

Mart felület síklapúságának vizsgálata

Mikó Balázs

Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Óbudai Egyetem, Népszínház u. 8. Budapest,
Magyarország

Absztrakt. Gépipari alkatrészekkel szemben támasztott pontossági elvárások a méret pontosságán túl kiterjednek a felületi minőségre, a geometriai alak pontosságára valamint a geometriai elem helyzetének pontosságára is. A fokozódó elvárások miatt előtérbe kerültek az alak- és helyzettűrések értelmezésével, ellenőrzésével és előállításával kapcsolatos kérdések. Jelen cikkben egy mart felület síklapúsága kapcsán vizsgáljuk, hogy koordináta mérőgépen történő mérés esetén a különböző pontfelvételi stratégiák hogyan befolyásolják a mért eredményt. A kérdés az, hogyan lehet minimalizálni a felvett pontok számát a mérési eredmény helyességének megtartása mellett. A mérési eljárás tervezése szempontjából egy olyan stratégia megalkotása a cél, ami kevés pont mérésével biztosít megfelelő eredményt.

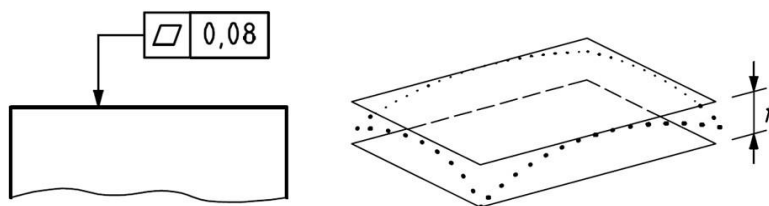
Kulcsszavak: síklapúság; mérési stratégia; koordináta mérőgép

1 Bevezetés

Alkatrészgyártás során eltérések mutatkoznak a tervezett és a legyártott alkatrész tulajdonságok között. Ezen eltérések okai a rendszer paramétereinek (anyag, gép, szerszám, készülék, technológia, mérés, környezet, ember stb.) változásában, bizonytalanságában keresendők. Az eltérések mértéke megfelelő folyamat tervezéssel csökkenthető, de kiküszöbölni nem lehet, ezért definiáljuk a tűréseket, mint a megengedett hiba mértékét. A munkadarab geometriáját tekintve így definiálható méret tűrés [1], alak tűrés, helyzet tűrés [2] és felületi érdesség [3].

A tűrések típusának és nagyságának meghatározása során a konstrukciós tervező figyelembe veszi az alkatrész funkcióját, jellegét, méretét, anyagát, a gyártási és szerelési technológiák képességeit [4]. Ennek során több, egymásnak ellentmondó követelménynek kell megfelelni. A mérettűrések önmagukban nem elegendők a pontos geometria definiálására, így az utóbbi évtizedben előtérbe kerültek az alak- és helyzettűrések alkalmazásai, mely folyamat magával hozta ezek definiálásával, értelmezésével, mérésével és gyártásával kapcsolatos problémákat [5][6][7].

Az alkalmazható tûrés típusokat a az ISO 1101-2012 szabvány tartalmazza [2]. Jelen cikk a síklapúság meghatározásával foglalkozik. A síklapúság eltérés definíciója: két egymással párhuzamos sík lap távolsága, melyek közrefogják a legyártott geometriai elemet (1. ábra). A tûrésmezõt alkotó két sík helyzete és orientációja tetszõleges a méret tûrésmezõn belül.



1. ábra Síklapúság rajzi jelölése és a tûrésmezõ [2]

Koordináta mérés technikai eszközzel (mérõgép, mérõkar, 3D szkennelõ stb.) végzett mérés esetén pontokat veszünk fel a felületen, és ezen pontokkal helyettesítjük a legyártott felületet. A pontthalmaz méretérõl és a határoló síkok meghatározásának módszerérõl a szabvány nem rendelkezik.

