

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástechnológiai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

CSUKLÓKAROS KOORDINÁTA MÉRŐGÉP BIZONYTALANSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Szerző: **Nagy Júlia**
Gépészmérnök MSC. szak, I. évf.

Konzulensek: Dr. Drégelyi-Kiss Ágota
egyetemi docens

Kis Ferenc
tanszéki mérnök

Budapest, 2014.



Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. A csuklókaros koordináta mérőgépek felépítése	4
2. A csuklókaros koordináta mérőgép alkalmazása	7
3. Anyag és módszer.....	9
3.1 Az általunk használt mérőgép, etalon	9
3.2 Mérési feltételek	12
4. Mérési eredmények	14
4.1 Első mérési sorozat eredményei	14
4.2 Második mérési sorozat eredményei	15
5. Mérési eredmények kiértékelése	15
5.1 ANOVA.....	16
5.2 Első mérési sorozat értékelése.....	16
5.3 Második mérési sorozat	22
5.4 Mérési eredmények összegzése	28
6. Mérési bizonytalanság számítás	30
Befejezés	33
Irodalomjegyzék	34



Bevezetés

A járműipari gyakorlatban egyre nagyobb teret nyer a 3D méréstechnikai eszközök alkalmazása a hosszmeréstechnikában. A koordináta mérőkarok elterjedése – a növekvő pontosság miatt- egyre nőtt.

Dolgozatomban csuklókaros koordináta mérőgépen végzett mérésekből származtatott mérési bizonytalanság számítását végeztem el. A méréseket különböző paraméterek szisztematikus változtatása mellett hajtottam végre.

A vizsgálatok célja, hogy meghatározzam, mely paraméterek változtatása van hatással a mérési bizonytalanság értékére. A méréseket egy etalon eszközön, a Mitutoyo Height Masteren végeztem. Az etalont különböző helyzetekben, eltérő pontokon vizsgáltam, annak megfelelően, hogy a mérés során használható terület egyes részeinek a hatását a mérés bizonytalanságára meg lehessen határozni.

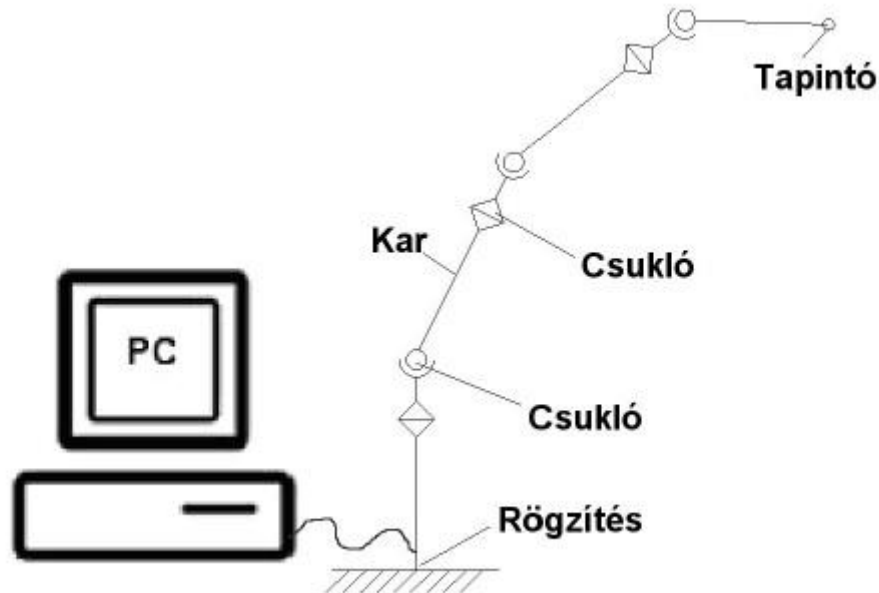
A mérési pontokból számos távolságot számoltam, majd ezeket az értékeket vetettem össze. Az etalonnak köszönhetően, ugyanazt a hosszúságot többféle módon előállíthattam, figyelembe véve, hogy a mért távolság az etalonon belül hol helyezkedik el. A mérőszemélyek változtatásával az ismételhetőséget és reprodukálhatóságot is megvizsgáltam.

Egy másik mérési sorozat tervezésével arra kerestem a választ, hogy a mérések ingadozásai hogyan alakulnak három különböző méretű vízszintes hasáb, három különböző személy által történő mérése során. Ezen kísérletsorozattal becslést adtam arra, hogy mekkora a karos mérőgép ismételhetőségének és reprodukálhatóságának értéke, amellyel meghatároztam a mérés kiterjesztett bizonytalanságát is.



1. A csuklókaros koordináta mérőgépek felépítése

A mai csuklókaros koordináta mérőgépek elődje az iparban elterjedten használt telepített koordináta mérőgép. A következőkben a mérőgép felépítését mutatom be.



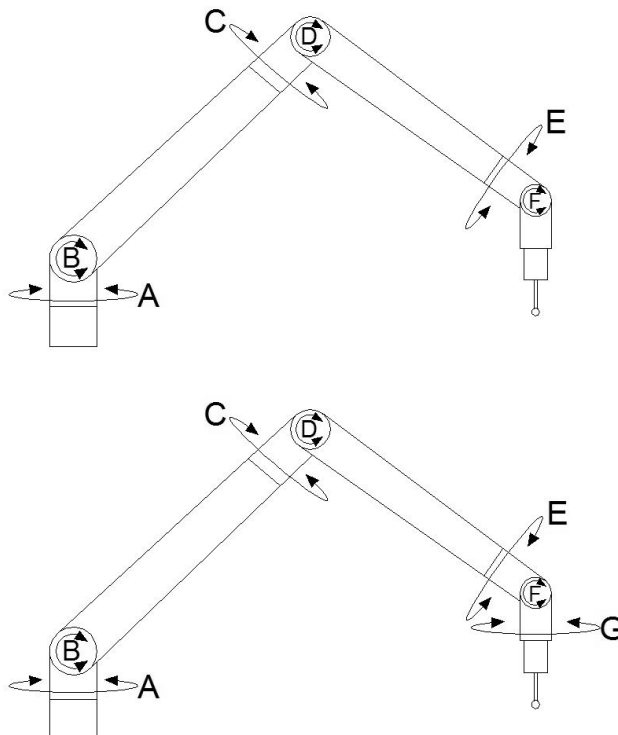
1. ábra Csuklókaros koordináta mérőgép felépítése [6]

Csukló(k) biztosítják a csuklókaros koordináta mérőgép tagjai közötti elforgatható összeköttetéseket.

Egy csukló állhat több, szögmérőrendszerrel felszerelt forgó tengelyből. Ennek megfelelően megkülönböztetünk csuklókat egy, két vagy három szabadságfokkal. A három főcsukló hasonlatos az emberi kar vállcsuklójához, könyökcsuklójához és kézcsuklójához. A ma gyakori készülékeknek a vállban és a könyökben két szabadságfoka, a kézcsuklóban pedig két-, vagy három szabadságfoka van. Ami azt jelenti, hogy hat vagy hét forgástengellyel rendelkeznek. A karok egymáshoz képest nem egy meghatározott szögben állva végeznek mozgást. A csuklóban beépített erőérzékelő véd a befeszülés és deformáció ellen. A forgóadó szögtartománya lehet határ nélküli (360°) vagy behatárolt. A karos kiépítésnél a csuklókba beépített szögjeladók segítségével mérhető két ismert hosszúságú kar egymáshoz képesti helyzete és az összes jeladó által szolgáltatott adat feldolgozásával a legutolsó kar illetve a rá erősített tapintó térbeli helyzete meghatározható.



Az elforgási szöget jellemzően optikai úton mérik abszolút mérőrendszerrel. Egy kódtárcsa forgása közben a kiolvasó egység felé adott szögelfordulásonként jelet ad a szoftvernek, amelyet irányhelyesen összegezve inkrementális módon meghatározható a szögelfordulás.



2. ábra Csuklókaros mérőgép csuklói [3]

A tapintó egy jellemzően forgásszimmetrikus tengely végén elhelyezett érintkező felületet biztosító gömbből áll. A mérőgömb fontos jellemzői: anyaga, mérete, geometriája és pontossága. A tengelycsonk anyagát és geometriát úgy kell megválasztani, hogy a lehető legkisebb mértékben deformálódjon a méréskor fellépő erő hatására. Oda kell figyelni a tapintó megválasztásakor arra is, hogy a tapintó nagysága a méréshez megfelelő legyen, hiszen például nem használhatunk egy nagyobb átmérőjű tapintót a furatmérethez, mint maga a furat. A mérendő elem méretének növekedésével, ahogy lehetséges növelni kell a gömb átmérőjét mivel ez kevésbé sérülékeny és a gömb pontossága is javul, amely a mérést nagymértékben befolyásolja. A mérőgömb anyaga jellemzően valamilyen kerámia (alumínium vagy cirkónium oxid). A gömb átmérőjének pontossága néhány mikrométer körüli érték, míg a gömbi alak eltérés tized mikronos nagyságrendű.

