



Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet

Minőségsszabályozás a gépíparban

Levelező gépésszmérnök hallgatók részére

Drégelyi-Kiss Ágota

2012.

TARTALOM

1	Statisztikai módszerek szerepe a minőségssabításban	3
1.1	Minőségssabályozás története	3
2	A matematikai statisztika alapelvei	5
2.1	A megfigyeléstől a valósszínűségig	5
2.2	Diszkrét eloszlások	6
2.2.1	Binomiális eloszlás alapelve	6
2.2.2	Poisson eloszlás alapelve	6
2.3	A Normális eloszlás paraméterei és jellemzői	7
2.4	Az össszegzett gyakorisági görbe és a valósszínűségi háló alapelve.....	7
3	Folyamatok ingadozása.....	10
3.1	Minőségssképesség vizsgálatok.....	12
3.2	A minőségssképesség indexek és egyéb minőség-mutatók kapcsolata	14
3.3	Szabályozottság fogalma	14
3.4	Szabályozottság és képesség.....	15
4	Minőségssképesség vizsgálat típusai	17
4.1	Gépképesség vizsgálat	17
4.2	Középtávú folyamatképesség vizsgálat	19
4.3	A minőségssképesség indexek együttes vizsgálat.....	20
5	Szabályozási rendszer kialakításának menete.....	21
6	Mérési szabályozó kártyák	22
6.1	A folyamatszabályozó kártya alapelve	22
6.2	Mérési szabályozó kártyák főbb elemei	22
6.2.1	Mérési kártyák ellenőrzési határai a $\pm 3\sigma$ modell alapján	22
6.3	Mérési szabályozó kártyák tervezése valósszínűség eloszlás alapján.....	23
7	Minősítési szabályozó kártyák.....	24
7.1	Minősítési szabályozó kártyák főbb elemei.....	24
7.2	Minősítési szabályozó kártyák tervezése valósszínűség eloszlás alapján.....	25
8	Mérősszköz-vizsgálat eljárásai és folyamatai.....	25
8.1	Ismételhetőség és reprodukálhatóság vizsgálat (GRR vizsgálat).....	26
8.2	Mérősszköz képesség vizsgálat.....	27
9	Felkészülést segítő kérdések	28
10	Felhasznált és ajánlott irodalom.....	29

1 STATISZTIKAI MÓDSZEREK SZEREPE A MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSBAN

"A statisztikai módszerek használata segíthet a változékonyság megismerésében, és ezzel hozzásegítheti a szervezetet problémái megoldásához, valamint az eredményesség és a hatékonyság fokozásához. Ezek a módszerek arra is alkalmasak, hogy megkönnyítsék a rendelkezésre álló adatok felhasználását, és ezzel segítsék a döntéshozatalt. A változékonyság sokféle tevékenység alakulásában és eredményében megfigyelhető, még a látszólagos stabilitás feltételei között is. A változékonyság megfigyelhető a termékek és a folyamatok mérhető jellemzőinél, és megnyilvánulhat a termékek életciklusának különféle szakaszaiban is, kezdve a piackutatástól egészen a vevőszolgálatig és a végső hulladéklerakásig. A statisztikai módszerek segíthetnek az ilyen változékonyság mérésében, leírásában, elemzésében, értelmezésében és modellezésében, még akkor is, ha viszonylag korlátozott adathalmaz áll rendelkezésre. Ezeknek az adatoknak a statisztikai elemzése segíthet a változékonyság természetének, mértékének és okainak jobb megismerésében, és ezáltal segítheti olyan problémák megoldását, sőt megelőzését, amelyek az ilyen változékonyságból erednek, és előmozdíthatja a folyamatos fejlesztést." (ISO 9000:2008)

A vevői- és szabványkövetelmények, valamint a gazdaságos gyártás igénye az ipari minősszabályozásban a következő területeken teszi szükségessé a statisztikai módszerek alkalmazását:

- gépek, gyártási folyamatok minőségképességének vizsgálata, minőségképesség indexek számítása a fejlesztésben és a gyártási folyamatokban
- beszállítók minőségképességének elemzése és minősítése
- mérőeszközök jellemzőinek vizsgálata (R&R vizsgálat), mérőeszköz-képesség vizsgálat (C_g , C_{gk} számítás)
- ellenőrző kártyás vagy számítógépes folyamatszabályozás
- átvételi ellenőrzés
- gyártás- és gyártásközi ellenőrzés
- gyártáselemzés és optimalizálás
- hibaelemzés, selejtcsoökkentés
- piackutatói és vevőszolgálati adatok elemzése.

1.1 MINŐSÉGSZABÁLYOZÁS TÖRTÉNETE

Az újkor az iparosok személye határozta meg elsősorban egy termék minőségét, megfelelőségét (pl. kardok, kések, hegedűk). Az első tömeges megrendelés és gyártás Eli Whitney (1765-1825) amerikai feltaláló nevéhez fűződik, aki megrendelést kapott az amerikai kormánytól 10000 puská előállítására 1790-es évek végén. Rájött, hogy hagyományosan, egy munkás által nem készíthető el egy darab, ezért bevezette a tömegtermelést.

A futószalagon történő gyártás H. Ford (1863-1947) nevéhez fűződik, mivel a vevők igényeinek kielégítésére gyorsítani kellett a gyártási folyamatot. Szabványosította a nagyobb szerelési egységek egyes alkatrészeit, új beszerzési és munkaszervezési rendszert alkotott, üzemében bevezette a dolgozók profitrészesedését, amely fokozta a termelékenységét és a minőség javításában való érdekeltségét. A futószalag és a tömeggyártás bevezetésével a T-modelleket kizárólag fekete színben gyártották, mert mindent le akartak egyszerűsíteni, amit csak lehetett, hogy a termelékenységet növeljék. Híres mondata: "Vevőink minden színigényét ki tudjuk elégíteni, ha fekete kocsit rendelnek."

A sorozatgyártás kialakulásával, létrejöttével egyre nagyobb igény nyílt arra, hogy módszereket dolgozzanak ki a termékek ellenőrzésére. Kisminták ellenőrzésének módszerét W. S. Gossett (1876-1937) dolgozta ki a Guinness sörfőzdében, bevezeti a t -eloszlást, Student álnév alatt. 1923-ben Fisher (1890-1962) alapvető munkákat publikál a kísérlettervezés témakörében, 1928-ban Dodge és Romig kidolgozza a mintavételi átvételi ellenőrzés módszerét.

A szabályozás gyakorlati végrehajtása, szabályozott folyamatok biztosítása a minőségmenedzsment kemény módszerei közé tartozik, amely az kialakulását követő közel száz év alatt három fejlődési szakaszt tudhat maga mögött. Az első generáció Walter A. Shewhart (1891-1967) nevéhez fűződik, aki az első, lényegében a tömeggyártással előállított késztermékek (félkésztermékek) egyedi minőségi paramétereinek statisztikai úton történő elemzésére kidolgozta a szabályozó kártyák elméletét 1924-ben. A szabályozókártya a folyamat lehetséges véletlen ingadozását figyelembe véve tartalmaz egy szabályozási sávot, és vizsgálhatóvá válnak a mintastatisztikák elhelyezkedése ezen sávon belül. Ha „csak” véletlen ingadozás van jelen a folyamatban, akkor a pontok a szabályozási határon belül helyezkednek el, ha „veszélyes” hibák jelennek meg, akkor a szabályozási határon túllépő mintastatisztikákat kapunk, ami jelzi, hogy elállítódott a folyamat, vagyis intézkedésre, beavatkozásra van szükség a megfelelő minőség előállítása céljából.

A nagy tömegű gyártások folyamatközpontú rendszerei az egyedi szabályozókártyát továbbfejlesztették a második generációs szabályozás módszere felé. A kialakult SQC (Statistical Quality Control, statisztikailag szabályozott minőségállapot) rendszerek az egyedi szabályozókártyákat a teljes gyártási folyamatban, valamennyi minőségpontot figyelembe véve összehangolják, és a végtermék paramétereinek szabályozott állapotához igazítják. Fokozatosan arra törekednek, hogy a szabályozás a folyamaton belül minél előbb megtörténjen, hogy a következő folyamatlépcsőre, műveletre minél szabályozottabb minőségjellemzővel rendelkező alkatrészek, elemek kerüljenek.

A huszadik század 70-es éveiben kezd megjelenni harmadik fejlődési fázisként az SPC (Statistical Process Control, statisztikailag szabályozott folyamatállapot) rendszer, amely szerint ne a minőségparamétereket, hanem a folyamatparamétereket szabályozzuk összehangoltan. Ez a rendszer tehát arra törekszik, hogy a minőségjellemzőket, paramétereket meghatározó folyamatparamétereket tartsa szabályozott állapotban (azonos minőségű beszállítások, azonos felkészültségű emberi erőforrás, azonos műszaki állapotú műszaki gyártó- és mérőeszköz).

2 A MATEMATIKAI STATISZTIKA ALAPELVEI

2.1 A MEGFIGYELÉSTŐL A VALÓSZÍNŰSÉGIG

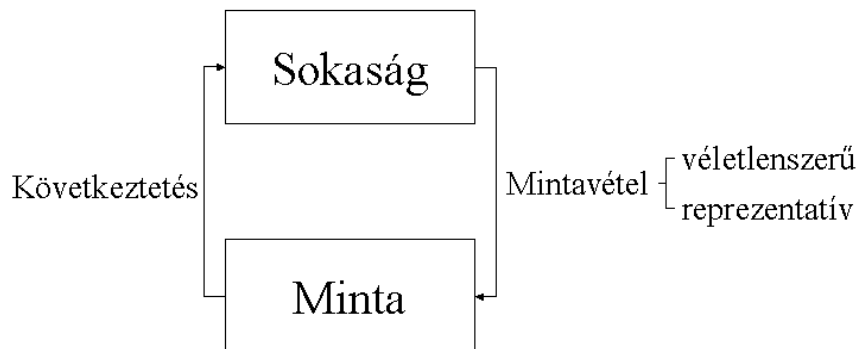
Véletlen esemény alatt olyan jelenség eredményét értjük, amelyet az általunk figyelembe vett okok nem tudják egyértelműen meghatározni. Ilyen figyelembe nem vehető feltétel például az időjárás, környezeti hatások, stb.