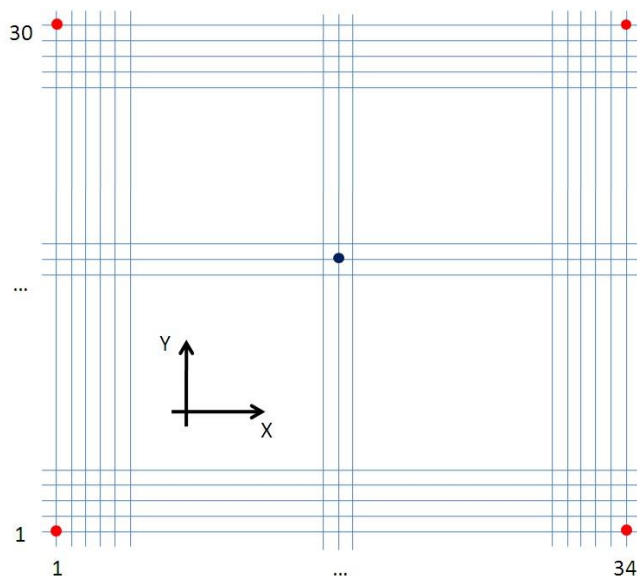
Jelen cikkben egy mart felület síklapúsága kapcsán vizsgáljuk, hogy koordináta mérõgépen történõ mérés esetén a különbözõ mérési, pontfelvételi stratégiák hogyan befolyásolják a mért eredményt. A kérdés az, hogyan lehet minimalizálni a felvett pontok számát a mérési eredmény helyességének megtartása mellett. A mérési eljárás tervezése szempontjából egy olyan stratégia megalkotása a cél, ami kevés pont mérésével biztosít megfelelõ eredményt.

2 A vizsgálat módszerei és eszközei

A síklapúság vizsgálatához használt teszt darab 42CrMo4 (1.7225) elõnemesített állapotú acélból készült, mérete 175x155 mm. A felület UF-231 típusú hagyományos marógéppel készült, a felületi érdesség átlaga 3x3 helyen, X és Y irányba mért adatok alapján $R_a = 2,97 \mu\text{m}$ ($\sigma = 1,19 \mu\text{m}$), $R_z = 18,63 \mu\text{m}$ ($\sigma = 6,84 \mu\text{m}$).

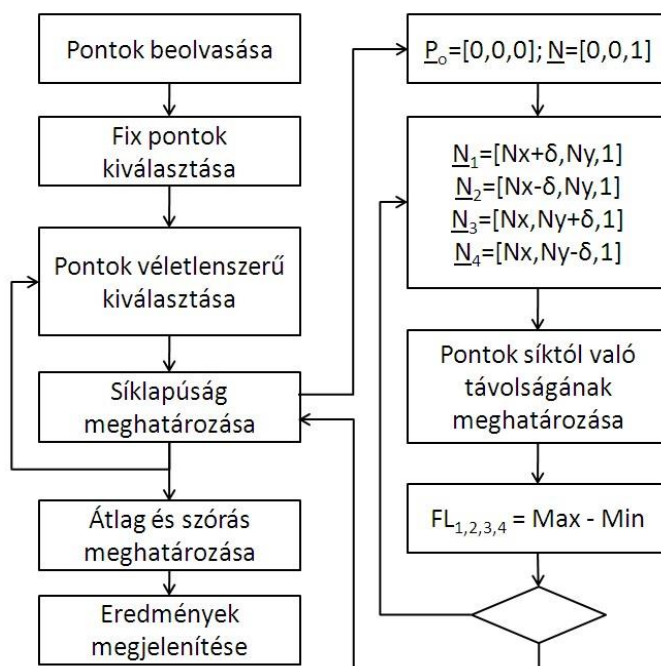
A felület mérése Mitutoyo Crysta-Apex S 776 típusú koordináta mérõgépen történt, 34 x 30 pont került megmérésre 5 mm-es osztásban, tehát összesen 1020 pont került rögzítésre (2. ábra).