A mérés elvégzésénél a koordináták kiolvasása a karos mechanizmus végén elhelyezett tapintó egységen lévő gomb kezelő általi megnyomásával történik. A gomb megnyomásával a csuklókarok ismert hosszából és egymáshoz képesti helyzetéből a számítógép meghatározza a



mérőtapintó végén elhelyezett gömb középpontját. A kemény, kopásálló anyagból készült mérőgömb átmérőjének ismeretében a megérintett felületre átszámítható a keresett koordináta.

A hordozható koordináta mérőgép szerkezeti elemeiből hiányzik a gránit alap és kis súlyú (Al, szénszálas műanyag) csőszerű elemekből, karokból épül fel. Automatikus tömeg és hőkompenzáció is kialakításra került.

A karos mérőgép rögzítésére a berendezés talpán van lehetőség, ahol az erre a célra kialakított furatokon keresztül mereven fel lehet fogatni a kívánt mérési helyre. A rögzítés emellett történhet mágneses elven is, olyan esetben, ha a rögzítés helyén mágnesezhető anyagok vannak és az esetleges felmágneseződés nem okoz a későbbiekben problémát.

A hagyományos telepített mérőgépekkel szemben, a csuklókaros mérőgépek jellemzően kézi működtetésűek, amelyek a kis tömeggel és hordozhatósággal, illetve a szerkezeti kialakítás korlátaival vannak összefüggésben.

Létezik azonban a mérés automatizált változata is, amely átmenetet jelent a robotok és a kézi csuklókaros mérőgépek között. Ebben az esetben a méréshez szükséges mozgást a szerkezet csuklóinál elhelyezett elektromotorok valósítják meg. A kialakítás hasonlít a csuklókaros robot konstrukciónál megszokott felépítéshez. A karok végén jellemzően egy lézeres szkennel helyezkedik el és ez végzi a felület digitalizálását, amelyet például karosszéria elemek automatizált bemérésénél lehet alkalmazni. A kialakítása ötvözi a hordozható kivitel és a robotok által biztosított automatizálhatóságot. A csuklókaros kialakításból adódóan befér olyan helyekre is ahol a nagyobb méretű hagyományos mérőgépek nem képesek mérni szerkezeti kialakításukból adódóan.

Az eltérő felépítése miatt a szokásos csuklókaros koordináta mérőgép hibaviselkedése eltér a Descartes-féle koordináta mérőgépeknél tapasztaltaktól. Itt nincsenek egyenes vezetékek és lineáris mérőlécek, melyeknél a méréseltérés megállapított összetevője egy Descartes-féle koordináta rendszerben közvetlenül hozzárendelhető lenne. Ehelyett hasonló befolyások hatnak, mint a forgóasztaloknál és a forgó-, lengő csuklónál: a forgóadó szöghelyzet eltérései és nullponthelyzetei, a forgó elmozdulás ütése, a kartag hosszúságai, a térbeli szöghelyzet és a forgástengelyek kölcsönös távolságai, különféle erők a karkitérésnél (súlykiegyenlítéssel vagy anélkül), csuklójáték, hiszterézis, hőmérséklet, nedvesség, a karok rezgése. Fontos a szerelésbázis (ahova a mérendő tárgyat felfogjuk) stabilitása, hisz ennek a



készüléknek saját munkadarab befogója nincs. A kézi mozgatás miatt a kezelő személy befolyása különösen nagy.

A karos koordináta mérőgépek a koordináta méréstechnika elvén használhatóak hosszméretek és különböző geometriai elemek adott jellemzőinek (méret, alak, helyzet) meghatározására.

A mérés elve tehát megegyezik a hagyományos koordináta mérőgépeknél használt méréssel. A legjelentősebb eltérés, hogy amíg hagyományos mérőgépek derékszögű koordináta rendszer szerinti egyenes vonalú mozgások végzésére (mérésére) alkalmasak, addig a karos mérőgépek elemei csuklókkal kapcsolódnak egymáshoz, melyek csak szögelfordulást képesek végezni és mérni. Az eltérő kialakítás oka, hogy ezek a berendezések a hagyományos telepített mérőgépekkel szemben hordozhatóak, így az alkalmazás során a mobilitás nagy szerepet kap. Ez az egyik legnagyobb előnye az eszköznek.

A közös mindkét mérőgép típusban, hogy ha nem lenne számítógép, akkor a mérőgép csak mérési pontgyűjtő lenne. Ezért a koordináta-mérőgépekhez elengedhetetlen a számítógépes vezérlés. Feladatkörébe tartozik a kapcsolattartás a mérőgép és a kezelő között, a vezérlés, a felvett pontok elemzése, ezen kívül a jegyzőkönyvek készítése és adattárolás. A korrekciós tényezőket mindig figyelemmel kíséri (geometriai és környezeti). Megfelelő működéshez a mérőgéphez tartozó szoftvert kell alkalmazni. Viszont az elmúlt években elkészítettek egy I++ DME interfészt, ami lehetővé teszi a mérőprogramok átvitelét és futtatását akár különböző kialakítású és gyártmányú mérőgépek között is.

2. A csuklókaros koordináta mérőgép alkalmazása

A csuklókaros koordináta mérőgép alkalmas olyan térbeli koordináták mérésére, melyek szilárd hosszúságú tagok nyitott láncából állnak, és amelyeket egymással és a szilárd környezettel, valamint a mérőrendszerrel, például a lánc szabad végén elhelyezkedő merev tapintóval, forgástengely kapcsol össze.

A csuklókaros koordináta mérőgépek adott esetekben alternatívát jelentenek a hagyományos telepített mérőgépekhez képest. Több olyan előnyös tulajdonsága van (térbeli, komplex geometriai adatok meghatározhatóak és közvetlenül számítógépes feldolgozással kiértékelhetők), amelyek hagyományos mérőeszközökkel csak körülményesebben oldhatók meg. A koordináta mérőeszközön végzett méréseknek is több hátrányai vannak. Hátrányként



említhető az üzemeltetés magas költsége (a hagyományos koordináta mérőgépek üzemeltetési költsége magasabb, mint a csuklókaros mérőgépeké). A gazdaságossági helyzetre való tekintettel, mindig a költséghatékonyabb módszert kell választani. Egy ilyen berendezésnél különösen fontos az optimális kihasználtság tervezése. Hátránya még, hogy szakképzett munkaerőt igényel. Éppen ezeket is szem előtt tartva, fontos, hogy a mérés megkezdése előtt eldöntsük, hogy valóban szükség van-e a koordináta méréstechnikára.

Természetesen nagysorozatban végzett azonos mérési feladatnál a hagyományos eszközökkel (tolómérő, mikrométer, idomszer) szemben nem jelent alternatívát, de ahogy a mérési feladat nagyobb rugalmasságot és CAD kapcsolatot igényel, úgy a csuklókaros mérőgépek alkalmazhatósága is növekszik.

A munkadarabok mérése hagyományos berendezéseken jellemzően a környezeti hatásokat figyelembe véve, egy rezgésmentes, kontrollált hőmérsékletű, páratartalmú térben (mérőszobában) történik. Abban az esetben, ha a mérendő alkatrészt nem lehetséges a mérőszobába vinni, mert túl nagy a mérete, túl nehéz, a rögzítés nem teszi lehetővé vagy a beépítés helyén annak sajátosságait figyelembe véve kell a mérést elvégezni (ahol az összeépítésből adódó hibák, eltérések meghatározhatóak), akkor a könnyű szerkezetes csuklókaros mérőgépek alkalmasabbak a mérés elvégzéséhez.

A mérőgép karjainak anyaga és kialakítása olyan, hogy a hőmérséklet által okozott deformáció minél kisebb mértékben befolyásolja a mérés eredményét. Sok esetben a mérések nem laboratóriumnak megfelelő környezetben történnek, ezért a csuklókaros koordináta mérőgépbe beépített hőkompenzáló egység van.

A hagyományos, telepített mérőgépek esetén a kiszerezhető készülékelemek a mérőszobában megmérhetőek, azonban a berendezésbe visszahelyezéskor elkövetett hibák kiderítése már csak a helyszínen a beépített állapotban történő méréskor lehetséges. A hordozható mérőgép a berendezéshez rögzítve lehetőséget biztosít tehát beszerelt állapotban megmérni a készülék méreteit és más gépelemekhez vagy szerszámhoz képesti pozícióját, helyzetét.

A hordozható kivitelhez hozzátartozik, hogy a modern karos mérőgépről a jelátvitel kábel nélkül is megvalósulhat, ezzel egyszerűsítve a felhasználást és a hozzáférhetőséget. A tápellátás ebben az esetben beépített akkumulátorról történik. A kábelek elhagyásával a mobilitás még inkább növelhető.

Előnyei közé tartozik - a felépítésből eredően - a kis tömeg, hordozható kivitel, CAD szoftverrel való összekapcsolhatóság, az előírások a mérési körülményekre tekintettel



megengedőbbek, mint hagyományos kivitelnél, könnyebb kezelhetőség és olcsóbb, mint a hagyományos kivitel. Azonban hátrányaként meg kell említeni, hogy csak kisebb pontosság érhető el vele [6].