Egy adott esemény *gyakorisága* alatt az esemény előfordulásának számát értjük. Egy esemény *relatív gyakorisága* pedig az adott esemény gyakorisága arányítva az összes kísérlet számához. Ha sok kísérletet végzünk, a relatív gyakoriság értéke egy számérték körül kezd ingadozni, ez a szám az adott esemény előfordulásának *valószínűsége*.

Valószínűségi változóról akkor beszélünk, ha a véletlen eseményeket számértékkel fejezzük ki, mint például egy alkatrész hosszmérete, levegő hőmérséklete, stb. A valószínűségi változók két típusát különböztetjük meg.

Diszkrét valószínűségi változóról beszélünk akkor, ha a véletlen esemény lehetséges értékei egy véges vagy megszámlálhatóan végtelen számsorozatot alkotnak. Diszkrét valószínűségi változó egy adott időszak alatt legyártott selejtes termékek száma, egy könyvoldalon található sajtóhibák száma, egy kalácsban található mazsolák száma, stb.

Folytonos valószínűségi változóról beszélünk akkor, ha a véletlen esemény lehetséges értékei a számegyenes egy teljes intervallumát kitölthetik. Folytonos valószínűségi változó tehát egy alkatrész hosszmérete, a levegő hőmérséklete, egy üveg ürtartalma, stb.



1. ábra: A matematikai statisztika célja

2.2 DISZKRÉT ELOSZLÁSOK

2.2.1 BINOMIÁLIS ELOSZLÁS ALAPELVE

Ha egy esemény bekövetkezésének valószínűsége egy egyszeri kísérlet során p (amit a siker valószínűségének is szoktak nevezni), és $q=1-p$ ugyanezen esemény be nem következésének valószínűsége ugyancsak egy egyszeri kísérlet során (amit a bukás valószínűségének is nevezhetünk), akkor annak a valószínűsége, hogy ez az esemény n kísérletből pontosan k alkalommal következik be:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k},$$

ahol $k=0,1,2,\dots,n$; $n!=n(n-1)(n-2)\dots 1$; $0!=1$ definíció szerint.

Példa

Egy gyártási folyamatban 5% a selejt. Mennyi a valószínűsége, hogy 20 db véletlenszerűen kiválasztott gyártmányban 5-nél kevesebb a selejt? (közelíthetünk binomiális eloszlással)

Megoldás: $p=0,05$; $n=20$

Ha a mintában 5-nél kevesebb selejtest szeretnénk vizsgálni, azt jelenti, hogy lehet 0,1,2,3,4 selejtes a mintában. (Mivel mindegyik eset előfordulhat, ezért az egyes valószínűség értékeket összeadhatjuk.) Tehát annak a valószínűsége, hogy a mintában 0 db selejtest találunk:

$$P(X = 0) = \binom{20}{0} \cdot 0,05^0 \cdot 0,95^{20} = \frac{20!}{0!20!} \cdot 1 \cdot 0,95^{20} = 0,95^{20} = 0,358$$

Annak a valószínűsége, hogy 1 db selejtest találunk:

$$P(X = 1) = \binom{20}{1} \cdot 0,05^1 \cdot 0,95^{19} = \frac{20!}{1!19!} \cdot 0,05 \cdot 0,95^{19} = 0,377$$

Azoknak a valószínűsége, hogy 2, 3, 4 db selejtest találunk:

$$P(X = 2) = \binom{20}{2} \cdot 0,05^2 \cdot 0,95^{18} = 0,189; P(X = 3) = \binom{20}{3} \cdot 0,05^3 \cdot 0,95^{17} = 0,060$$

$$P(X = 4) = \binom{20}{4} \cdot 0,05^4 \cdot 0,95^{16} = 0,013$$

Eredményként az mondható el, hogy annak a valószínűsége, hogy a mintában 5-nél kevesebb selejtest találunk 99,7%:

$$P(X < 5) = P(X = 0) + P(X = 1) + P(X = 2) + P(X = 3) + P(X = 4) = 0,358 + 0,377 + 0,189 + 0,060 + 0,013 = 0,997$$

2.2.2 POISSON ELOSZLÁS ALAPELVE

A $P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$ ($k=0,1,2,\dots$) diszkrét valószínűség-eloszlást, ahol $e=2,71828$ és λ adott konstans,

Poisson-eloszlásnak nevezzük.

Példa

Egy autóján átlagosan 3 festési hibát találunk. Mennyi a valószínűsége annak, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott ajtón 2 festési hibát találunk?

Megoldás:

$\lambda=3$ (az átlagos hibák száma)

$$P(X = 2) = \frac{3^2 e^{-3}}{2!} = 0,224, \text{ vagyis } 22,4\% \text{ valószínűséggel találunk 2 festési hibát az autóján.}$$

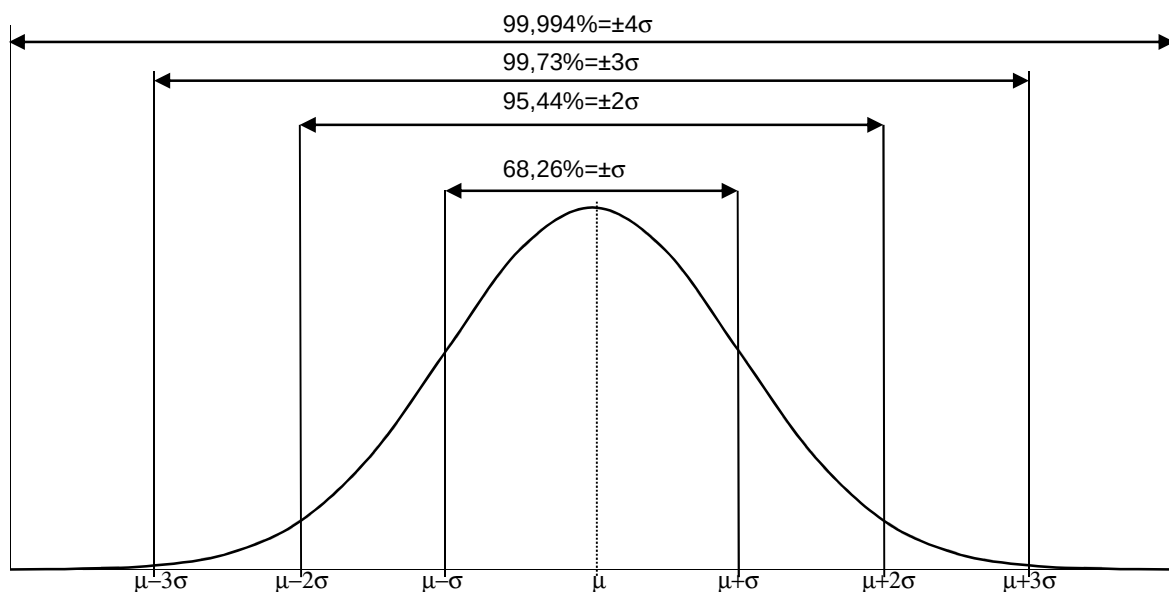
2.3 A NORMÁLIS ELOSZLÁS PARAMÉTEREI ÉS JELLEMZŐI

Az egyik legfontosabb valószínűség-eloszlás a normális- vagy más néven Gauss-féle eloszlás. A sűrűségfüggvényét az

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

egyenlettel adjuk meg, ahol μ : várható érték, σ : elméleti szórás. (2. ábra) Az elméleti sűrűségfüggvényről leolvasható, hogy adott intervallumban az adatok hány %-a található. Bármely sűrűségfüggvény esetén a görbe alatti terület jellemzi ezt az értéket. A görbe alatti terület értéke $(-\infty; +\infty)$ tartományban 1, azaz az elemek 100%-a.

Ha egy folyamat vizsgálható paramétere normális eloszlást követ, μ várható értékkel és σ elméleti szórással, bizonyos intervallumokba való bekerülés valószínűsége látható a következő ábrán (2. ábra). Például 99,73 % valószínűséggel a vizsgálható paraméter értéke a $(\mu+3\sigma; \mu-3\sigma)$ intervallumban lesz; vagy annak a valószínűsége, hogy a várható érték körüli egyszeres szórás tartományán kívüli értéket kapjunk 100-68,26%=31,74% lesz. Azt is mondhatjuk, hogy bármely normális eloszlású valószínűségi változó értéke a várható érték körüli $\pm 3\sigma$ tartományban helyezkedik el nagy valószínűséggel (99,73%-kal), azaz az adatok 6σ széles tartományban ingadoznak, 1000 esetből háromszor fordulhat elő (1 millióból 2700-szor), hogy a véletlen okozta ingadozás miatt az említett intervallumon kívül kerülünk.