A síklapúság kiértékelése során a minimum zóna módszer került alkalmazásra, vagyis keressük a pontthalmazt határoló két párhuzamos sík azon helyzetét, amikor a távolságuk a legkisebb.



2. ábra Mérési pontok hálózata

A vizsgálati sík helyzetének meghatározására készített algoritmust a 3. ábra mutatja.

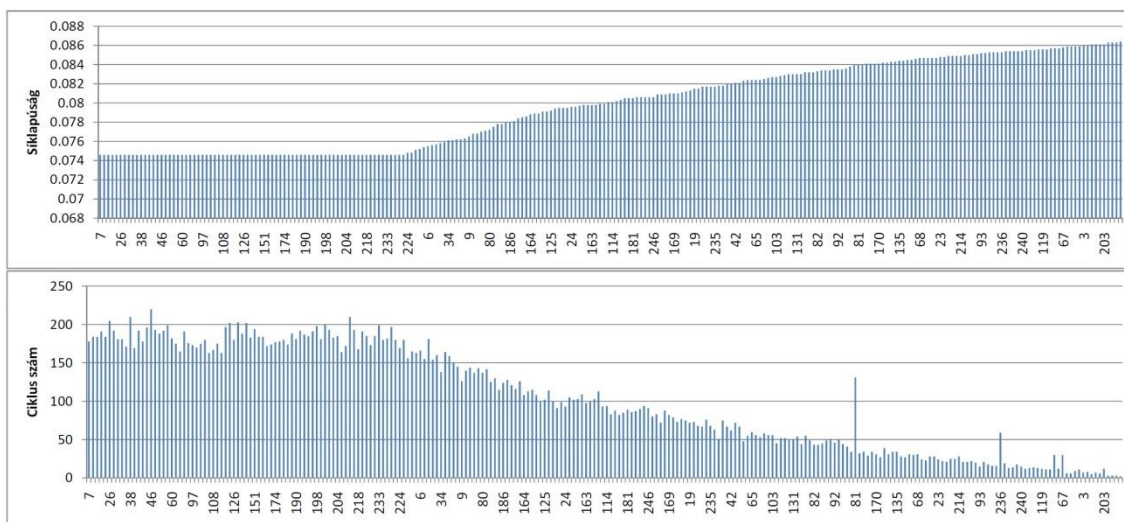


3. ábra A kiértékelés folyamata

A tőrésmerőt határoló két sík helyzete iterációval határozható meg. A kiinduló állapot egy vízszintes sík, mely átmegey a $\underline{P}_0=[0,0,0]$ ponton és a normál vektora $\underline{N}=[0,0,1]$. Az iteráció során a normál vektor X vagy Y komponensét változtatjuk δ értékkel és mind a négy lehetséges esetre meghatározzuk a vizsgált ponthalmaz pontjainak távolságát. A síkhoz képest legközelebbi és a legtávolabbi pont normál vektor irányú távolságának különbsége lesz a síklapúsági hiba értéke.

A négy lehetséges megoldás közül kiválasztjuk a legkisebbet és a következő iterációs lépésben ebből kiindulva vizsgáljuk a szomszédos megoldásokat. A keresési ciklus addig tart, míg a két egymást követő ciklus eredménye között a különbség kisebb, mint 10^{-6} mm vagy el nem érjük a 10.000 ciklust. A δ változás értéke ciklusonként véletlenszerűen kerül meghatározásra, értéke $10^{-6} \cdot (0 \dots 1)$.