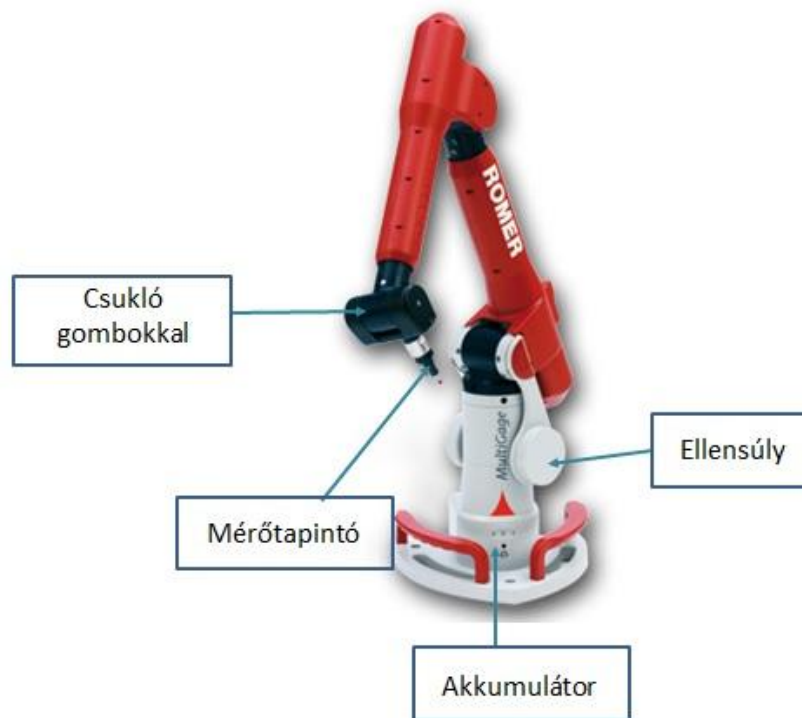
Néhány példát említenék az alkalmazási területeire:

- CAD modellhez képesti eltérések vizsgálata,
- alkatrészek felületi pontjainak digitalizálása,
- nagyméretű darabok bemérése,
- dimenzionális méretek meghatározása,
- kis sorozatú mérések esetén.

3. Anyag és módszer

3.1 Az általunk használt mérőgép, etalon

A méréseket *Romer MultiGage* mérőgéppel végeztük. A hordozható, hattengelyes mérőgép a korszerű gépműhelyek igényeinek megfelelően lett kialakítva. A kommunikációs csatorna a számítógép szoftverével WIFI-vel is könnyedén elérhető. A precíziós mérőgép 1,2 méteres méréstartományú. A főtengelyek körül korlátlan az elfordíthatóság, így nehezen hozzáférhető helyek bemérését is elérhetővé teszi. Öntőminták, alkatrészek, szerszámok, öntvények és egyéb berendezések méretellenőrzésére szolgál. A helyszínen nincs szükség speciális telepítésre, a mérőgépet a kívánt helyre kell rögzíteni és kezdhethetjük is a méréseket. A mérőkar mérésekor nincs szükség mérőlaboratóriumra, hiszen a beépített hőkompenzáló egység lehetővé teszi a gyártósoron végzett méréseket is. A vezeték nélküli hálózat és a beépített akkumulátor lehetővé teszi a teljes mobilitást. A mérési eredményeket a szoftver automatikusan egy jegyzőkönyvben rögzíti.



3. ábra ROMER MultiGage felépítése

Fő részei:

- ellensúly
- WIFI port
- ergonomikus csukló, könnyen elérhető gombokkal és egérfunkcióval
- beépített akkumulátor
- mérőtapintó
- hat mérőtengely

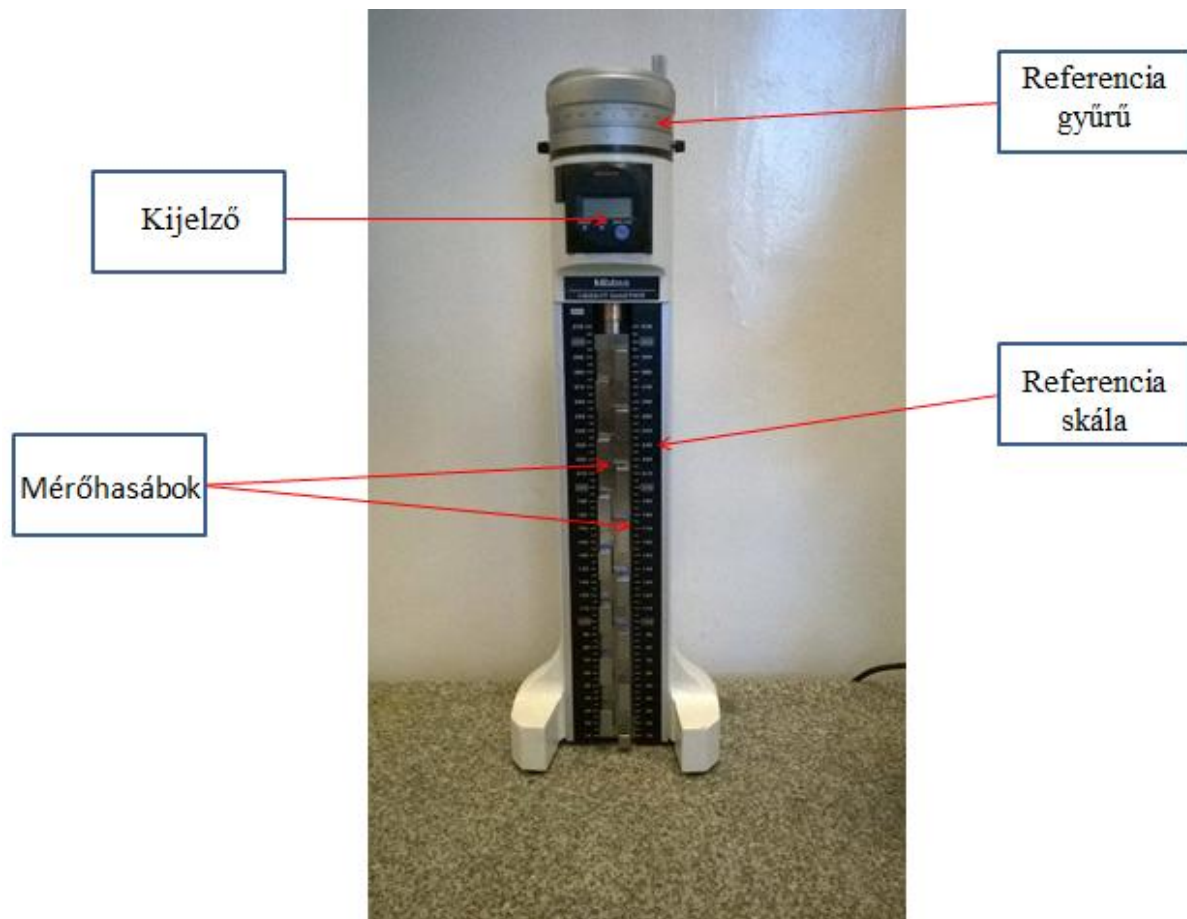
A mérőtapintó az úgynevezett „csatlakoztasd és mérd” típusú, ami annyit jelent, hogy a mérőszoftver automatikusan felismeri és azonosítja a beillesztett mérőtapintót. A méréseket gyorsítja, hogy tapintó csere esetén nem kell a tapintókat újrapalibrálni, ha egy másikra cseréljük.

A mérésekhez használt etalon egy Mitutoyo Height Master volt. Azért ezt az etalont használtuk a mérésekhez, mert egy mérési eszközön több hosszúságot is meg tudunk határozni. Ezáltal könnyebben, gyorsabban és pontosabban tudtuk a mérendő hosszokat meghatározni, hiszen nem kellett az etalont cserélni a mérések között. A különböző beépített magasságméreteket lépcsőzetesen vannak elhelyezve. A Height Masternek létezik olyan



verziója, ahol a mérőhasábok vízszintes síkon helyezkednek el, valamint ahol függőleges síkon. A méréseink során mi a második típusú etalont használtuk. A Height Masterhez különböző adatfeldolgozó egységeket lehet kapcsolni. Ezekkel elérhető a mérési adatok kinyomtatása, valamint statisztikai műveletek elvégzése.

Az általunk használt etalon mérési tartománya 0÷310 mm.