2. ábra: Normális eloszlás sűrűségfüggvénye $\pm \lambda \cdot \sigma$ határokkal ($\lambda=1,2,3,4$)

2.4 AZ ÖSSZEGZETT GYAKORISÁGI GÖRBE ÉS A VALÓSZÍNŰSÉGI HÁLÓ ALAPELVE

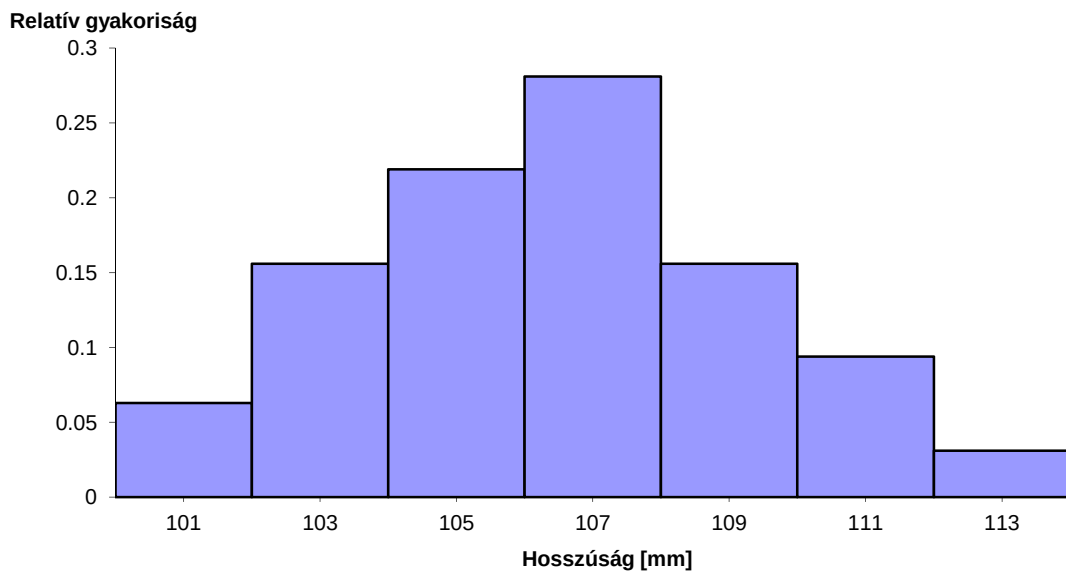
Az adatgyűjtés során nyert értékek megjelenítésére alkalmas eszköz a tapasztalati sűrűségfüggvény (hisztogram) vagy pedig az összegzett gyakorisági görbe. Ezen grafikonok elkészítése végett készíteni kell gyakorisági táblázatot. (1. táblázat)

A *hisztogram* egy olyan oszlopdiagram, ahol a megjelenítendő értékek terjedelmét azonos szélességű intervallumokra osztjuk fel: ez adja meg az oszlopok szélességét. Az oszlopok magassága pedig az adott intervallumban elhelyezkedő értékek relatív gyakorisága. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**

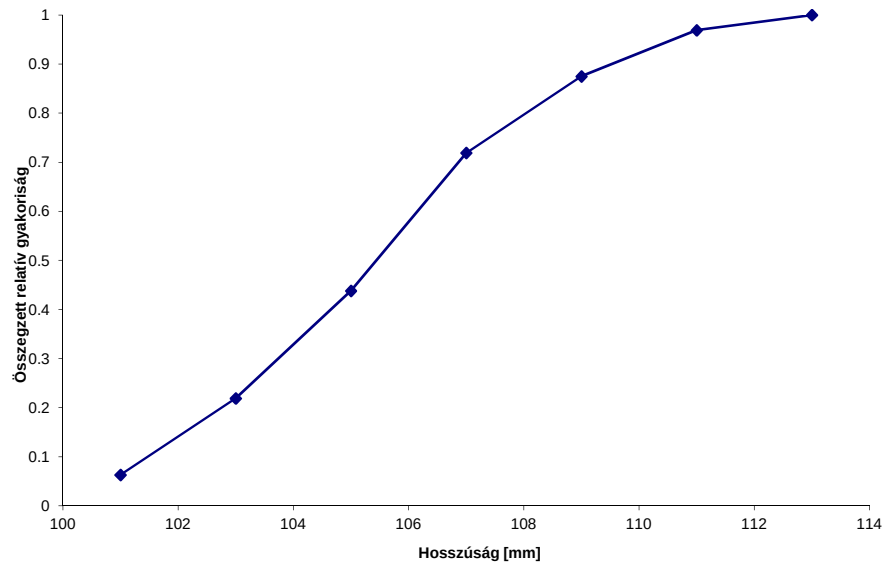
Az összegzett gyakorisági görbe egy olyan grafikon, amelyen az (egy adott intervallumra vonatkozó) összegzett relatív gyakoriság értékeket ábrázoljuk az intervallumok középértékeinek függvényében. (4. ábra)

1. táblázat: Példa gyakorisági táblázatra egy rúd alakú alkatrész gyártása során ($n=32$ elemű minta)

Osztály határok	Osztály-közép	Gyakoriság	Összegzett gyakoriság	Relatív gyakoriság	Összegzett relatív gyakoriság
100-101,9 mm	101 mm	2	2	0,063	0,063
102-103,9 mm	103 mm	5	7	0,156	0,219
104-105,9 mm	105 mm	7	14	0,219	0,438
106-107,9 mm	107 mm	9	23	0,281	0,719
108-109,9 mm	109 mm	5	28	0,156	0,875
110-111,9 mm	111 mm	3	31	0,094	0,969
112-113,9 mm	113 mm	1	32	0,031	1,000



3. ábra: Hisztogram az 1. táblázat adataira



4. ábra: Összegzett gyakorisági görbe az 1. táblázat adataira

Grafikus normalitásvizsgálat menete:

- 1) Adatgyűjtés
- 2) Készítsen gyakorisági táblázatot!
 - a. Számolja a szűrőpróba mért értékeit! ($n=?$)
 - b. Határozza meg a szűrőpróba terjedelmét! ($R=?$)
 - c. Határozza meg a szükséges osztályok számát! ($k = \sqrt{n}$)
 - d. Határozza meg az osztályszélességet! ($H=R/k$, kerekítve az adatoknál egy tizeddel pontosabban)
 - e. Határozza meg az osztályhatárokat és végpontokat!
 - f. Állítsa fel a gyakorisági táblázatot!
- 3) Skálázza be a vízszintes tengelyt annak megfelelően, hogy a mérési adatok teljes terjedelmükben ábrázolhatók legyenek!
- 4) Ábrázolja az összegzett relatív gyakoriság értékeket (y-tengely) az osztályközepek függvényében (x-tengely)!
- 5) A kapott monoton növekvő ponthalmazra rajzoljon egy egyenest, amelyik a legjobban megközelíti a pontokat! (Így megkapjuk az adatokat legjobban közelítő normális eloszlás transzformált képét.)
- 6) Határozza meg a közelítő normális eloszlás paramétereit:
 - a. várható érték (μ): az az érték, ahol a normális eloszlás egyenese metszi az 50%-os valószínűségi szintet (y-tengely);
 - b. elméleti szórás (σ): a várható érték és a 84%-os valószínűségi szinthez tartozó egyenes-metszéspont érték különbsége!

3 FOLYAMATOK INGADOZÁSA

A termelési folyamatból nem zárhatók ki a zavarok, amelyeknek minőségre gyakorolt hatása, fellépési valószínűsége az adott termelőrendszerektől függően eltérő lehet. Ezek a zavarok minden gyártási rendszerben léteznek, hatásuk csökkentése, időbeni felismerése és kiküszöbölésük alapvető feladat. A zavartényezők forrásai:

- nyersanyagok, alkatrészek kisebb eltéréseiből
- megmunkálógépek, berendezések, szerszámok, gyártóeszközök műszaki állapotának kisebb változásaiból
- karbantartási ellenőrző tevékenység
- alkalmazott munkamódszerek
- külső környezeti ingadozások
- dolgozók eltérő szakmai szintje, figyelme, begyakorlottsága.

A folyamat eltéréseit okozó zavarhatásokat két típusra oszthatjuk:

- veszélyes zavarok

Időszakosan jelentkeznek, kis számban fordulnak elő, a minőségre való hatásuk jelentős. Ha nagy amplitúdóval vannak jelen, akkor kritikus zavaroknak nevezzük. A veszélyes zavarok rendszeres, szisztematikus hibát okoznak, tehát előjelük és nagyságuk meghatározható. A cél a veszélyes zavarok megszüntetése és a folyamatból való kiküszöbölése. A veszélyes zavarok felismerése, gyors elhárítása (mivel jelentősen befolyásolhatják a minőségsszintet, erős minőségssrontó hatásuk van) a minőségsszabályozás egyik alapkövetelménye. A veszélyes zavaroknak két típusát különböztetjük meg:

- beállást változtató: átlag vagy medián megváltozása
- ingadozást megváltoztató: szórás, terjedelem változása

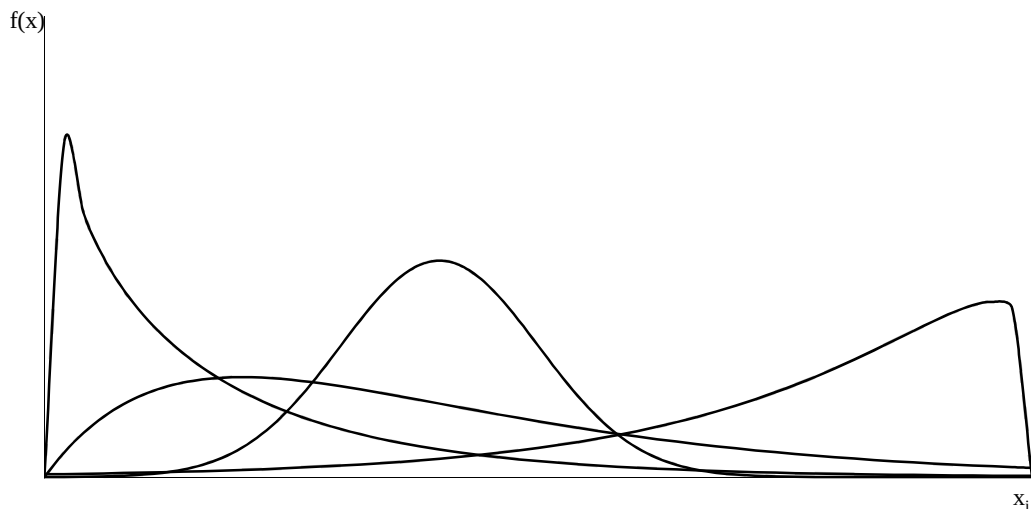
A veszélyes zavarok a szabályozási tevékenység célpontjai, a szabályozás arra törekszik, hogy az ilyen típusú zavart megszüntesse. A veszélyes zavarok okainak elemzésében és az elhárítás kidolgozásában jelentős a hibakatalógus, mint tárolt tudásbázis lehetősége.