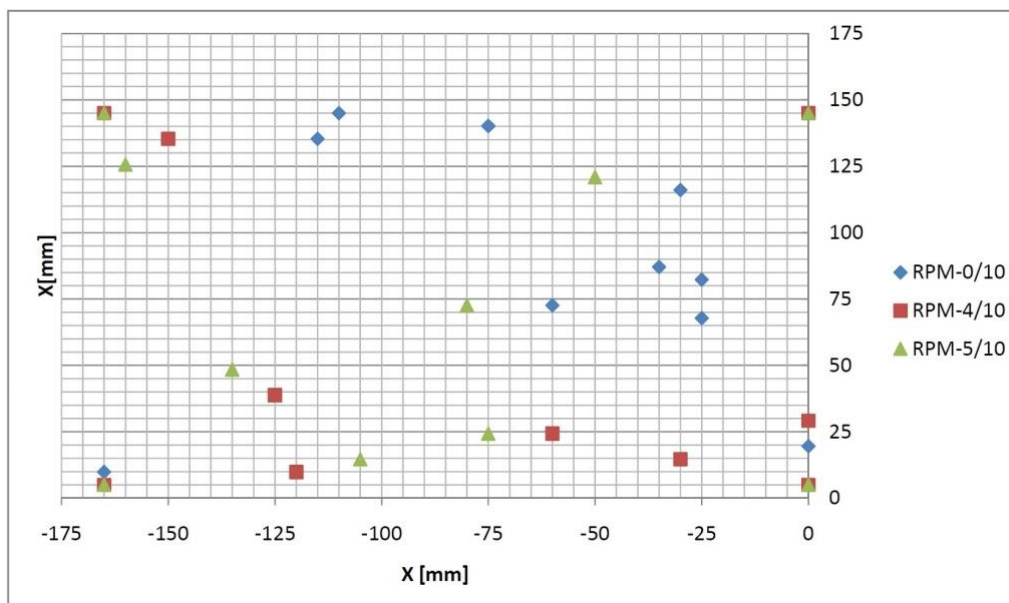
A kiértékelést elvégeztük az összes mért pontra. A véletlensz keresési algoritmus miatt az eredmények kis mértékben eltérnek minden futtatás során, ezért 250 futtatás átlagából lett a felület síklapúsága meghatározva. Ennek értéke: $FL_{1020} = 0.0798$ mm, az eredmények szórása $\sigma_{1020} = 0.0043$ mm. A leállási feltételig szükséges ciklusok száma 3 és 220 között változott. 150 feletti ciklusszám esetén az eredmények közel azonosak, a ciklusszám csökkenésével a síklapúság értéke egyre nagyobb, az algoritmus egy lokális szélsőértéken elakad (4. ábra).



4. ábra A síklapúság értéke és a ciklusszám az összes pont kiértékelése esetén 250 ismétlés során

3 A “Random Points” módszer

A “Random Points” (RPM) vagy véletlen pontok módszere során véletlenszerűen veszünk fel pontokat a megmunkált felületen és minden esetben meghatározzuk a síklapúság értékét. A véletlenszerű kiválasztást 150-szer ismétljük meg, ezek átlaga adja az aktuális eredményt. A tesztek során változott a kiválasztott pontok száma, valamint fix pontok kerültek a kiválasztott elemek közé. Az RPM-0 módszernél csak véletlen pontok alkotják a halmazt, az RPM-4 esetén a négy sarokpont mellé választunk véletlen pontokat, az RPM-5-nél a sorokpontok és a közpéső pont állandó eleme a halmaznak. A vizsgálat során kiértékelt pontok száma: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100, 150, 200, 250, 500, 999. A pontok véletlenszerű kiválasztása egyenlőtlen eloszlást eredményez (5. ábra), ezt az egyenlőtleniséget kiegyenlítőként használjuk a 4 vagy 5 fix pontot.