4. ábra Mitutoyo Height Master felépítése

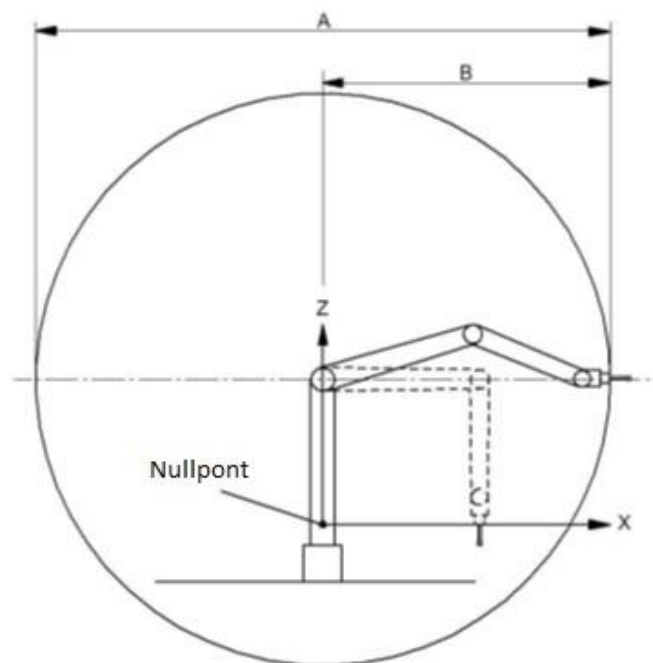
A mérőhasábok két oszlopban helyezkednek el, de a mérési felületek ugyanazon a szinten azzal a különbséggel, hogy míg az egyik mérőpofa felfelé a másik lefelé mutat. Nagyon merev konstrukció és stabil magasságmérést tesz lehetővé a hosszú élettartama alatt. A referencia gyűrű szolgál az etalon nullázására.



3.2 Mérési feltételek

A következőkben tisztáznunk kell az alapfogalmakat a méréssel kapcsolatban.

→ Mérési tartomány: annak a gömb alakú térnek az átmérője, melyen belül a csuklókaros koordináta mérőgéppel koordinátát mérni lehetséges. Az 5. ábrán A-val jelöltem a mérési tartományt, B-vel a hasznos karhosszúságot. A szükséges karhosszúságok minden esetben megegyeznek a mérési tartomány felével. Ezek kisebbek, mint a karok kétszeres karhosszúságai. Kinyújtott kar esetében a tapintási lehetőségek korlátozottak, a kedvezőtlen tartományokban rendkívüli súly- és hibakompenzációval kell számolni.



5. ábra Csuklókaros mérőgép mérési tartománya [3]

→ Nullpont: az előző ábrán jelöltem ezt a pontot. A nullpont a csuklókaros koordináta mérőgépet a rögzített környezettel összekapcsoló függőleges főtengelyen fekszik, a nullasík és a főtengely metszéspontjában. A nullpontot több mérési módszerrel meg lehet adni, ezekhez különböző etalonokat használnak. A legelterjedtebb módszerek közé tartozik a nullpont megadása referencia golyóval, egy olyan referencia gyűrűvel amelyben három félgömb van illetve egy ball bar segítségével. A ball bar egy maximum 2400 milliméter kalibrált hosszúságú karbonszálas rúd 13 kalibráló



gömbbel. A gömbök egymástól egyenlő távolságra helyezkednek el, 200 milliméterre. A minimum kalibrálási hossz ebben az esetben 200 milliméter, a maximum pedig 2400 milliméter. Ha a ball bar fel van szerelve egy forgó asztallal, akkor több pozícióban is elvégezhetjük a kalibrálást (vízszintes, függőleges, vagy 45° -ban megdöntött síkban) [1].



6. ábra Ball bar [5]

A csuklókaros koordináta mérőgépeknél a Descartes-féle koordináta mérőgépekhez hasonló vizsgálatokat el lehet végezni: az érintés-eltérés vizsgálata és a hosszmerés-eltérés vizsgálata, kalibrált etalonok segítségével. A vizsgált test elrendezése a mérési térben a csuklókaros koordináta mérőgép méréstartományához illeszkedik. A mérések száma a kézi üzemmód miatt, szemben a hagyományos mérőgépeknél lévővel, csökkentett.

→ Mérőgép kalibrálása: A kalibrálást olyan etalonnal kell végezni, amely lehetővé tesz egy mérővonalban legalább öt hosszúságot. Fontos szempont még, hogy a méretmegtestesítő hossza kalibrálva legyen. Az etalonon vizsgált legnagyobb hosszúság, a mérési térfogat legalább 66%-át kell kitennie. Ha nem állnak rendelkezésre elegendő hosszúságú mértékmegtestesítők, akkor csatlakozó méréseket lehet alkalmazni, melynél a kisebb hosszsmérték-megtestesítőket a mérővonal hosszában eltolhatjuk. Az etalont a DIN EN ISO 10360-2 szabványnak megfelelően legalább hét pozícióban kell megmérni és minden pozícióban legalább öt hosszúságon kell, három mérőszemély által ismételt méréseket végezni [2].



4. Mérési eredmények

Kétféle mérési eljárást végeztünk a csuklókaros koordináta mérőgépen. A különbség a két mérési eljárás között az volt, hogy míg az első mérésnél egy mérőszemély mérte meg az etalont a gránitasztal négy sarkán, függőleges helyzetben, ismételt mérésekkel, addig a második eljárásnál három mérőszemély, a gránit asztal két szélén végezte az ismételt mérést a vízszintesen elhelyezett etalonon.

4.1 Első mérési sorozat eredményei

Az első mérésnél azt vizsgáltuk, hogy a mérési bizonytalanságot befolyásolja-e, ha a mérőkar mérési tartományán belül, különböző helyekre helyezzük az etalont. A négy sarkon 7 pontot mértünk, ötszöri ismételt mérésekkel, majd ezekből különböző távolságokat számoltam. A hét mérési pontból összesen 21 darab távolságot tudtam előállítani. A mérések eredményeit az 1. táblázatban közlöm.

1. Jobb alsó						2. Bal alsó					
1	56,501	56,507	56,505	56,504	56,507	1	56,473	56,475	56,477	56,477	56,475
2	96,504	96,505	96,505	96,506	96,508	2	96,476	96,479	96,477	96,480	96,481
3	136,505	136,505	136,508	136,508	136,509	3	136,476	136,475	136,478	136,479	136,477
4	176,507	176,507	176,508	176,508	176,508	4	176,477	176,479	176,480	176,479	176,480
5	216,505	216,507	216,509	216,510	216,506	5	216,476	216,476	216,476	216,480	216,480
6	256,505	256,507	256,510	256,507	256,508	6	256,476	256,479	256,479	256,483	256,479
7	296,506	296,505	296,512	296,508	296,510	7	296,478	296,477	296,476	296,480	296,480
3. Bal felső						4. Jobb felső					
1	56,479	56,482	56,484	56,486	56,488	1	56,478	56,478	56,481	56,480	56,481
2	96,481	96,487	96,486	96,488	96,492	2	96,477	96,478	96,480	96,480	96,481
3	136,484	136,487	136,487	136,492	136,489	3	136,479	136,477	136,479	136,477	136,481
4	176,488	176,489	176,491	176,492	176,495	4	176,480	176,476	176,480	176,478	176,478
5	216,490	216,496	216,494	216,495	216,495	5	216,471	216,472	216,473	216,475	216,478
6	256,491	256,496	256,496	256,501	256,500	6	256,470	256,468	256,472	256,470	256,474
7	296,495	296,497	296,498	296,502	296,504	7	296,467	296,465	296,466	296,465	296,471

1. táblázat 1. mérési sorozat eredményei

A mért pontok különbségeiből 21 darab különböző pozíciójú távolságot tudtam úgy összeállítani, hogy 6 darab 40 mm-es, 5 darab 80 mm-es, 4 darab 120 mm-es, 2 darab 200 mm-es és 1 darab 240 mm-es hosszúságokat kaptam eredményül egy egy mérési pozícióban.



4.2 Második mérési sorozat eredményei

A második mérési eljárásnál azt vizsgáltam, hogy a mérési bizonytalanságot befolyásolja-e a mérőszemély, a mérési pozíció valamint a mért távolságok nagysága. A 2. táblázatban összefoglaltam a mért pontokat.

1. pozíció				2. pozíció			
1. személy	-0,006	0,001	-0,003	1. személy	0,010	-0,004	-0,002
	19,988	19,987	19,989		19,978	19,974	19,973
	159,994	159,993	159,997		159,980	159,974	159,973
	290,071	290,074	290,076		290,048	290,052	290,055
2. személy	0,010	0,011	0,011	2. személy	-0,017	-0,012	-0,013
	19,994	19,993	19,995		19,972	19,973	19,969
	159,998	160,008	160,003		159,952	159,952	159,956
	290,074	290,076	290,080		290,055	290,051	290,046
3. személy	-0,016	-0,013	-0,011	3. személy	-0,016	-0,014	-0,015
	19,992	19,996	19,993		19,980	19,989	19,995
	159,964	159,971	159,971		159,960	159,956	159,962
	290,068	290,063	290,059		290,064	290,070	290,066

2. táblázat 2. mérési sorozat eredményei

A mérést két pozícióban végeztük el, az első a gránit asztal hozzánk közelebb eső részén volt, míg a második a hozzánk távolabbi felén volt. A mérőszemélyek mérési gyakorlatiassága is különböző volt. A mért pontokból három távolságot számoltam, majd ezeket elemeztem (20, 160 és 290 mm).

