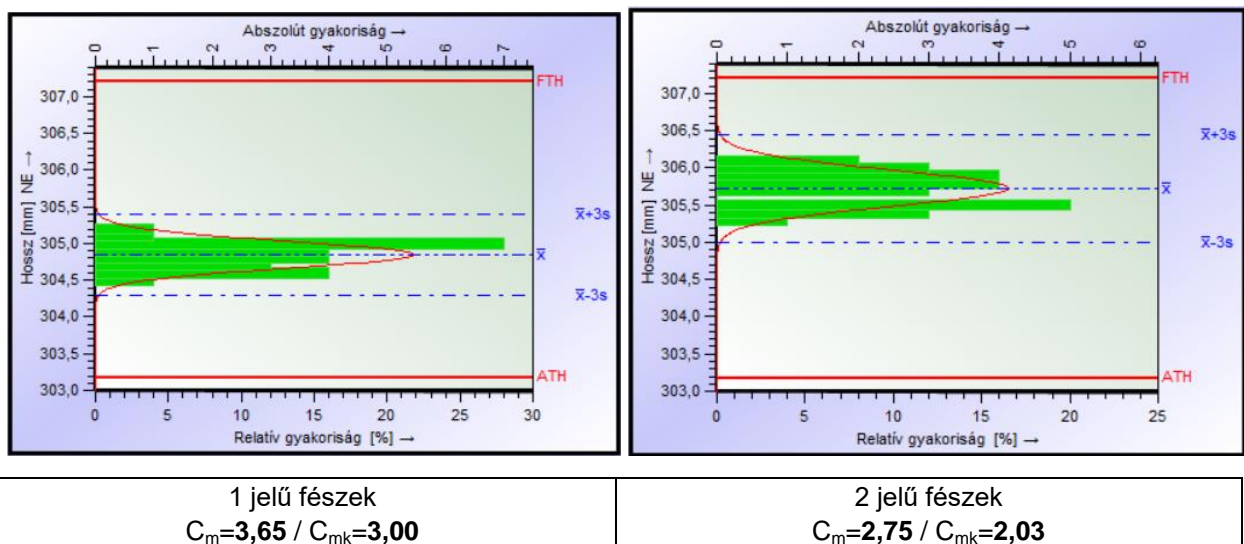
Az eredmény eltér a kézi számításhoz képest, mivel 2. fajú mennyiségi eloszlás modell szerint történtek a számítások, de az eredmény ebben az esetben sem elfogadható.

Mi a teendő ebben az esetben?

Hibaanalízist kell indítani és megvizsgálni minden olyan tényezőt, amely hatással van vagy lehet a darab legyártott méretére. Ilyen tényezők lehetnek, pl.: az ember, anyag, gép, folyamat, módszer és környezet. Amennyiben sikerül megállapítani olyan tényezőket, amelyek negatív hatással vannak a folyamatra, akkor azok kiküszöbölésére javító intézkedéseket kell hozni. Majd újabb mintagyártás szükséges az akciók sikerességének visszaigazolására, valamint a gépképesség újbóli elemzéséhez.

A 4. ábrán látható hisztogramon megfigyelhető, hogy két csúccsal rendelkezik, ami abból adódik, hogy a gyártó berendezés két fészekszámmal rendelkezik, így egy ciklus alatt egyszerre két alkatrész gyártása folyik. Ez csak a hiba analízist követően került megállapításra, hogy nem megfelelően történt a minták kivétele és jelölése. Amennyiben a fenti 50 darab mérési eredményt szétbontjuk 25-25 darabos csoportban a fészekszámok alapján és külön vizsgáljuk, akkor normál eloszlást fogunk látni és folyamatképes eredményt kapunk. Ez látható az 5. ábrán.

A 25 darabos mintaszám elfogadható, de ebben az esetben a C_m ; $C_{mk} > 2$ kell, hogy teljesüljön. A példa rávilágított arra, hogy nagy hangsúlyt kell fektetni arra, hogy a lehető legtöbb információ kigyűjtésre kerüljön a mintagyártás során és azok megfelelően dokumentálva legyenek, úgy, hogy később a mintákhoz hozzárendelhetők legyenek. Tehát minél több adat áll rendelkezésre, annál könnyebb megérteni a jelenséget a kiértékelést követő nem elfogadható eredmény kapcsán.