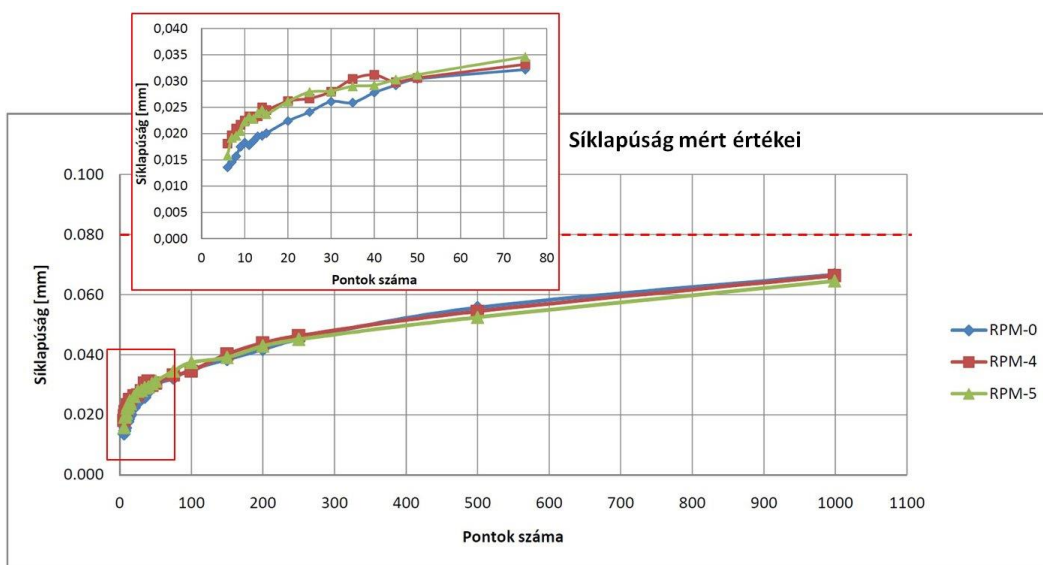


5. ábra Példa a vizsgált pontok eloszlására 10 pont esetén

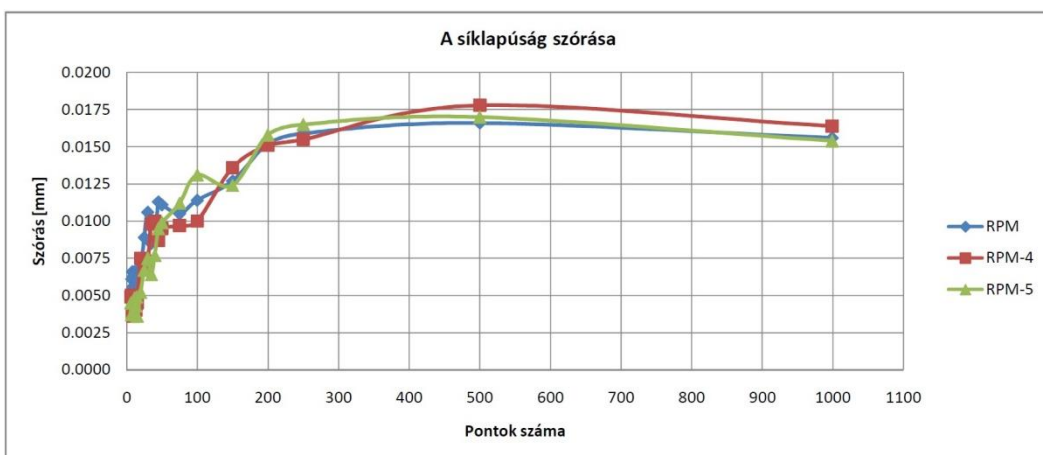
4 A “Random Points” módszer mérési eredményei

A síklapúság 150 mérés átlagaként lett meghatározva. A síklapúság átlag értéke mellett a szórás értéke is meghatározásra került. A kiértékelési pontok számának növelésével a síklapúság értéke növekedett (6. ábra), de az összes pontból számolt teljes síklapúsági értéket (FL_{1020}) nem érte el. Kevés pont esetén a három stratégia eredménye nagyobb eltérést mutat, különösen a csak véletlen pontokat tartalmazó mérések térenk.