5. Mérési eredmények kiértékelése

A mérések megkezdése előtt különböző kérdésekre voltam kíváncsi, hogy szignifikáns különbség a mérési bizonytalanság alakulásában, hogy

- a mérések helye különbözik az asztalon,
- különböző névleges méreteket mérünk,
- az egyes névleges méreteket függőleges irányban, különböző helyeken vettem fel,
- a mérőszemélyek különböznek,
- az etalon vertikálisan, horizontálisan van elhelyezve a gránitasztalon,
- valamint, hogy a mérés megismételhető-e és reprodukálható-e.



5.1 ANOVA

A mérések kiértékelését az ANOVA módszer segítségével végeztem el. Az egyfaktoros varianciaanalízis felépítését az 3. táblázatban mutatom be. A mérési eredményekre azok a faktorok, vagy kölcsönhatások lesznek hatással ahol a p paraméter értéke kisebb mint 0,05.

Az eltérés forrása	df_i Szabadsági fok	SS_i Eltérés négyzetösszeg	MS_i Szórásnégyzet $MS_i = \frac{SS_i}{df_i}$	F	p
A	$r-1$	$SS_A = p \sum_{i=1}^r (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{r-1}$	$MS_A / MS_{ismétlés}$	
Ismétlések	$r(p-1)$	$SS_{ismétlés} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^p (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$	$MS_{ismétlés} = \frac{SS_{ismétlés}}{r(p-1)}$		
Teljes	$rp-1$	$SS_{teljes} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^p (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$			

Jelölések:	$\bar{y}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^p y_{ij}}{rp};$	$\bar{y}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^p y_{ij}}{p}$
------------	---	--

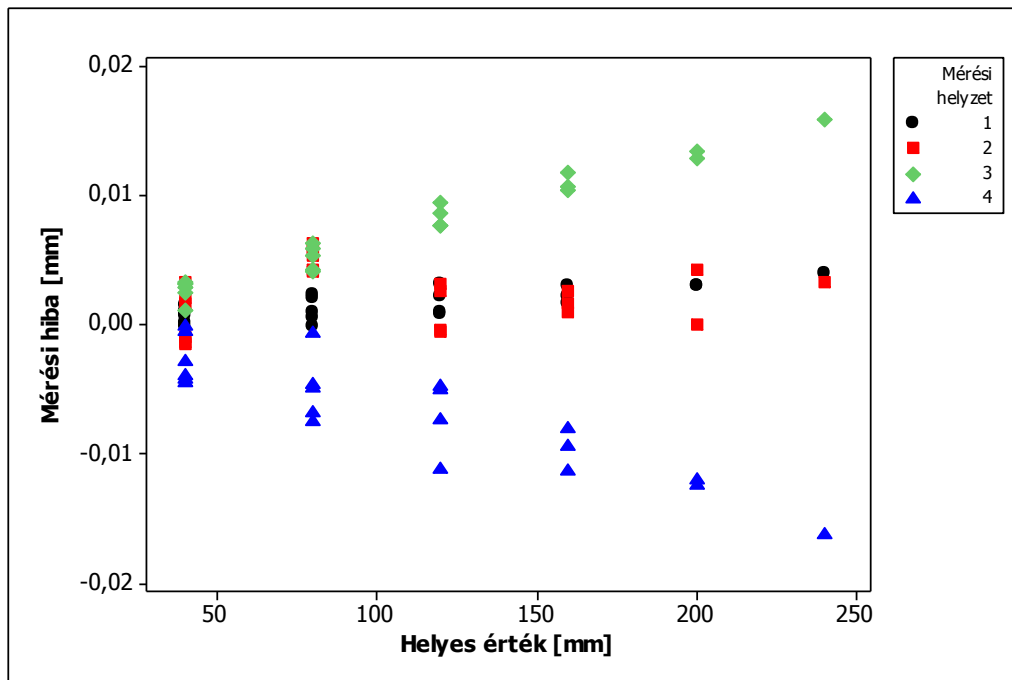
3. táblázat Egy faktor szerinti ANOVA táblázat

5.2 Első mérési sorozat értékelése

Az első mérési eredmények kiértékelését kétfajta módon végeztem el. Az egyik esetben a mérési eredmények átlagát hasonlítottam egymáshoz, míg a másikon az összes mérési eredményt figyelembe véve végeztem el a kiértékelést.

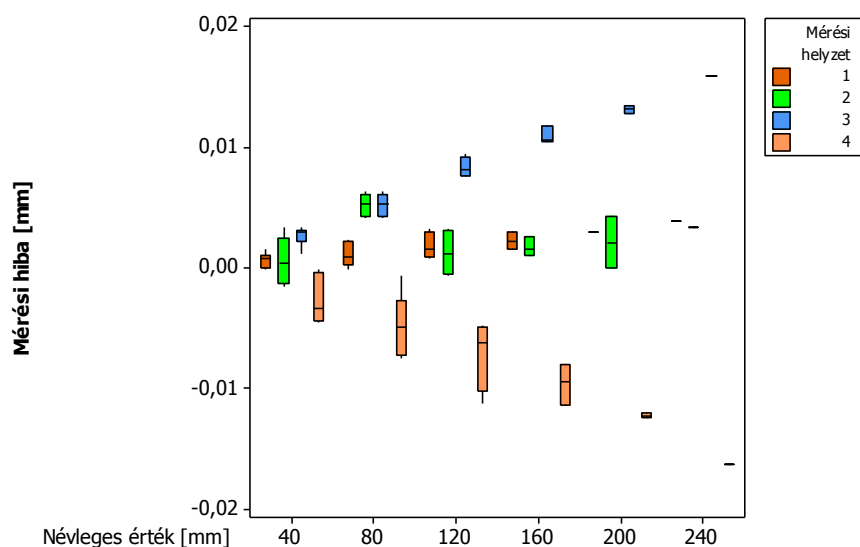
Az 1. diagramon ábrázoltam a mérési eredmények átlagaiból képzett 21 darab hosszúságot, mind a négy pozícióban, a helyes értéktől való eltérés függvényében. A diagramon jól látszik, hogy az 1. és 2. helyzetben mért értékek megegyeznek, míg a 3. és 4. helyzetben mért értékek eltérései a távolságok növekedésével egyre nagyobbak lesznek. Míg a 40 mm-es hosszúságon közel ugyanazt a mérési eredményt kaptam mind a négy beállásban, addig a 160 mm-nél nagyobb távolságokon, drasztikusabb a 3. és 4. helyzetben a helyes értéktől való eltérés.

Azonban az is megfigyelhető, hogy a 3. és 4. helyzetben kapott eltérések nagyságai abszolút értékben megegyeznek.



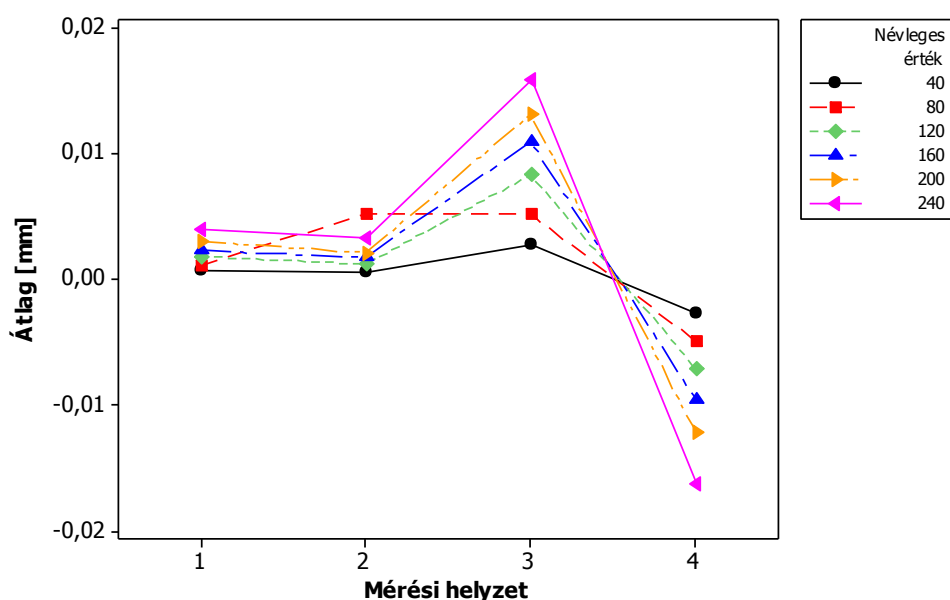
1. diagram Különböző mérési helyzetekben mért értékek eltérése a helyes értékektől

A 2. diagramon szemléltetem az egyes mért hosszúságok ingadozásait és azoknak a medián értékeit a különféleképpen előállított névleges méretek szerint. A diagramból leolvasható, hogy a legnagyobb eltérés ingadozások a 4. mérési helyzetben vannak. A 240 mm-es hosszúság csak egy vonallal van jelölve, mivel ezt a távolságot csak egyféleképpen lehetett előállítani.