5. ábra. Az adathalmaz fészekszám szerinti szétbontását követő gépképesség vizsgálat

3. Folyamatképesség vizsgálatok

A gépképesség visszaigazolását követően kezdhető meg a folyamatképesség vizsgálata, amely hosszabb folyamat és a minta sorozatok kivétele is más szempont alapján történik. Míg a gépképesség során

kizártunk minden befolyásoló tényezőt, most ennek az ellenkezőjét kell csinálni. Úgy kell kivenni a mintákat, hogy a folyamatra kiható tényezőket figyelembe vegyük és ezt az információt hozzárendelni a mintákhoz. Ilyen befolyásoló tényezők a különböző kezelő személyek, műszakok, alapanyag csere, folyamat újraindítás, szerszámcsere, karbantartás és minden olyan változás, amely kihatással lehet a gyártott termékre. Tehát ember, anyag, gép, folyamat, módszer és környezetbe tartozó zavaró hatások. Az elterjedt minta mennyiség 5 darab az egyes mintavételek során és minimum 125 darab szükséges a vizsgálat elvégzéséhez. A folyamatra ható dolgok alapján belátható, hogy a mintagyűjtés hosszú távon történik. A korábban leírtak alapján ezeket a vizsgálatokat a lehető leghamarabb érdemes elvégezni, hogy következtetni tudjunk a szériagyártás megfelelésére és stabilitására. Ezért a folyamatképesség vizsgálatot két részre osztjuk. Az egyik a rövid távú vizsgálat, ami során egy minta széria is elegendő lehet, amiben beletesszük azokat a változásokat, ami az adott időszakban lehetséges, és abból vesszük ki a mintákat. Ez a gyakorlatban egy vagy maximum két műszakos gyártás. Ilyen esetben a definiált cél a $C_{p(st)}$; $C_{pk(st)} \geq 1,67$.

Az 'ST' jelölés az angol „Short Term” rövidítéséből származik, ami a „rövidtáv”-ot jelöli. Ez alapján a folyamat jóváhagyható még szériagyártás megkezdése előtt. Hosszú távon törekedni kell arra, hogy minden gyártási szériából kellő számú sorozat legyen kivéve több szérián keresztül, ez lehet 1 vagy 3 hónap is, a gyártási mennyiség nagysága és gyakorisága alapján. Ekkor már elegendő a C_p ; $C_{pk} \geq 1,33$ teljesítése. A számítási metódus megegyezik a gépképességnél alkalmazott formulával.

Az n darab x_i mérési eredményből kiszámoljuk az \bar{x} teljes átlagot és s_{teljes} szórást:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \qquad s_{teljes} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ezekből pedig a folyamatképességi mutatószámok:

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot s_{teljes}} \qquad C_{pk} = \min \left\{ \frac{FHÉ - \bar{x}}{3 \cdot s_{teljes}}; \frac{\bar{x} - AHÉ}{3 \cdot s_{teljes}} \right\}$$

ahol:

T : - tűrésmező

$$T = (FHÉ - AHÉ)$$

$FHÉ$: - felső határérték

$AHÉ$: - alsó határérték

A 6. ábra megmutatja, hogy statisztikai szoftver alkalmazásával kapunk megfelelő képet a folyamatunkról. A kézi számítási eljárás képleteivel könnyen készíthetünk egy Excel táblázatot, amivel az adatok beillesztését követően az eredményt automatikusan megkapjuk, de így minden adathalmaz esetében a normál eloszlás lesz alkalmazva. A kiindulási adatokat a 1. táblázat tartalmazza.

A vizsgálandó méret nem korlátos és a 6. ábrán látható eloszlást tekintve nem tűnik rossz megoldásnak a normál eloszlási modell alkalmazása. Viszont a kapott értékek alapján a folyamat nem hagyható jóvá.