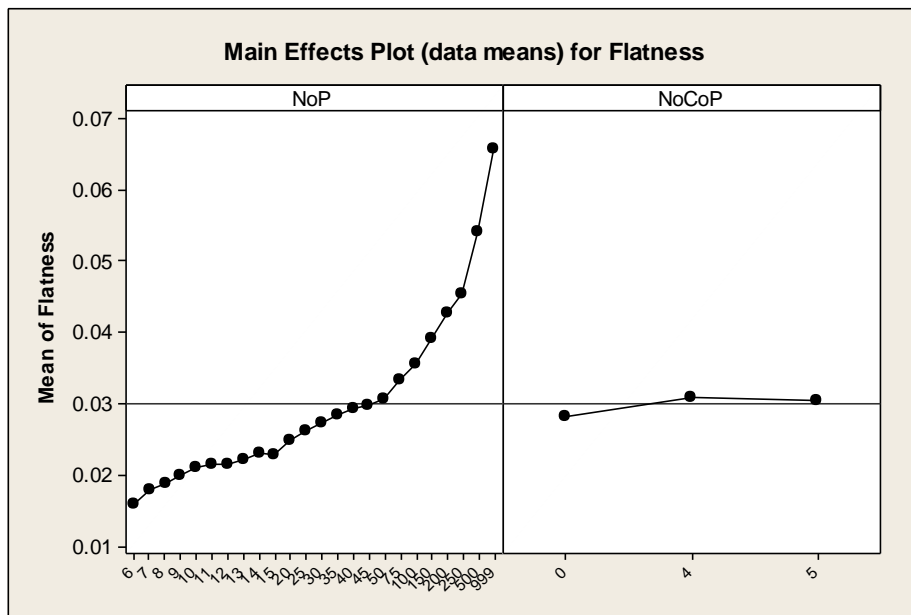
Az eredmények szórása kevés kiértékelési pont esetén kisebb, a pontok számával emelkedik (7. ábra). A diagrammok alapján a három stratégia között nehéz különbséget tenni, azonban a főhatás ábra (main effects plot) jobban szemlélteti az értékelési pontok számának (NoP) jelentőségét (8. ábra), valamint látszik, hogy a tisztán véletlenszerű pontkiválasztás rosszabb rosszabb eredményt ad, viszont a felület középső pontjának állandó kiválasztása csak kis hatással van az eredményekre.



6. ábra A síklapúság átlagos értékének változása



7. ábra A síklapúság szórásának változása



8. ábra A síklapúság főhatás ábrái

Mivel a számított értékek egyenletesen közelítenek a valósnak tekinthető értékhez, a síklapúság valós értéke meghatározható bármely mért érték korrekciójával

$$FL_E = C_{FL} \cdot FL_M \tag{1}$$

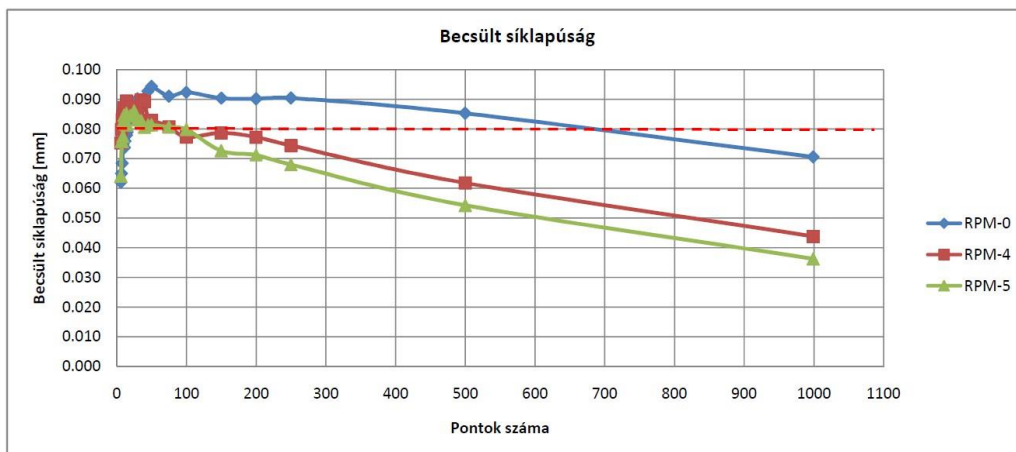
összefüggés segítségével, ahol a korrekciós tényező (C_{FL}) függ a mért pontok számától (NoP) és az állandó pontok számától (NoCoP):

$$C_{FL} = f(NoP, NoCoP) \tag{2}$$

A korrekciós tényező a mérési adatok alapján *MiniTab v14* statisztikai szoftverrel lett meghatározva:

$$C_{FL} = 5.7786 - 0.68349 \cdot \ln(NoP) - 0.09955 \cdot NoCoP \quad (R^2 = 0.885) \tag{3}$$