- véletlen zavarok

Állandóan jelen vannak a technológiai folyamatban, nagy számban fordulnak elő, a minőségre való hatásuk kismértékű. Egy adott gyártási folyamat véletlen zavarai jelentős műszaki technológiai fejlesztés nélkül kiküszöbölhetetlenek, hatásuk csökkentése elvileg és gyakorlatilag is megoldhatatlan. A véletlen zavarokkal tehát a szabályozás kapcsán nem kell foglalkozni, mégis a szabályozás tervezése szempontjából kiemelkedően kezelendők, ugyanis a szabályozott folyamat normális állapotát éppen a véletlen tényezők dinamikus statisztikai elemzéssel meghatározható pontossági határai adják meg. A normális szabályozott állapot tehát egy statisztikusan meghatározható, az adott gyártási rendszer véletlen tényezőitől függő sávval (határokkal) írható le. A határok által kijelölt sáv egy konfidencia-intervallumnak fogható fel, és így valószínűségi változónak tekinthető. E véletlen hiba eloszlása általában normális eloszlás, zérus várható értékkel és adott szórással. ($h_{\text{véletlen}} \approx N(0; \sigma)$).

Egy folyamatra ható zavarok közül a rendszeres hibát ki kell küszöbölni, így a továbbiakban a véletlen hibákra tevődik a nagyobb hangsúly. A véletlen ingadozás számos meghatározható és meghatározhatatlan okra vezethető vissza, úgy mint a folyamat során részt vevő személyek különbözősége, eltérő időpont, eltérő működési körülmények. Ezen ingadozások nagyságát lehet csökkenteni, de teljesen kiküszöbölni nem lehet.

Ha a rendszeres hibákat kiküszöböltük, akkor a folyamat vizsgálatára begyűjtött adatok csak a véletlen hibával terheltek. Ezen adatok eloszlása általában normálisnak tekinthető, de előfordulnak más eloszlások is. Az 1. ábrán láthatók ilyen eloszlás sűrűségfüggvényei (szimmetrikus, jobbra ferde, balra ferde eloszlások). Az adatok eloszlásának vizsgálata elengedhetetlen a képesség számítása során. Ha ismert a folyamat vizsgálandó paramétereinek az eloszlása, akkor matematikai statisztikai elvek alapján kiszámítható a képesség indexekből a keletkező selejtek száma. A képesség matematikai leírása a folyamatra vonatkozó tűrések (tűrésmező szélessége) és a folyamat viselkedéséből adódó jelenlevő zavarok figyelembevételével számított ingadozás aránya. Ez az adott valószínűséghez tartozó ingadozás kiszámítható abban az esetben, ha ismerjük az adatok eloszlását. Az elméleti sűrűségfüggvényről leolvasható, hogy adott intervallumban az adatok hány %-a található. Bármely sűrűségfüggvény esetén a görbe alatti terület jellemzi ezt az értéket. A görbe alatti terület értéke $(-\infty; +\infty)$ tartományban 1, azaz az elemek 100%-a.



5. ábra: Adatok eloszlásának néhány típusa

Ha egy folyamat vizsgálandó paramétere normális eloszlást követ, μ várható értékkel és σ elméleti szórással, bizonyos intervallumokba való bekerülés valószínűsége látható az ábrán (2. ábra). Például 99,73 % valószínűséggel a vizsgálandó paraméter értéke a $(\mu+3\sigma; \mu-3\sigma)$ intervallumban lesz; vagy annak a valószínűsége, hogy a várható érték körüli egyszeres szórás tartományán kívüli értéket kapjunk $100-68,26\%=31,74\%$ lesz. Azt is mondhatjuk, hogy bármely normális eloszlású valószínűségi változó értéke a várható érték körüli $\pm 3\sigma$ tartományban helyezkedik el nagy valószínűséggel (99,73%-kal), azaz az adatok 6σ széles tartományban ingadoznak, 1000 esetből háromszor fordulhat elő (1 millióból 2700-szor), hogy a véletlen okozta ingadozás miatt az említett intervallumon kívül kerüljünk.

3.1 MINŐSÉKGÉPESSÉG VIZSGÁLATOK

Képesnek nevezünk egy folyamatot, ha az előírt követelményeknek megfelel a folyamat kimenetele. Egy folyamat képességét számszerűsítve kaphatjuk a képesség, teljesítmény indexeket, valamint arányokat; összességében képesség indexeknek nevezzük ezeket. A képesség index egy szám, amely jellemzi a folyamat működését. Ezek az indexek arról szolgáltatnak információt, hogy a folyamat megfelelőképpen működik-e vagy sem.

Képesség vizsgálata során a folyamat ingadozását viszonyítjuk az előírt követelményekhez, azaz a tűrésmezőhöz. A képesség index értéke a következőképpen számítható ki:

$$C_x = \frac{FTH - ATH}{6\hat{\sigma}} = \frac{TM}{6\hat{\sigma}}, \quad \text{ahol } C_x: \text{ képesség index (capability)}$$

FTH: felső tűréshatár

ATH: alsó tűréshatár

TM: tűrésmező

$\hat{\sigma}$: a folyamat elméleti szórásának becslése.

A $6\hat{\sigma}$ jelenti annak az intervallumnak a szélességét, amelyen belül található a jellemző értéke 99,73% valószínűséggel, ha a jellemző normális eloszlást követ. A képességindex értékének a következők adódhatnak egy gyártási folyamat során, ha az eloszlás várható értéke és a tűrésmező közepe egybeesik (6. ábra):

$C_x=1$, ha a tűrésmező szélessége megegyezik a vizsgált jellemző ingadozásának $6\hat{\sigma}$ tartományával ($TM=6\hat{\sigma}$)

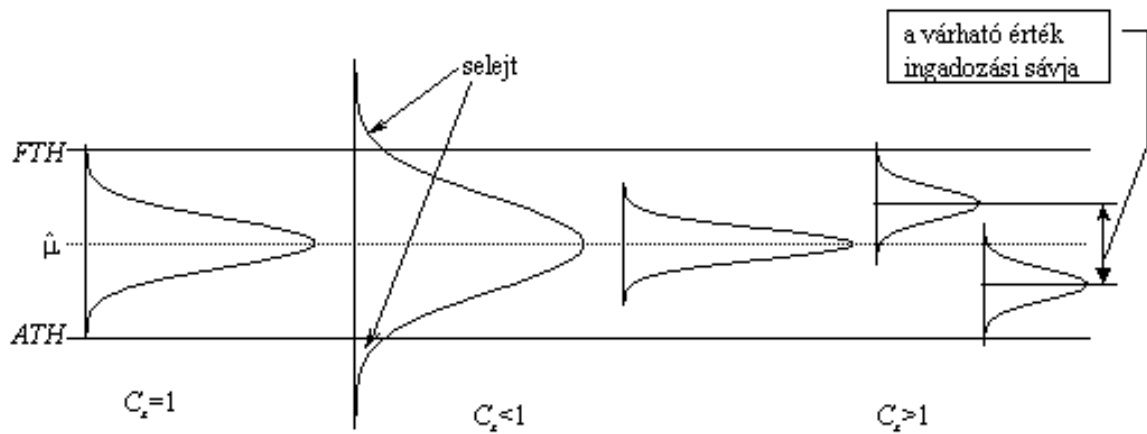
Ha munkadarab vizsgálandó jellemzőjének eloszlása normális, akkor minden 1000 munkadarab közül három tűrésen kívüli darab található. A gépbeállítónak arra kell törekednie, hogy a gyártás a legkedvezőbb átlagon, a tűrésmező közepén történjék.

$C_x<1$, ha a tűrésmező keskenyebb, mint a vizsgált jellemző ingadozásának $6\hat{\sigma}$ tartománya

Ilyenkor műszaki szempontból meg kell vizsgálni, hogyan lehetne a gyártmányok méretingadozását csökkenteni, és meg kell vizsgálni, hogy az előírt tűrés nem túl szigorú-e, nem lehet-e a minőség csökkenése nélkül ezt enyhíteni.

$C_x>1$, ha a tűrésmező szélesebb, mint a vizsgált jellemző ingadozásának $6\hat{\sigma}$ tartománya

Ekkor a kevés selejtet tartalmazó gyártás mindaddig lehetséges, amíg az eloszlás várható értéke mindkét tűréshatártól legalább $3\hat{\sigma}$ távolságra esik, vagyis a folyamat egy meghatározott sávon belül eltolódhat anélkül, hogy selejtes darabok keletkeznének.



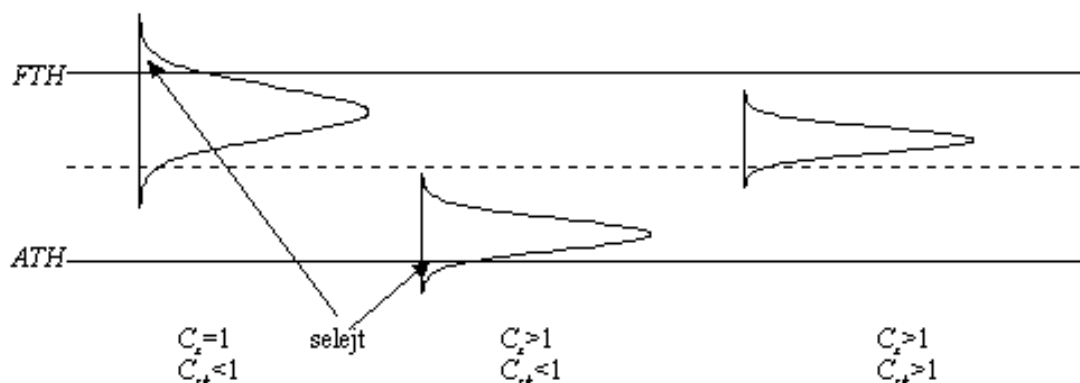
6. ábra: A képességiindex értékének változása, ha a folyamat várható értéke és a tűrésmező közepe egybeesik

Látható, hogy a fenti módon számított képességiindex nem veszi figyelembe a folyamat centrumának esetleges ingadozását. Ezt küszöbölik ki a korrigált minőségképességi indexek. A korrigált folyamatképességi index a következő módon számítható ki:

$$C_{xk} = \text{Min} \left\{ \frac{\mu - ATH}{3\sigma}; \frac{FTH - \mu}{3\sigma} \right\},$$

ahol μ az adatok várható értékének becslése.