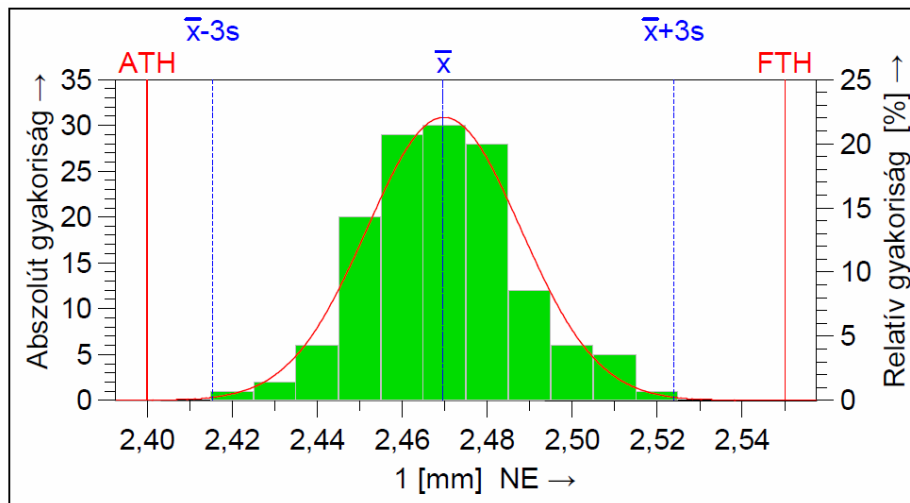
Amennyiben a mért értékeket a *Q-das* szoftverbe illesztjük be, akkor a beállított stratégia és a mért adatok eloszlását alapul véve, a logaritmikus normál eloszlás modellt választja ki és alkalmazza a szoftver. Ez látható a 7. ábrán. Így a C_p ; $C_{pk} > 1,33$ feltétel teljesül.

1.táblázat. Kiinduló adathalmaz

	Rajzi érték	2,50	mm		ATH	2,40	mm				
	Tűrés	0,15	mm		FTH	2,55	mm				

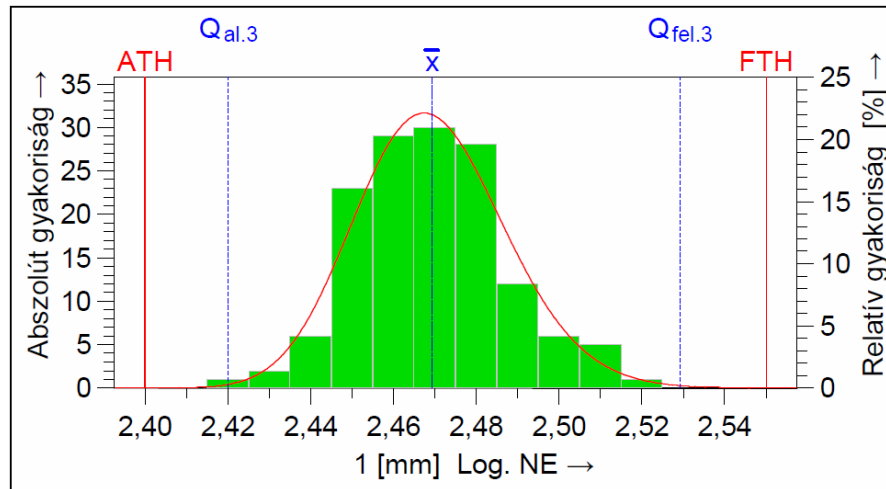
1	2,44	2,46	2,48	2,49	2,44	2,47	2,48	2,5	2,46	2,51	2,45
2	2,44	2,46	2,48	2,49	2,44	2,47	2,48	2,5	2,47	2,52	2,45
3	2,44	2,47	2,48	2,49	2,45	2,47	2,48	2,51	2,48	2,45	2,46
4	2,45	2,47	2,48	2,49	2,45	2,47	2,48	2,46	2,46	2,45	2,46
5	2,45	2,47	2,48	2,5	2,45	2,47	2,48	2,48	2,46	2,45	2,46
6	2,45	2,47	2,48	2,5	2,45	2,47	2,48	2,49	2,48	2,45	2,45
7	2,45	2,47	2,48	2,5	2,45	2,47	2,48	2,47	2,49	2,46	2,46
8	2,45	2,47	2,48	2,51	2,46	2,47	2,48	2,47	2,47	2,46	2,46
9	2,46	2,47	2,48	2,51	2,46	2,47	2,49	2,48	2,46	2,46	2,47
10	2,46	2,47	2,48	2,51	2,46	2,48	2,49	2,5	2,47	2,46	2,47
11	2,46	2,47	2,48	2,44	2,46	2,48	2,49	2,46	2,48	2,45	2,47
12	2,46	2,47	2,48	2,46	2,46	2,48	2,49	2,49	2,49	2,45	2,45
13	2,46	2,47	2,47	2,47	2,42	2,43	2,43	2,45	2,45	2,45	2,46