2. diagram Mérési hiba eltérése a névleges érték függvényében

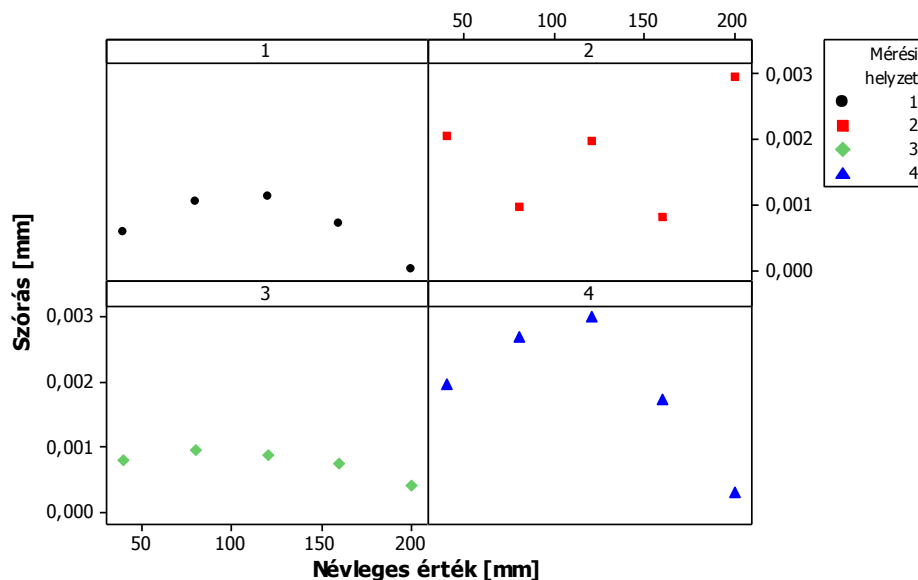
A mérési hiba eltéréseit a helyes értéktől 3. diagramon szemléltettem, ahol figyelembe vettem a mérési pozíciókat is. A diagramon észrevehető, hogy az 1. és 2. pozícióban valóban megegyeznek a mért értékek, míg a 3. és 4. pozícióban már jelentősebb eltérések adódnak. Az eltéréseket befolyásolják, hogy ezekben az esetekben nehezebben hozzáférhető helyen lett elvégezve a mérés.



3. diagram A mért hibák eltérése a különböző pozíciókban



A következő diagramon a mérési eredmények szórásait ábrázoltam a különböző pozíciók és helyes érték függvényében. Az 1. és 3. mérési helyzetben a mérési eredmények szórásai megegyeznek, míg a 2. és 4. helyzetben ingadoznak.



4. diagram Szórások ábrázolása a különböző mérési helyzetben

A mérés kiértékelését ANOVA módszerrel végeztem el. Eredményként azt kaptam, hogy a mérési helyzet és a mérési helyzet, névleges érték együttes figyelembe vétele befolyásolja a mérési eredményt, míg a névleges érték nem befolyásolja. Az ANOVA segítségével (4. táblázat) kiszámoltam a szórást.

Eredményként $S = 0,0016$ millimétert kaptam. Ez azt mutatja meg, hogy függőlegesen különböző módokon előállított névleges értékek mért-helyes értékei, vagyis a mérési hibáik mennyire szóródnak az összes eset figyelembe vétele mellett.

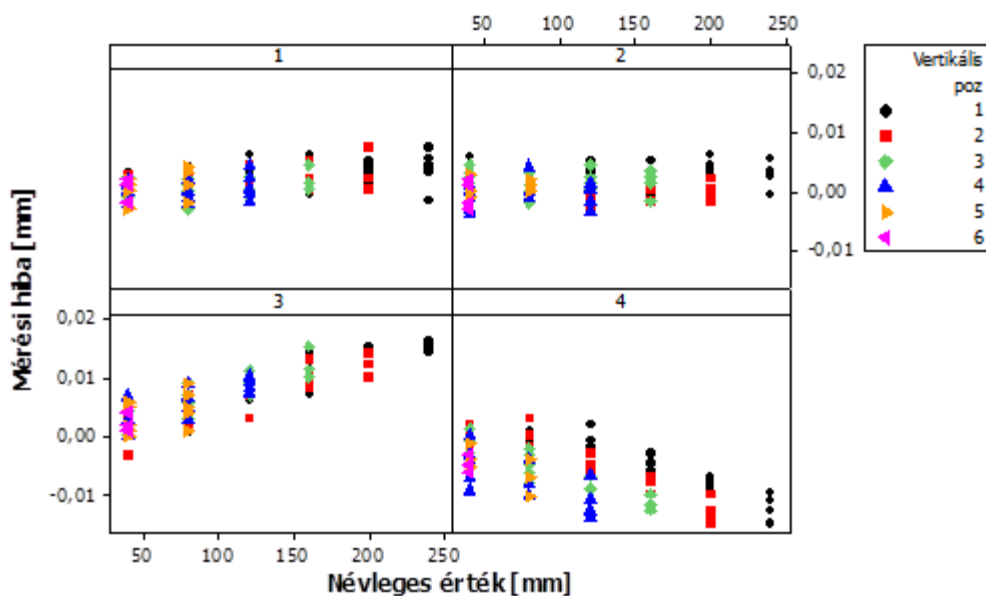
A 4. táblázat eredményei közül a mérési helyzet és a mérési helyzet és névleges érték kölcsönhatásának tényezőinek vannak hatásai a mérési eredményekre 95%-os szignifikancia szinten, mivel a számított F értékhez tartozó p érték kisebb, mint 0,05.



Az eltérés forrása	df_i Szabadsági fok	SS_i Eltérés négyzetösszeg	MS_i Szórásnégyzet	F	p
Mérési helyzet (A)	3	0,0020470	0,0008261	335,28	0,000
Névleges érték(B)	5	0,0000246	0,0000049	2,00	0,092
AB	15	0,0006841	0,0000456	18,51	0,000
Ismétlések	60	0,0001478	0,0000025		
Teljes	83	0,0029036			

4. táblázat ANOVA módszer eredménye

Az első mérési eredménysort kiértékeltem úgy is, hogy nem a mérési eredmények átlagaival számoltam, hanem figyelembe vettem az összes mérési eredményt. A 5. diagram mutatja, a négy mérési helyzetben, a különböző vertikális pozícióban mért értékek eltéréseit a helyes értéktől, vagyis a mérési hibákat határoztam meg. Az egyes távolságok értékei között nincs jelentős eltérés, ezért megállapítható, hogy az eltérést nem befolyásolja, hogy a távolságokat melyik vertikális pozícióban mérjük.



5. diagram Az összes mérési hiba ábrázolása



ANOVA módszert használtam kiértékelésnél ebben az esetben is, amelynek eredményeit az 5. táblázatban közlöm.

Az eltérés forrása	df_i Szabadsági fok	SS_i Eltérés négyzetösszeg	MS_i Szórásnégyzet	F	p
Hely (A)	3	0,0083894	0,0033603	638,02	0,000
Névleges érték(B)	5	0,0001661	0,0000332	6,31	0,000
Vertikális pozíció (C)	15	0,004386	0,0000292	5,55	0,000
AB	15	0,0026266	0,0001751	32,25	0,000
Ismétlések	60	0,0020067	0,0000053		
Teljes	83	0,0136274			

5. táblázat ANOVA módszer eredménye

A 5. táblázat eredményei közül minden faktornak és azok kölcsönhatásának is nagy hatásai vannak a mérési eredményekre 95%-os szignifikancia szinten, hiszen a számított F értékhez tartozó p érték minden esetben kisebb, mint 0,05.

A mérés szórásának $S=0,0023$ millimétert kaptam, ami az ismételt mérések, ráállások ingadozásaiból ered, tehát a mérési sorozat ismételhetségi szórása:

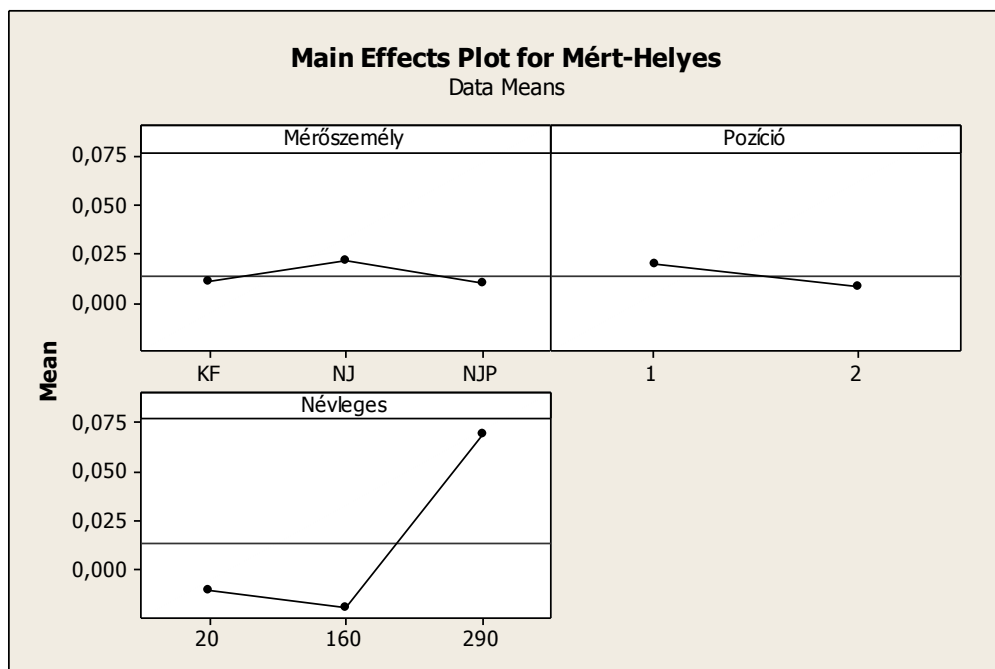
$$u_{ism,1.sorozat} = 0,0023[mm]$$



5.3 Második mérési sorozat

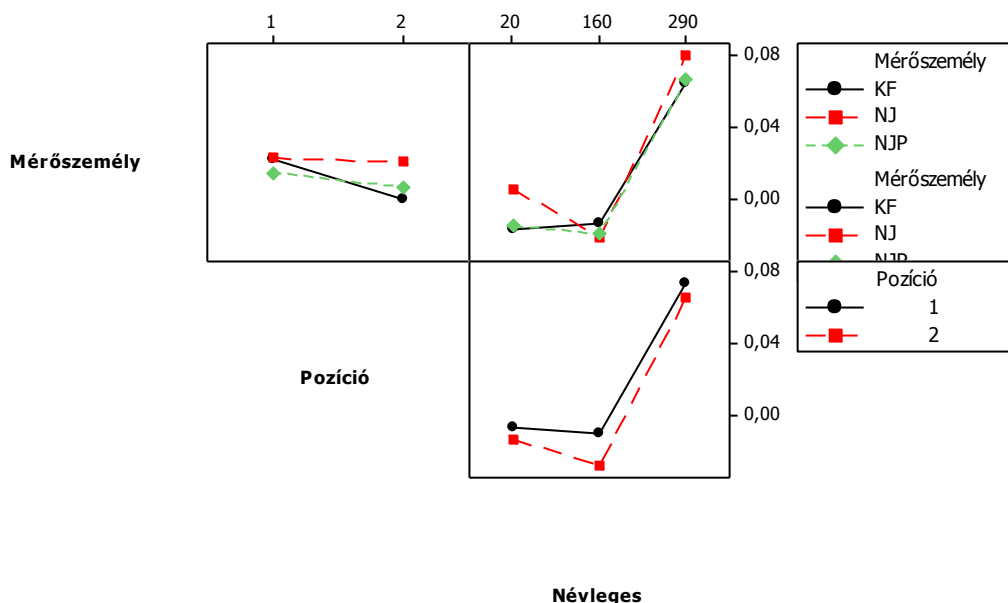
A méréseket három különböző mérőszemély végezte egymás után. A mérőszemélyek gyakorlati tudása nagyban eltért. A mérés kiértékelése során, azonban azt kaptam, hogy ez nem befolyásolja a mérési bizonytalanságot.

A mérések eredményeit összegezve a 6. diagramnak megfelelően is vizsgáltam. Jól látható, hogy a mérőszemélyek mérési eredményei nem térnek el egymástól, és ez igaz a két helyzetben mért mérésekre is. Azonban a mért értékekből számított távolságoknak nagyobb eltérései adódnak. Minél nagyobb a mért távolság annál nagyobb a névleges értéktől való eltérés.



6. diagram A mérési eredmények eltérései a különböző változók függvényében

A következő diagramokon (7. diagram) azt láthatjuk, hogy a három változtatott paraméter hogyan befolyásolja egymást. A mérőszemélyek mérési eredményei az 1. pozícióban megegyeznek, míg a 2. helyzetben már eltérések mutatkoznak. Ezt befolyásolta az is, hogy az etalon a gránitasztalon, ebben a pozícióban sokkal nehezebben mérhető helyen volt, így a bevitt mérési bizonytalanság is nagyobb volt. Ezt az értéket még befolyásolta a mérőszemélyek eltérése is. A mért távolságok eltéréseit nem befolyásolta, hogy melyik mérőszemély, sem az, hogy melyik pozícióban lett mérve, hiszen a görbéknek azonos a menete, ahogy az előbbi diagramon is látható volt (6. diagram).



7. diagram Mérési hiba átlaga a mérőszemélyek és a pozíció függvényében

A 6. táblázat tartalmazza az ANOVA módszerrel kiszámított szórásnégyzeteket. Az adatokból jól látszik, hogy a névleges érték szórása kiugróan magas a többi eredményhez képest. Ezt azonban már a 6. diagramon is láthattuk. Megfigyelhető az is, hogy a kölcsönhatások nem befolyásolják a szórás nagyságát.

	Szórásnégyzet [mm ²]
Mérőszemély (A)	-0,00001
Pozíció (B)	0,00003
Névleges érték (C)	0,00233
AxB	0,00005
AxC	0,00006
BxC	0,00002
Ismétlések	0,00003

6. táblázat Szórásnégyzet ANOVA módszer szerint

A 6. táblázat szórásnégyzet eredményeiből látszódik, hogy a névleges érték befolyásolja az értékek szóródását. Ezért a következőkben a három különböző névleges értéket, külön-külön vizsgálom meg ANOVA módszer segítségével.



A 7. táblázat tartalmazza a 20 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott ANOVA modell eredményeit. Az eredmények értékelését a táblázatból olvashatjuk ki. Az eredmények közül, csak a kölcsönhatás tényezőnek van hatása a mérési eredményekre, 95%-os szignifikancia szinten, hiszen a számított F értékhez tartozó p érték kisebb, mint 0,05.

Az eltérés forrása	df_i Szabadsági fok	SS_i Eltérés négyzetösszeg	MS_i Szórásnégyzet	F	p
Pozíció (A)	1	0,0001805	0,0001805	1,27562	0,376
Mérőszemély (B)	2	0,0019063	0,0009532	6,73616	0,129
AB	2	0,0002830	0,0001415	7,49118	0,008
Ismétlések	12	0,0002267	0,0000189		
Teljes	17	0,0025965			

7. táblázat 20 mm névleges értékhez tartozó ANOVA modell

A mérés kiértékelése során elvégeztem az ismételhetőség és a reprodukálhatóság vizsgálatát is. A reprodukálhatóság magába foglalja a mérőszemélyek eltéréseit, valamint a mérőszemélyek és a pozíciók kölcsönhatásait is. A 20 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott eredményeket az 8. táblázatban közlöm.

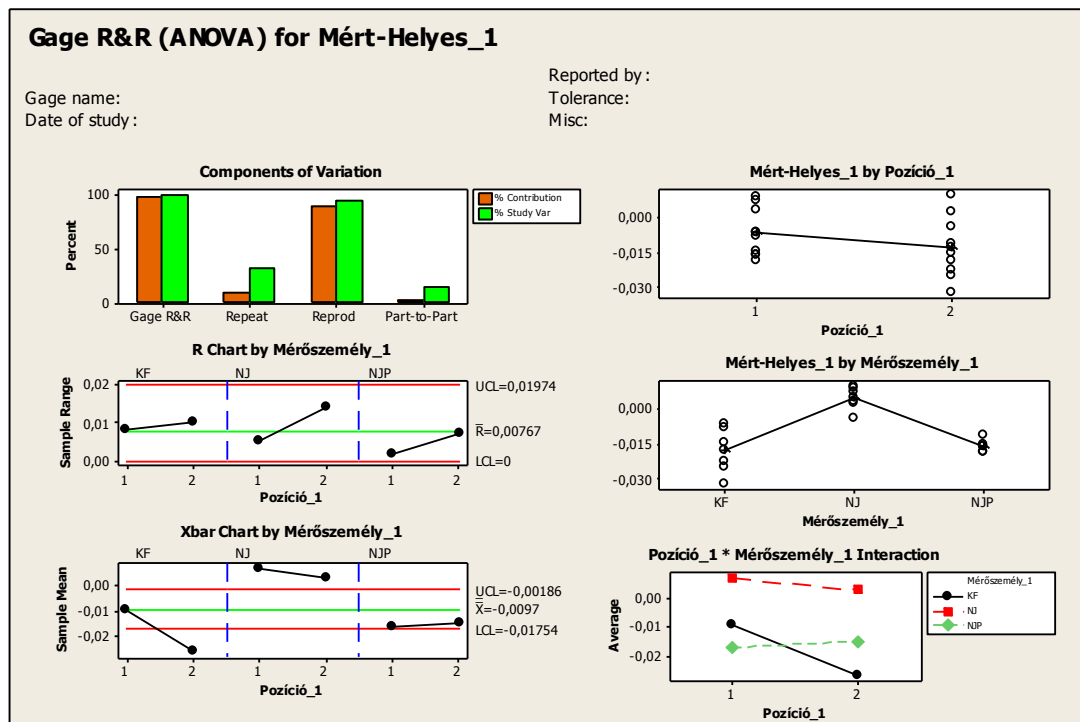
Ismételhetőség [mm]	0,0035
Reprodukálhatóság [mm]	0,0133

8. táblázat Ismételhetőség és reprodukálhatóság vizsgálat eredménye

A 8. diagram tartalmazza a mérési eredmények különböző szempontok szerinti kiértékelését. Nem csak a mérőszemélyeknek és pozícióknak a névleges érték függvényében látható a kiértékelése, hanem ezeknek a kölcsönhatásából származtatott eredményei is. Látható grafikusán is, hogy a mérőszemélyek és a pozíciók között nincs nagy eltérés, csak a kettő kölcsönhatása befolyásolja a végkimenetelét a kiértékelés eredményének.