A korrigált képesség index képletéből látható, ha a vizsgálandó jellemző eloszlásának várható értéke megegyezik a tűrésmező közepével, akkor megegyezik az alap képességiindex értékével. Ha a folyamat várható értéke valamely irányban el van tolódva, akkor a korrigált képesség index értéke mindig kisebb az alap index értékénél. (7. ábra)



7. ábra: Korrigált képességi indexek vizsgálata

Az alap képességiindex (C_x) értéke a képletből adódóan csak pozitív szám lehet. Értéke (adott tűrésmező mellett) annál nagyobb, minél kisebb a termék minőségi jellemzőjének szórása. Ha a mért értékek szórása nulla, az index értéke matematikailag nem számítható, gyakorlatilag végtelennek tekinthető. Ez esetben

azonban megkérdőjelezhető, hogy az alkalmazott mérőrendszer megfelel-e a mérési feladatnak (elégtelen felbontás vagy nem megfelelő érzékenység esete állhat fenn).

A korrigált képességindex (C_{xk}) értéke mindig kisebb vagy egyenlő az alap indexével. Az index általában pozitív szám. Az index értéke zérus, ha a beállítás értéke megegyezik az egyik tűréshatár értékével. Az index értéke negatív is lehet, ha a gyártás beállása a tűrésen kívül van. Ha a mérések szórása zérus, akkor az alap indexhez hasonlóan ez az index sem számítható, praktikusán végtelennek tekinthető.

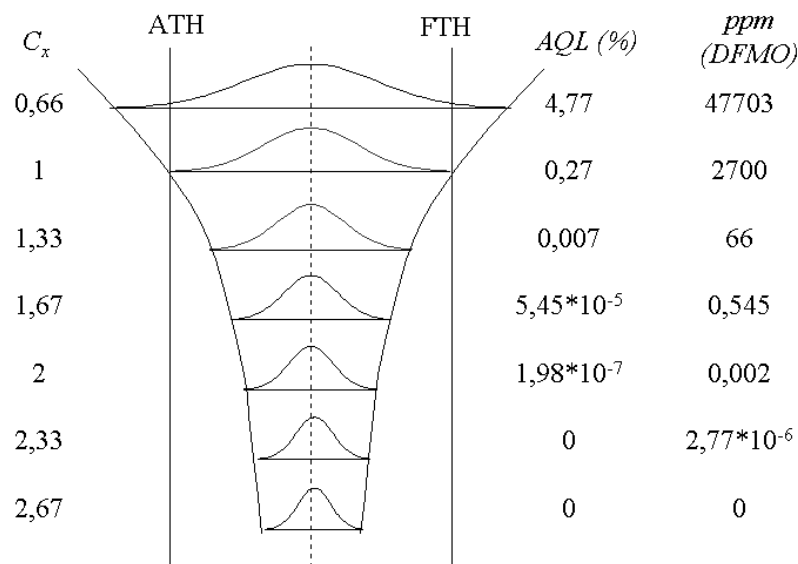
Ha az alap és a korrigált képesség index közel megegyezik, akkor a gyártás megfelelően szabályozott, szabályozásból eredő minőség-tartalék nincs a gyártási rendszerben. Ha a két index jelentősen eltér egymástól, akkor a gyártás nem megfelelően szabályozott, jelentős szabályozási minőség-tartalékokkal rendelkezik.

3.2 A MINŐSÉKGÉPESSEGE INDEXEK ÉS EGYÉB MINŐSÉG-MUTATÓK KAPCSOLATA

A minőséggel kapcsolatos követelmények egyre szigorúbbá válása a régi értelemben vett százalékos minősítést (AQL%: átvételi hibaszint; $p\%$: selejtszázalék) túlhaladta. A tömeggyártás minőségének megítélésére bevezetésre került az egymillió darabra jutó hibaszám, amelyet ppm -mel (part per million) jelölünk. A ppm és a minőségképessege indexek között szoros kapcsolat van, mivel mindkettő egyértelműen meghatározza a selejtes elemek megbecsülhető számát.

Tekintsük azt az esetet, amikor középpontos gyártás van folyamatban. Ekkor az alap és a korrigált képesség indexek értékei megegyeznek. Ha ismert a folyamat szórása, akkor meghatározható, hogy adott valószínűség mellett hány elem kerül a tűréshatárokon kívülre, vagyis mekkora a selejtarány.

A képességindexek és a selejtszázalék (AQL%, $p\%$) ill. a ppm közötti összefüggéseket láthatjuk a következő ábrán. (8. ábra)



8. ábra: Képességindexek kapcsolata a selejtszázalék és a ppm értékekkel

3.3 SZABÁLYOZOTTSÁG FOGALMA

Egy folyamat szabályozott, ha folyamatos nyomonkövetés alkalmazva azt tapasztaljuk, hogy csak véletlen zavarok érik a rendszert. A különféle (pl. gyártási, mérési) folyamatok stabilitása, állandósága szabályozó kártyák segítségével ellenőrizhető. A folyamatszabályozó kártya azoknak az értékeknek az egymás utáni grafikus megjelenítésére szolgáló grafikon, melyeket a folyamatos gyártásból vett minták

értékei adnak. Ezek az értékek lehetnek a mért értékek, vagy ezekből képzett statisztikai jellemzők. A folyamatszabályozó kártya bevezetésének célja, hogy a diagramba előzetesen behúzott szabályozási határok alapján a folyamatot szabályozni lehessen.

A szabályozó kártya vezetése abból áll, hogy rendszeres időközönként, vagy legyártott darabonként adott n elemű mintát kell venni, és ezekből képezünk statisztikai jellemzőket (pl. átlag, terjedelem, selejtszám, hibák száma). Ezen statisztikai jellemzőket ábrázoljuk az eltelt idő függvényében, és vizsgáljuk, hogy az ábrázolt pont a szabályozási határon kívül esik-e vagy valamely rendszeres mintázat fedezhető-e fel a kártyán, mivel mindezek szabályozatlanságra utalnak, vagyis a folyamatba be kell avatkozni. A szabályozó kártyák elméletéről, és tervezéséről a későbbiekben esik szó.

3.4 SZABÁLYOZOTTSÁG ÉS KÉPESSÉG

Egy folyamat elemzése során fontos annak vizsgálata, hogy a termék fontosnak ítélt paraméterei az előírt határokon (tűrőhatárokon) belül helyezkedik el, azt neveztük képességnak. A minőség folyamatos fenntartása és vizsgálata miatt fontos azt is vizsgálni, hogy az időben állandó-e a teljesítménye a folyamatnak, vagyis szabályozottnak tekinthető-e. A képesség és a szabályozottság fogalmait jól illusztrálja a 9. ábra. Ha a folyamat teljesíti a tűrésre vonatkozó követelményeket és csak véletlen jellegű ingadozások vannak jelen a folyamatban (1. kategória), akkor nincs szükség további intézkedésre, csak arról kell gondoskodni, hogy ezen állapotot az időben fenntartsuk.

Az olyan folyamat esetén, amelyre még nem vezettünk be SPC eszközöket, általában a 4. vagy a 3. típusú mintázatot mutatják. A 4. kategóriába eső folyamat esetén elsősorban be kell állítani a folyamatot oly módon, hogy a vizsgálat jellemző középértékét a tűrésmező közepére állítjuk, ha az intézkedés költségei kisebbek, mint a selejt okozta veszteségek. Ha a 3. kategóriát elértük a folyamat vizsgálandó jellemzőjére vonatkozóan, akkor különféle folyamatjavító és hibakereső minőségügyi technikák segítségével (pl. Pareto elemzés, Ishikawa diagram) az ingadozások szabályozottá tételével érjük el a szabályozott és képes folyamatot (1. kategória). A 2. kategória általában nem fordul elő a gyakorlatban, mert szabályozott folyamatot olyan esetben kívánunk fenntartani és létrehozni, amikor már teljesülnek a képességre vonatkozó követelmények.

A FOLYAMAT

	<i>képes</i>	<i>nem képes</i>
<i>szabályozott (stabil)</i>	1.	2.
<i>nem szabályozott (nem stabil)</i>	3.	4.

9. ábra: Egy folyamat szabályozottságának és képességének összehasonlítása (Kemény, 2001)

4 MINŐSGKÉPESSÉG VIZSGÁLAT TÍPUSAI

Minőssgképesseg vizsgálatokat a gyártási, mérési folyamatokra fontos elvégezni. Vannak olyan adott iparágra vonatkozó beszállítói többletkövetelmények (pl. autóipar esetén QS 9000, VDA), amelyek konkrétan előírják a képessegvizsgálatok gyakoriságát, elvégzésének szükségességét, valamint az indexekre vonatkozó határértékeket. Minőssgképessegvizsgálatot az alábbi esetekben kell végrehajtani:

- új berendezés megvásárlása előtt, hogy az esetleges problémákat idejekorán megszüntessük;
- a berendezés felállítás után, hogy a gyártási alkalmasságról meggyőződjünk;
- a termelés megkezdésekor, hogy az adott folyamat (gép, kezelő, szerszám, anyag) együttese képes-e az előirt egyenletes minőség előállítására;
- állandó időközönként, hogy a folyamat hosszú távú képessegét is felmérjük;
- vásárlói reklamáció, az előírások nem teljesítése, az okok kiderítése céljából;
- karbantartás, felújítás előtt és után, a két állapot összehasonlítására.

A minőssgképesseg vizsgálat több fajtáját különböztethetjük meg attól függően, hogy mire vonatkozik a vizsgálat:

- Gépképesseg vizsgálat (rövidtávú): egy gyártóeszköztől igazoljuk, hogy le tudja gyártani a műszaki követelményekben előirt tűrésű munkadarabot.
- Középtávú folyamatképesseg vizsgálat: A gyártás folyamán megfelelő hosszúságú mintavételezés során tájékozódunk a folyamat teljesítőképességéről. Folyamatosan, időről-időre számítjuk a képessegindex értékeit.
- Előzetes folyamatképesseg vizsgálat: a gyártás megkezdése után rövidebb idő alatt képet szeretnénk kapni arról, hogy a folyamat megfelelően működik.
- Hosszútávú folyamatképesseg, folyamatteljesítmény vizsgálat: Több hónapig tartó folyamatos működés során képet szeretnénk kapni arról, hogy a hónapok során nem változott-e a képesseg.
- Mérőeszköz-képesseg vizsgálat: a mérőeszköztől igazoljuk, hogy megfelelő bizonytalansággal meg tudja mérni egy alkatrész paraméterét, amely tűrésmezőjének a 15%-án belül találhatóak mérőeszköz mérési eredményei nagy biztonsággal. A vizsgálat során egy személy egy mérési etalont megmér a vizsgálandó mérőeszközzel legalább 30-szor, ez képezi a további statisztikai vizsgálatához szükséges mintát.