Normál eloszlás esetében a következő eredményt kapjuk:



Potenciális képességindex	C_p	$1,22 \leq 1,38 \leq 1,54$	
Kritikus képességindex	C_{pk}	$1,12 \leq 1,28 \leq 1,44$	

6. ábra. Normál eloszlás függvény szerinti kiértékelés



Potenciális képességindex	C_p	$1,22 \leq 1,38 \leq 1,54$	
Kritikus képességindex	C_{pk}	$1,18 \leq 1,34 \leq 1,51$	

7. ábra. Logaritmikus normál eloszlás függvény szerinti kiértékelés

Ez még a szerencsésebb eset, hogy a kézi számítás során jött ki a nem elfogadható eredmény. Amennyiben ez fordítva történik és az adatok nincsenek kiértékelve szoftveresen, akkor könnyen előfordul, hogy egy nem folyamatképes gyártás jóváhagyása történik meg, aminek a háttérében az áll, hogy nem az optimális függvény volt alkalmazva. Ez a hiba a gyakorlatban sokszor előfordul. Ha a kapott eredmény a teljesítendő határértéket (1,33) éppen, hogy csak túllépi, akkor érdemes az 'n' mintaszámot növelni és újból kiértékelni az adatokat.

4. Összefoglalás

A mérőrendszer és a képességvizsgálatok elvégzése kiemelten fontos a projekt kezdeti szakaszában, elvégzendő olyan hamar, amilyen hamar lehetséges. Ha a hiba a szériagyártás során derül ki, akkor annak kijavítása sokkal több erőforrást és költséget igényel. Gyakori hiba, hogy a cégek többsége nem fordít kellő hangsúlyt a mérőrendszerre és az alapvető elemzések hiányoznak. Ebben az esetben nem tudjuk biztosan mondani, hogy a kiválasztott mérőeszköz megfelelő a munkadarab mérendő méretéhez vagy az alkalmazott mérési módszerrel ismételhető mérési értékeket kapunk. Emellett belátható, hogy statisztikai szoftver alkalmazása nélkül nem biztos, hogy a gyártási folyamatot helyesen leíró, megfelelő eloszlás függvény kerül alkalmazásra.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] MSA - mérőrendszer elemzés, <https://www.poligont.hu/files/MSA-elemzes-poligont.pdf?type=INFOM> (megtekintés dátuma: 2019.05.13.)
- [2] N.N.: Mérési rendszerek elemzése, MSA, Referencia kézikönyv, Negyedik kiadás, 2010. június, Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, ISBN: 978-1-60-534211-5
- [3] Quality Management in the Bosch Group – Booklet No. 9 – Machine and Process Capability (5th edition) (megtekintés dátuma: 05.11.2019)
- [4] Quality Management in the Bosch Group – Booklet No. 10 – Capability of Measurement and Test Processes (megtekintés dátuma: 02.12.2019)
- [5] https://statisztikaegyszeruen.blog.hu/2019/04/22/elso_az_egyenlok_kozott_a_standard_normal_eloszlás (megtekintés dátuma: 2020.01.13.)
- [6] Képesség vizsgálatok – Folyamatképesség II – Cp, Cpk <https://www.haris-engineering.com/single-post/2016/3/16/Folyamatk%C3%A9pess%C3%A9g-II-Cp-Cpk> (megtekintés dátuma: 2020.01.06.)
- [7] <http://www.qualitysupport.hu/images/Metrologia.pdf> (megtekintés dátuma: 2020.01.06.)