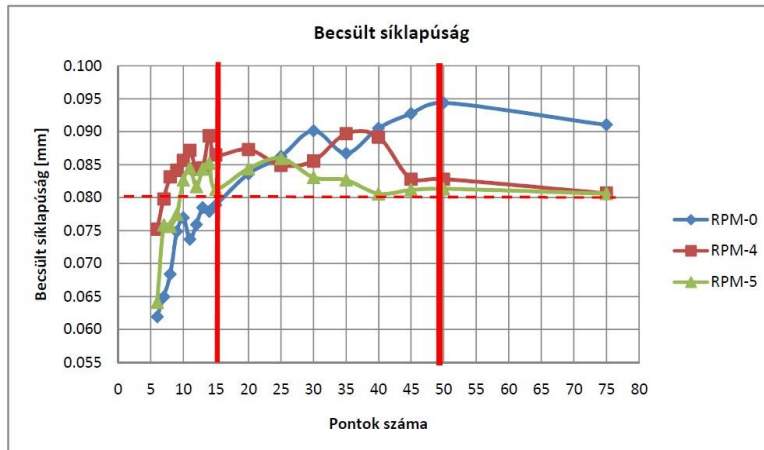
Ezen összefüggés alapján becsült síklapúsági értékeket mutatja a 9. ábra. A teljes vizsgált tartomány két szélén alul, középen kicsit felül becsli a síklapúságot.



9. ábra A síklapúság korrekciós tényezővel becsült értéke

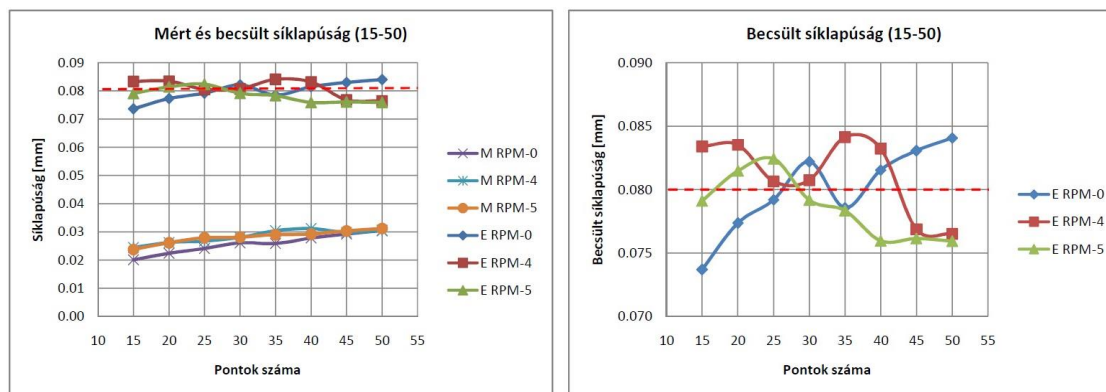
A mérés kivitelezhetősége szempontból érdekes 15-50 pont közötti tartomány esetén 0.015 mm-es sávban a tényleges érték felett vannak a becsült értékek (10. ábra). 15 pont alatt kevés a pontok száma a sík lefedéséhez, 50 felett pedig nagyon megnő a mérés időszükséglete. Ezt figyelembe véve a korrekciós tényező a 15-50 sávra újraszámolva:

$$C_{FL} = 5.7022 - 0.75063 \cdot \ln(NoP) - 0.06636 \cdot NoCoP \quad (R^2 = 0.879) \quad (4)$$



10. ábra A síklapúság korrekciós tényezővel becsült értéke

A módosított korrekciós tényezővel becsült síklapúság értékek mindhárom pontkiválasztási stratégia esetén ± 0.05 mm-es zóna kerültek (11. ábra), a konstans pontok alkalmazása kicsit kedvezőbb eredményt ad.