A mérőeszköz képesseg vizsgálatának kivételével a képesseg indexek képletei megfeleltethetők az előbbi fejezetben tárgyalt kifejezésekkel, a különbség abban áll, hogy eltérő mintavételezéssel vizsgáljuk a folyamatokat, ill. az eloszlás paramétereit különbözöképpen becsüljük.

4.1 GÉPKÉPESSÉG VIZSGÁLAT

A gépképesseg (machine capability) vizsgálat célja bebizonyítani, hogy a gép a megadott tűréseken belül képes legyártani az alkatrészeket, ha a vizsgált gép egy általunk ismert eloszlás szerinti véletlen ingadozás mellett gyárt.

A gépképesseg vizsgálatához általában 100 db, egymás után legyártott alkatrész vizsgálata szükséges. A gépképesseg rövid időtartamú vizsgálat, meghatározásával arra szeretnénk választ kapni, hogy az adott gyártóeszköz változatlan körülmények között képes-e a követelményeknek megfelelő alkatrészt legyártani.

A gépképesseg index:

$$C_m = \frac{FTH - ATH}{6\hat{\sigma}}, \text{ ahol } \hat{\sigma}: \text{ a folyamat elméleti szórásának becslése}$$

Korrigált gépképesség index:

$$C_{mk} = \text{Min} \left\{ \frac{FTH - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\hat{\mu} - ATH}{3\hat{\sigma}} \right\}, \text{ ahol } \hat{\mu}: \text{ a folyamat várható értékének becslése}$$

A gépgyártásban gyakori eset, hogy a mérési eredményeket kis csoportokba gyűjtve írják össze. Általánosságban m db kiscsoportot képeznek, csoportonként n db mintaelemszámmal. Például ha 50 elem vizsgálatát tekintjük, akkor $m \cdot n = 10 \cdot 5$ db elemet jelent. A folyamat paramétereinek becslését ezekkel a megfontolásokkal íróm fel. A gépképesség akkor megfelelő, ha $C_{mk} \geq 1,33$ vagy 1,67.

A várható érték és az elméleti szórás becsléseinek módjai

- A várható érték becslése történhet az átlagból vagy a kiscsoportok mediánértékeinek átlagából:

- $\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \sum_{j=1}^m \bar{x}_j$ (az m db kiscsoport átlagainak az átlaga)

- $\hat{\mu} = \bar{\tilde{x}} = \sum_{j=1}^m \tilde{x}_j$ (az m db kiscsoport mediánértékeinek az átlaga)

- Az elméleti szórás becslése háromféleképpen történhet

- $\hat{\sigma}_{\bar{R}} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{d_2}$, ahol d_2 : a kiscsoport mintaelemszámától függő konstans (2. táblázat)

- $\hat{\sigma}_{\bar{s}} = \frac{\bar{s}}{c_4} = \frac{\sum_{j=1}^m s_j}{c_4}$, ahol c_4 : a kiscsoport mintaelemszámától függő konstans (2. táblázat)

- $\hat{\sigma}_s = s^* = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2}{n \cdot m - 1}}$, vagyis az összes mintaelemről számított korrigált tapasztalati szórás.

Az elméleti szórás három fajta becslése a gépképességi vizsgálatok esetén nem különböznek lényegesen egymástól, a legmegfelelőbb a harmadik becslés, a korrigált tapasztalati szórás, de kézi számolás esetén bonyolult a kiszámítása, ezért a gyakorlatban az első becslési mód a legelterjedtebb.

2. táblázat: Szórás becslésének számításához szükséges konstansok értékei a mintaelemszámtól függően

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078
c_4	0,798	0,886	0,921	0,940	0,952	0,959	0,965	0,969	0,973

4.2 KÖZÉPTÁVÚ FOLYAMATKÉPESSÉG VIZSGÁLAT

Az egyik leggyakrabban alkalmazott képességvizsgálat a folyamatkéesség vizsgálat (process capability), itt kezdődik el a tényleges gyártás. E vizsgálat során egy folyamat megfelelőségét szeretnénk vizsgálni, egy számmal megfeleltetni. Egy folyamat megfelelő működéséről úgy szerezhetünk információt, ha időnként mintát véve a folyamatból, statisztikai elemzésnek vetjük alá.

A képesség számításához szükségünk van a folyamat várható értékének és szórásának ismeretére. Középtávú folyamatkéesség (továbbiakban folyamatkéesség) vizsgálat során legalább 125 mintaelemet kell venni az elemzéshez, időnként (pl. óránként) 3-5 elemű mintavétellel, vagyis m db csoportban $n=3...5$ db mintaelem. Ha $n=5$, akkor legalább $m=25$ kiscsoportot kell tekinteni megfelelő adathalmaznak. A képességindexet szabályozott, statisztikailag kézbe tartott folyamatból kell számítani.

A folyamatkéesség index:

$$C_p = \frac{FTH - ATH}{6\hat{\sigma}}, \text{ ahol } \hat{\sigma}: \text{ a folyamat elméleti szórásának becslése}$$

Korrigált folyamatkéesség index:

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{FTH - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\hat{\mu} - ATH}{3\hat{\sigma}}\right\}, \text{ ahol } \hat{\mu}: \text{ a folyamat várható értékének becslése}$$

A folyamatkéesség számítása során nem egymás után következő csoportokat tekintenek mintának, hanem a folyamatos gyártásból vett ellenőrző mintákat. Amikor a folyamatkéesség index értékénél a szórást szeretnénk becsülni, akkor csak a mintákon belüli ingadozást kell figyelembe venni, azaz a szórás becslése kétféleképpen történhet:

$$- \hat{\sigma}_{\bar{R}} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \text{ ahol } d_2: \text{ a kiscsoport mintaelemszámától függő konstans (2. táblázat)}$$

$$- \hat{\sigma}_{\bar{s}} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m s_j}{m}}{c_4} = \frac{\bar{s}}{c_4}, \text{ ahol } c_4: \text{ a kiscsoport mintaelemszámától függő konstans (2. táblázat)}$$

A gépképesség számításánál megismert harmadik típusú becslést itt nem alkalmazhatjuk, mert az figyelembe veszi az esetleges, kiscsoportok különböző időpontban történő mintavételezésének ingadozását is. Ez vizsgálható a folyamatteljesítmény index számításánál.

4.3 A MINŐSGKÉPESSÉG INDEXEK EGYÜTTES VIZSGÁLATA

A különböző minőségképesség (gépképesség és folyamatképesség) indexek nem kezelhető teljesen függetlenül egymástól. Egy gyártási folyamatban több, nem feltétlenül egyforma gép szerepel, így ha a folyamat kimenetelére megfelelő selejtarányt, azaz képességet szeretnénk elérni, a gépképességet szigorúbbnak kell tekinteni, mert az adott gépen kialakított minőségi paramétereken a többi gyártási lépés még ronthat. A képesség tehát megfelelő, ha:

$$C_{mk} \geq 1,33 \text{ és } C_{pk} \geq 1,00$$

Ez annyit jelent, hogy az előírt tűrésmezőhöz képest a gép szórásának aránya 1,33-as érték, azaz zavarás esetén a gép 33%-os tartalékkal rendelkezik.

Az egyes iparágak a fenti, általánosan elfogadott indexeknél lényegesen szigorúbb követelményeket írnak elő. Mivel a gép- és folyamatszórás szoros kapcsolatban van, ezért az előírások indexpárookra vonatkoznak (3. táblázat). Például a Ford beszállítóitól az 1,33-1,00 indexpárt, saját belső gyártásánál általános esetben az 1,67-1,33 indexpárt, kritikus alkatrészek gyártására a 2,00-1,67 indexpárt kér. A Bosch cég, amely köztudottan nagyjaink legelső autóelektronikai alkatrészgyártója, a 2,33-2,00; 2,67-2,33 indexpárokat használja. Ez gyakorlatban annyit jelent, hogy a gép általában 8-12-szer pontosabb gyártásra képes, mint az előírt tűrésmező.

3. táblázat: Gépképesség és folyamatképesség indexpárok

C_{mk}	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,00
C_{pk}	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67

A rövid-, közép- és hosszútávú vizsgálatok indexeinek összevetéséből levonható következtetések:

- Ha a rövid-, közép- és hosszútávú vizsgálatok azonos típusú indexei közel megegyeznek, akkor a gyártás hosszú távon is megfelelően szabályozott, az egyenletes minőség a gyártásban biztosított.
- Ha a rövid-, közép- és hosszútávú vizsgálatok megfelelő indexei jelentősen különböznek, akkor a gyártásban időről-időre veszélyes zavarok lépnek fel és maradnak meg, a gyártás egyenletessége nem biztosított.

A rendszeres vizsgálatok indexeiből levonható következtetések:

- Ha az indexek egyenletesek, értékük jelentősen nem változik, akkor a gyártás szabályozott, egyenletes mederben folyik.
- Ha az indexek értéke jelentősen ingadozik, akkor az a gyártás szabályozatlanságára utal.
- Ha a minőségképességi indexek értékei tendenciózusan nőnek, akkor a gyártott termékek minősége, a gyártás szabályozottsága javul. Ennek oka lehet a technológia jobb megismerése révén a szabályozási termékek javulása, megfelelőbb alapanyag-ellátás, az üzemeltetési gyakorlat megszerzése.
- Ha az indexek értéke folyamatosan csökken, akkor az a gyártás szórásának növekedésére utal. Ennek oka lehet a gyártási körülmények vagy a gép állapotának romlása, a gép elhasználódása. Egy idő után célszerű a gyártási körülményeket megvizsgálni és azokon javítani (pl. gépet felújítani)

5 SZABÁLYOZÁSI RENDSZER KIALAKÍTÁSÁNAK MENETE

A szabályozási (SPC, Statistical Process Control) rendszer bevezetése során első lépésként meg kell határozni, hogy mi a vizsgálandó folyamat vagy művelet (10. ábra). Második lépésként definiálandó, hogy melyek a termék vagy alkatrész azon jellemzői, amelyekre szükséges a folyamatos nyomonkövetés, valamint a képességindexek számítása. Egy gépipari alkatrész esetén például az összeszerelhetőség vagy a későbbi működés miatt szignifikánsnak jelzett méreteket kell vizsgálni, amelyeket SPC-s méretnek is neveznek. Ezen méreteket az alkatrész tervezése során a tervezőmérnökök határoznak meg, és a műszaki rajzon külön jelöléssel látják el (pl. a méretet bekarikázzák). A kávécsomagok gyártása és töltése során ezen jellemző lehet a töltési tömeg, papír zsebkendő csomagolása során a 100-as papírzsebkendőben levő darabszám a kritikus paraméter.



10. ábra: Szabályozási rendszer bevezetésének menete

Miután meghatározzuk a folyamat szükséges paramétereit, megfelelő mérési módszert, mérőeszközt kell az ellenőrzési feladatra választani, és igazolni kell, hogy a vizsgálandó folyamat adott paraméterének a vizsgálatára megfelelő ellenőrzési rendszert dolgoztunk ki. Vagyis, a kritikus jellemző mérésére megfelel a mérőeszköz, a mérési folyamat képes a mérési feladat végrehajtására. Ennek a jellemzése történik a gépipar területén a mérőeszközképesség indexek és az R&R vizsgálat segítségével.

A megfelelő mérési eljárással és mérőeszközökkel ezután elsőként a rövidtávú, majd a közép- és hosszútávú képességvizsgálatokat végezzük el. Igazolásra kerül, hogy a kívánt minőségképességet mind rövidtávon (C_m , gépképesség), mind pedig a folyamat általános működése során (C_p , folyamatképesség) teljesíteni tudja a gyártás. Ezen paraméterek megfelelésége esetén megvizsgáljuk, hogy a folyamat szabályozható-e, és ha igen, akkor bevezethető a szabályozási rendszer (SPC), vagyis megfelelő szabályozó kártyák használatával nyomonkövetjük a vizsgált folyamatot, a kritikus paraméter(ek) alakulását az időben.

A szabályozási rendszer működtetése során a folyamatképességszámításokat és a szabályozó kártyát megfelelő mintavételi paraméterekkel folyamatosan kell számítani és értékelni. Ha szükséges, akkor be kell avatkozni a folyamatba. A mérőeszközök, mérési eljárás ellenőrzését bizonyos időközönként meg kell ismételni, ezzel is igazolva a megfelelőségét az idő előrehaladtával.

6 MÉRÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK

6.1 A FOLYAMATSZABÁLYOZÓ KÁRTYA ALAPELVE

A statisztikai folyamatszabályozás (Statistical Process Control, SPC) segítségével azt kívánjuk felügyelni, hogy a folyamatunk mennyire felel meg az elvárásoknak. *Szabályozottnak, stabilnak* tekintünk egy gyártási folyamatot, ha középértéke és a szórása az időben állandósult. Ezt ellenőrizzük a szabályozó kártyák segítségével.

A folyamatszabályozó kártya azoknak az értékeknek az egymás utáni grafikus megjelenítésére szolgáló grafikon, melyeket a folyamatos gyártásból vett minták értékei adnak. Ezek az értékek lehetnek a mért értékek, vagy ezekből képzett statisztikai jellemzők. A folyamatszabályozó kártya bevezetésének célja, hogy a diagramba előzetesen behúzott szabályozási határok alapján a folyamatot szabályozni lehessen.

A szabályozó kártya vezetése abból áll, hogy rendszeres időközönként, vagy legyártott darabonként adott n elemű mintát kell venni, és ezekből képezünk statisztikai jellemzőket (pl. átlag, terjedelelem, stb.). Ezen statisztikai jellemzőket ábrázoljuk az eltelt idő függvényében, és vizsgáljuk, hogy az ábrázolt pont a szabályozási határon kívül esik-e vagy valamely rendszeres mintázat fedezhető-e fel a kártyán, mivel mindezek szabályozatlanságra utalnak, vagyis a folyamatba be kell avatkozni.

A méréses szabályozó kártyákat általában párban használjuk, a gyártási folyamat középértékének és szórásának ellenőrzése miatt. Az előbbi ellenőrzésére alkalmas az átlag- vagy medián-kártya, az utóbbira pedig a szórás- vagy terjedelelem-kártya. Ha a gyártási folyamat vizsgálata során nem tudunk statisztikai jellemzőket számítani, – például nincs mód több elemű minta vételére – akkor egyedi mért értékeket is ábrázolhatunk az egyedi érték kártyán, és a szóródás ellenőrzésére alkalmas szabályozó kártya a mozgó terjedelelem kártya.

6.2 MÉRÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK FŐBB ELEMEI

6.2.1 MÉRÉSES KÁRTYÁK ELLENŐRZÉSI HATÁRAI A $\pm 3\sigma$ MODELL ALAPJÁN

A szabályozó kártyák szabályozási, beavatkozási határai a következő felsorolásban találhatók. A számításukhoz szükséges konstansok értékei a 4. táblázatban találhatók.

1. Középértékre vonatkozó szabályozó kártyák

a. átlag-kártya ($\bar{x}$ –)

$$\text{i. } FSZH = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \text{ és } ASZH = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$$

$$\text{ii. } FSZH = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \text{ és } ASZH = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

b. medián-kártya ($\tilde{x}$ –)

$$FSZH = \bar{\tilde{x}} + A_M \bar{R} \text{ és } ASZH = \bar{\tilde{x}} - A_M \bar{R}$$

c. egyedi érték kártya ($I-$; $X-$)

$$FSZH = \bar{x} + E_2 \bar{R} \text{ és } ASZH = \bar{x} - E_2 \bar{R}$$

2. Ingadozásra vonatkozó

a. terjedelem-kártya ($R-$)

$$FSZH = D_4 \bar{R} \text{ és } ASZH = D_3 \bar{R}$$

b. szórás kártya ($s-$)

$$FSZH = B_4 \bar{s} \text{ és } ASZH = B_3 \bar{s}$$

c. mozgó terjedelem kártya ($MR-$)

$$FSZH = D_4 \bar{R} \text{ és } ASZH = 0$$

4. táblázat: Méréss szabályozó kártyák határainak számításához szükséges konstansok

n	A_2	A_M	A_3	B_3	B_4	D_3	D_4	E_2
2	1,880	1,880	2,659	0	3,267	0	3,267	2,659
3	1,023	1,187	1,954	0	2,568	0	2,574	1,772
4	0,729	0,796	1,628	0	2,266	0	2,282	1,457
5	0,577	0,691	1,427	0	2,089	0	2,114	1,290
6	0,483	0,548	1,287	0,030	1,970	0	2,004	1,184
7	0,419	0,5085	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	1,109
8	0,373	0,433	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	1,054
9	0,337	0,412	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	1,010
10	0,308	0,362	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	0,975

6.3 MÉRÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK TERVEZÉSE VALÓSZÍNŰSÉG ELOSZLÁS ALAPJÁN

Az átlag-kártya tervezése során adott beavatkozási valószínűséghez meghatározhatjuk pontosan az átlag-kártya szabályozási határait. Az átlagok normális eloszlást követnek, de az átlagok szórása az egyedi értékek szórásának $\sqrt{n}$ -ed része (n elemű minta átlagát képezve), vagyis ha az egyedi mérési értékek szórása σ , akkor az átlagok szórása $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Ezért az átlag-kártya szabályozási határai (99,73% be nem avatkozási valószínűséghez):

$$FSZH_{\bar{x}} = \hat{\mu} + 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad ; \quad ASZH_{\bar{x}} = \hat{\mu} - 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad ; \quad KV_{\bar{x}} = \hat{\mu}$$

7 MINŐSÍTÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK

7.1 MINŐSÍTÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK FŐBB ELEMEI

1. selejtszám kártya (np –)

$$FSZH_{np} = \bar{np} + 3 \cdot \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)}$$

$$ASZH_{np} = \bar{np} - 3 \cdot \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)}$$

$$KV_{np} = \bar{np}$$

Egész számra kerekítve, negatív eredmény esetén végeredmény zérus.

2. selejtarány kártya (p –)

$$FSZH_p = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$$

$$ASZH_p = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$$

$$KV_p = \bar{p}$$

Negatív szabályozási határ nem lehetséges.

3. hibaszám kártya (c –)

$$FSZH_c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}}$$

$$ASZH_c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}}$$

$$KV_c = \bar{c}$$

Egész számra kerekítve, negatív eredmény esetén végeredmény zérus.

4. fajlagos hibaszám kártya (u –)

$$FSZH_u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

$$ASZH_u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

$$KV_u = \bar{u}$$

Negatív szabályozási határ nem lehetséges.