11. ábra A mért (M) és a becsült (E) síklapúság értékei a 15-50 tartományban

5 Összefoglalás

A síklapúság tűrés meghatározását a szabvány definícióját szem előtt tartva is számos módon tudjuk elvégezni. Koordináta mérés technikai eszköz segítségével végzett mérés esetén az egyik kulcs kérdés, hogy hány pontot és azok milyen eloszlásban szükséges felvenni. A cikkben bemutatásra került, hogy véletlen pontfelvétel esetén a pontok számával a számított síklapúság értéke növekszik (ez egybevág [6] eredményeivel), de a ténylegesnek tekinthető értéket nem éri el. Az eredményeket a véletlen pontok közé felvett 4 sarokpont, illetve a felület középpontja is csak kis mértékben befolyásolták.

A mérési eredmények alapján a síklapúság egy korrekciós tényező segítségével határozható meg, melynek értéke függ a mért pontok számától és kis mértékben a konstans pontok számától. A bemutatott eredmények az adott teszt darabra érvényesek, azonban a probléma mélyebb vizsgálata és elemzése során a módszerek felhasználhatók.

Az eredmények alapján a kutatás több továbblépési lehetőséget is tartogat:

- A kísérletek egyetlen tesztfelület mérési adatai alapján készültek. A továbbiakban különböző forgácsolási technológiával (marás, esztergálás, köszörülés, gyalulás) előállított különböző felületi érdességgel rendelkező teszt felületeken megismételt mérésekkel tovább pontosítható a korrekciós tényező használata. A tényező kibővíthető, értéke nemcsak a véletlen és a fix pontok számától függhet, hanem a felületi érdességtől és a gyártási eljárástól is.
- A kísérleteket adott méretű tesztdarabra tervezzük, azonban a felület mérete szintén fontos, a síklapúságot befolyásoló tényező.

- A kiértékelés során a pontok véletlenszerűen lettek kiválasztva. A véletlen pontkiválasztási stratégiát megtartva olyan eljárást kell kidolgozni, ami biztosítja az egyes pontok egymáshoz képest mért legnagyobb távolságát, vagyis a felület lehető legjobb lefedését.
- Az alak és helyzettűrések közül a síklapúság csak egy lehetséges előírás, a többi lehetséges tűrés kiértékelésének vizsgálata, mérési stratégiájának fejlesztése számos feladatot rejt.

A szerző ez úton szeretné megköszönni a Mitutoyo Hungária Kft és Dr. Friedrich Attila mérések kivitelezésében nyújtott szakmai segítségét.

Irodalom

- [1] ISO 14405-1:2010, *Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional tolerancing — Part 1: Linear sizes*, 2010
- [2] ISO 1101-2012 *Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out*, 2012
- [3] ISO 4287-2002, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters*, 2002
- [4] Henzold G.: *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection*, Elsevier, 2006
- [5] Mikó Balázs, Drégelyi-Kiss Ágota: *Study on tolerance of shape and orientation in case of shoulder milling*; In: W Zebala, I Manková (szerk.) *Development in machining technology Vol.5*. Krakow: Cracow University of Technology Press, 136-150, 2015
- [6] Marczis Attila, Drégelyi-Kiss Ágota: *Köralak mérésének vizsgálata profilprojektorral történő mérések során*; *Gyártóeszközök, Szerszámok, Szerszámgépek* 2015/1, 22-25, 2015
- [7] Nagy Júlia, Sándor Miklós, Drégelyi-Kiss Ágota: *Körmérések a koordináta mérés technika területén*; *Gyártóeszközök, Szerszámok, Szerszámgépek* 2015/1. 26-28, 2015