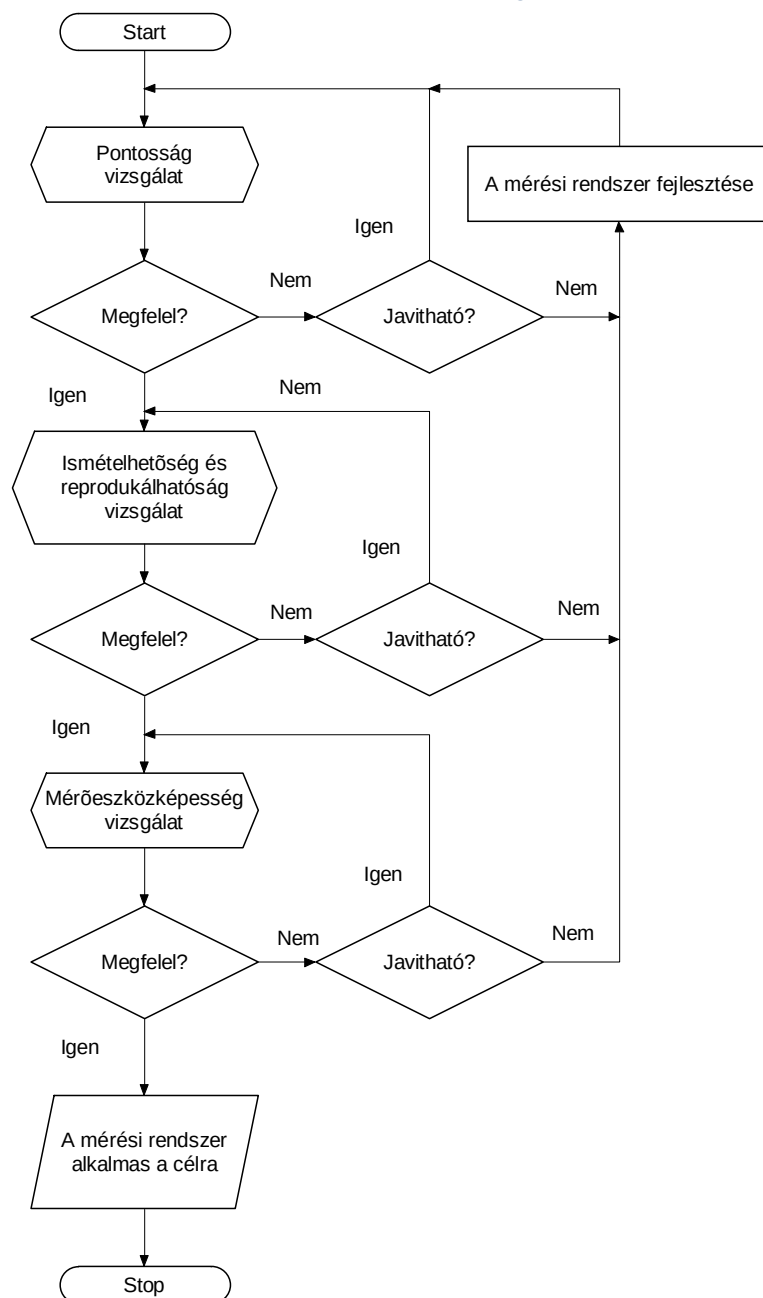
7.2 MINŐSÍTÉSES SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK TERVEZÉSE VALÓSZÍNŰSÉG ELOSZLÁS ALAPJÁN

A szabályozó kártyák beavatkozási határait meg lehet határozni a valószínűség-eloszlásaik alapján. Egy mintában található selejtes darabok száma binomiális eloszlást követ, tehát az eloszlás képlete felhasználásával pontosan meghatározhatjuk egy adott beavatkozási valószínűséghez a szabályozási határ értékét.

Egy mintában talált hibák száma (pl. autójátó festési hibái, egy oldalon található sajtóhibák száma, stb.) Poisson-eloszlást követ.

8 MÉRŐESZKÖZ-VIZSGÁLAT ELJÁRÁSAI ÉS FOLYAMATAI

11. ábra: Mérőeszközök vizsgálata



8.1 ISMÉTELHETŐSÉG ÉS REPRODUKÁLHATÓSÁG VIZSGÁLATA (GRR VIZSGÁLAT)

A mérési rendszer eltéréseit nemcsak a nem megfelelő pontosságú mérőeszközök okozhatják, hanem a mérést végző személyek is. Folyamatos gyártásnál az ellenőrzést több operátor (minőségellenőr) végzi, és a cél az, hogy az adott alkatrész különböző személyek által végzett mérései a lehető legjobban megközelítsék egymást.

Az *R&R vizsgálat* (GRR vizsgálat) során több személy (q db), több alkatrész (r db) vizsgálatát végzik el, ismételt (p db) mérések során. Általában $q=3$, $r=10$ és $p=3$.

Az ingadozás forrásainak felbontása:

1. Mérési eredmények eltérése (*TV*, total variation)
 - a. alkatrészek közötti különbség (*PV*, part variation)
 - b. mérőrendszer okozta különbség (*GRR*, gage repeatability and reproducibility)
 - i. mérőeszköz (ismételhetőség) (*EV*, equipment variation)
 - ii. operátor (reprodukálhatóság) (*AV*, appraiser variation)

A mérési eredmények eltérését jellemző variancia az alábbi összetevőkből épül fel:

$$TV = \sqrt{PV^2 + GRR^2}$$

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

Az egyes becsült komponensek (*TV*, *GRR*, *EV*, *AV*, *PV*) meghatározása után meghatározható a %GRR érték :

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100\%$$

Minősítési kritériumok:

$\%GRR \leq 10\%$: *Megfelelő*

$10\% < \%GRR \leq 30\%$: *Megfontolással elfogadható*

$\%GRR > 30\%$: *Nem megfelelő*

8.2 MÉRŐESZKÖZ KÉPESSÉG VIZSGÁLATA

A mérőeszköz-képesség a vizsgált mérőeszközzel adott mintán, azonos körülmények között végzett mérések szórása, viszonyítva a mérendő mennyiség vagy a mérőeszköz tűrésmezejéhez, ahol a mérőeszköz tűrésmezeje a mérendő mennyiség 15%-a. Mivel esetünkben a gyártási folyamat képességi indexe nem ismert, a mérőeszköz-képesség meghatározása az alábbi formulával történik:

$$C_g = \frac{T \cdot 0,15}{s_g},$$

ahol T : a tűrésmező szélessége

s_g : az azonos körülmények között, adott mintán történő ismételt mérések szórása

Mivel a mérőeszköz-képességi index csak a tűrésmező és a tapasztalati szórás értékét veszi figyelembe, és nem mutatja meg a mérések átlagértékének a valós értékhez való eltolódási viszonyát, be kell vezetni a korrigált mérőeszköz-képességi indexet.

$$C_{gk} = \text{Min} \left\{ \frac{(X_v + 0,075 \cdot T) - \bar{x}_g}{3 \cdot s_g}, \frac{\bar{x}_g - (X_v - 0,075 \cdot T)}{3 \cdot s_g} \right\},$$

ahol X_v : az adott minta valódi értéke

$\bar{x}_g$: az azonos körülmények között, adott mintán történő ismételt mérések átlaga

Minősítési kritériumok:

$$C_{gk} \geq 1,67 : \text{Megfelelő}$$

$$1,67 > C_{gk} \geq 1,33 : \text{Megfontolással elfogadható}$$

$$C_{gk} < 1,33 : \text{Nem megfelelő}$$

9 FELKÉSZÜLÉST SEGÍTŐ KÉRDÉSEK

1. Milyen módon lehet megjeleníteni az adatgyűjtés során nyert értékeket?
2. Miért hasznos a statisztikai módszereket alkalmazni a gyártás során? Hol alkalmazzák ezeket? Mi a matematikai statisztika célja?
3. Milyen célra alkalmas a valószínűségi háló és normális eloszlás esetén hogyan alkalmazhatjuk? Miért?
4. Miért használják párokban a méréses ellenőrző kártyákat? Milyen párosításokat ismer?
5. Soroljon fel legalább négy olyan típusú mintázatot az ellenőrző kártyán, amely arra utal, hogy be kell avatkozni a folyamatba!
6. Milyen minősítéses szabályozó kártyákat ismer? Milyen eloszlások segítségével lehet tervezni ezeket a kártyákat? Miért?
7. Milyen elv alapján határozhatók meg az átlag kártya szabályozási határai?
8. Minősítéses szabályozó kártyák esetén milyen szabályozási határok szoktak általánosságban lenni? Miért?
9. Ismertesse a folyamatszabályozás bevezetésének lépéseit!
10. Írja le a folyamatképesség definícióját és ismertesse a képességindexeket!
11. Mit jelent a gépképesség vizsgálat? Milyen módokon lehet egy folyamat szórását becsülni?
12. Mit jelent a folyamatképesség és a folyamat stabilitása? Képesség és stabilitás szempontjából milyen típusú folyamatokat ismer? Jellemezze ezeket!
13. Mit értünk a mérő- és vizsgálóberendezések képességvizsgálata alatt? Milyen részekből áll a mérőeszközök alkalmasságának vizsgálata?
14. Hogyan számíthatók ki a mérőeszközök képességindexei? Mi az eltérés a folyamatképességi indexek és a mérőeszköz-képesség indexek között?

10 FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT IRODALOM

- Grant, E. L. and R. S. Leavenworth: Statistical quality control, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1996
- Feigenbaum: Teljeskörű minőségsszabályozás, ExQualitas Libri Kft., Bp., 1991
- Harmath J., Papp Józsefné: SPC, Statisztikai minőségsszabályozás, Gép és folyamatképesség vizsgálat, BMF BDGFK AGI GGYT Szakmérnökképzés jegyzete, Budapest, 2000.
- Juran, J. M.: Minőség tervezés, szabályozás, ellenőrzés, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1966
- Juran, J. M.: Quality planning and analysis, McGraw-Hill, Inc. International editions, 1993
- Kemény S.: Statisztikai minőség- (megfelelőség-) szabályozás, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 2001
- Montgomery, D. C. (2009): Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley and Sons, Asia
- Papp L., Róth P., Németh L.: Statisztikai módszerek a minőségsszabályozásban, YMSIS Vezetési Tanácsadó Iroda, Budapest, 1992.
- Szabó G. Cs.: Minőségsszabályozás és –ellenőrzés, Műegyetemi Kiadó, 1996.
- Szegedi J.: Minőségsszabályozás, Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Kar Kiadói Hivatala, Dunaújváros, 1998.
- Szabó Gábor Csaba: Vállalati minőségsszabályozás, Gépípari Tudományos Egyesület, Bp., 1992
- Vincze István: Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975

Szabványok

- ISO 9000:2005: Minőségsszabályozási rendszerek. Alapok és szótár.
- ISO 3534 – 2:2006: Statisztika – Szótár és jelölések, II. rész Alkalmazott statisztika