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar
Csuklókaros koordináta mérőgép bizonytalanságának meghatározása
Készítette: Nagy Júlia



8. diagram 20 mm névleges értékhez tartozó eredmények kiértékelése

A 9. táblázat tartalmazza a 160 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott ANOVA modell eredményeit. Az eredmények értékelését a táblázatból olvashatjuk ki. Az eredmények közül, ebben az esetben is, csak a kölcsönhatás tényezőnek van hatása a mérési eredményekre 95%-os szignifikancia szinten, hiszen a számított F értékhez tartozó p érték kisebb, mint 0,05.

Az eltérés forrása	df _i Szabadsági fok	SS _i Eltérés négyzetösszeg	MS _i Szórásnégyzet	F	p
Pozíció (A)	1	0,0015494	0,0015494	11,4864	0,077
Mérőszemély (B)	2	0,0001951	0,0000976	0,7232	0,580
AB	2	0,0002698	0,0001349	9,5591	0,003
Ismétlések	12	0,0001693	0,0000141		
Teljes	17	0,0021836			

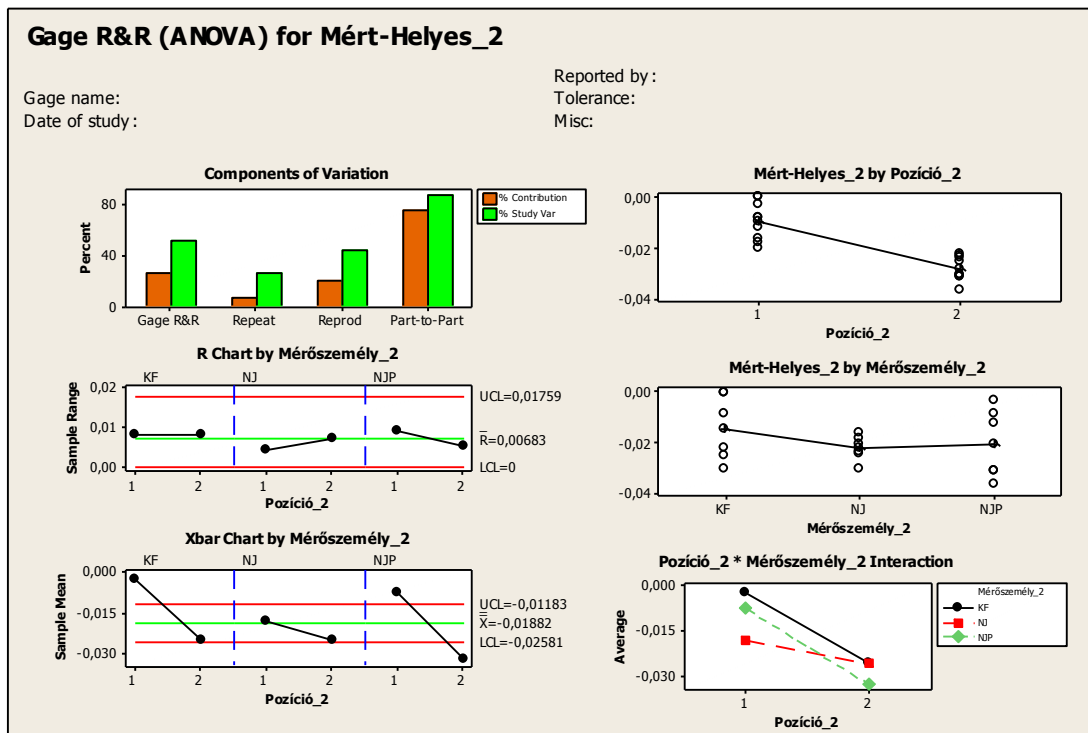
9. táblázat 160 mm névleges értékhez tartozó ANOVA modell

A mérés kiértékelése során elvégeztem az ismételhetőség és a reprodukálhatóság vizsgálatát is. A reprodukálhatóság magába foglalja a mérőszemélyek eltéréseit, valamint a mérőszemélyek és a pozíciók kölcsönhatásait is. A 160 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott eredményeit az 10. táblázatban közlöm.



Ismételhetőség [mm]	0,0038
Reprodukálhatóság [mm]	0,0063

10. táblázat Ismételhetőség és reprodukálhatóság vizsgálat eredménye



9. diagram 160 mm névleges értékhez tartozó eredmények kiértékelése

A 11. táblázat tartalmazza a 290 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott ANOVA modell eredményeit. Az eredmények értékelését a táblázatból olvashatjuk ki. Az eredmények közül, ebben az esetben is, csak a kölcsönhatás tényezőnek hatása van a mérési eredményekre 95%-os szignifikancia szinten, hogy a számított F értékhez tartozó p érték kisebb, mint 0,05.

Az eltérés forrása	df _i Szabadsági fok	SS _i Eltérés négyzetösszeg	MS _i Szórásnégyzet	F	p
Pozíció (A)	1	0,0002494	0,0002494	0,6198	0,514
Mérőszemély (B)	2	0,0008921	0,0004461	1,1085	0,474
AB	2	0,0008048	0,0004024	10,5583	0,002
Ismétlések	12	0,0004573	0,0000381		
Teljes	17	0,0024036			

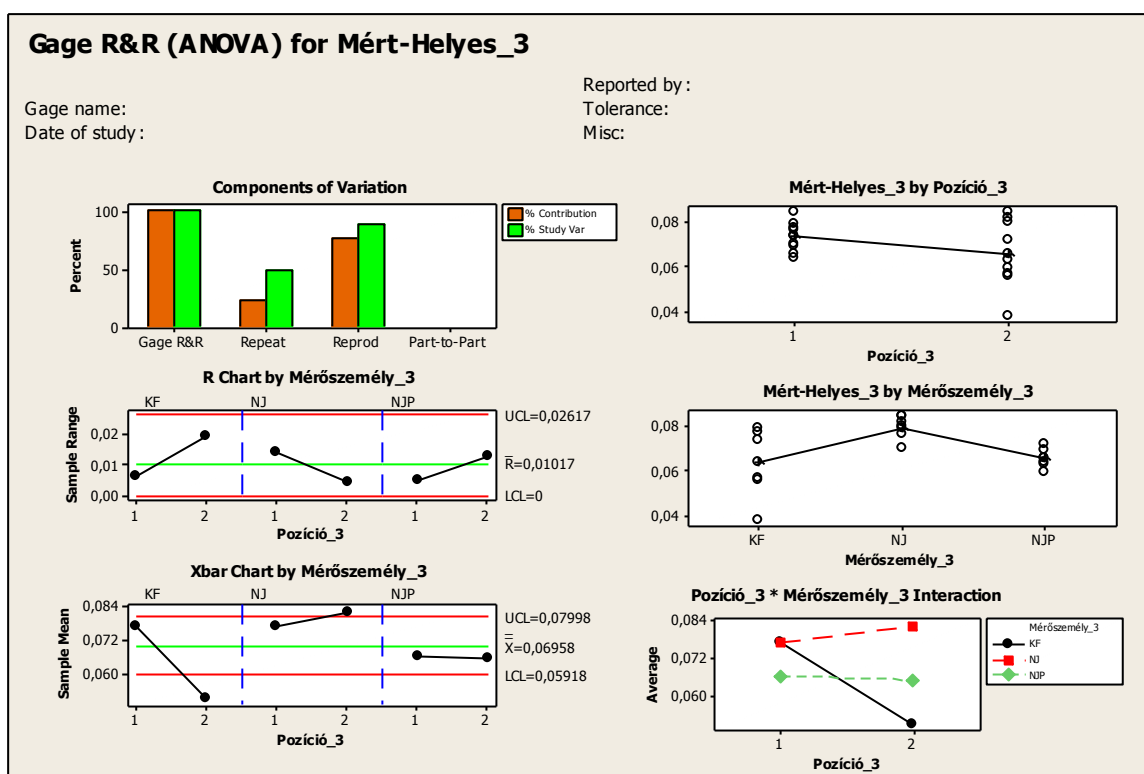
11. táblázat 290 mm névleges értékhez tartozó ANOVA modell



A mérés kiértékelése során elvégeztem az ismételhetőség és a reprodukálhatóság vizsgálatát is. A reprodukálhatóság magába foglalja a mérőszemélyek eltéréseit, valamint a mérőszemélyek és a pozíciók kölcsönhatásait is. A 290 milliméteres névleges értékre vonatkoztatott eredményeit az 12. táblázatban közlöm.

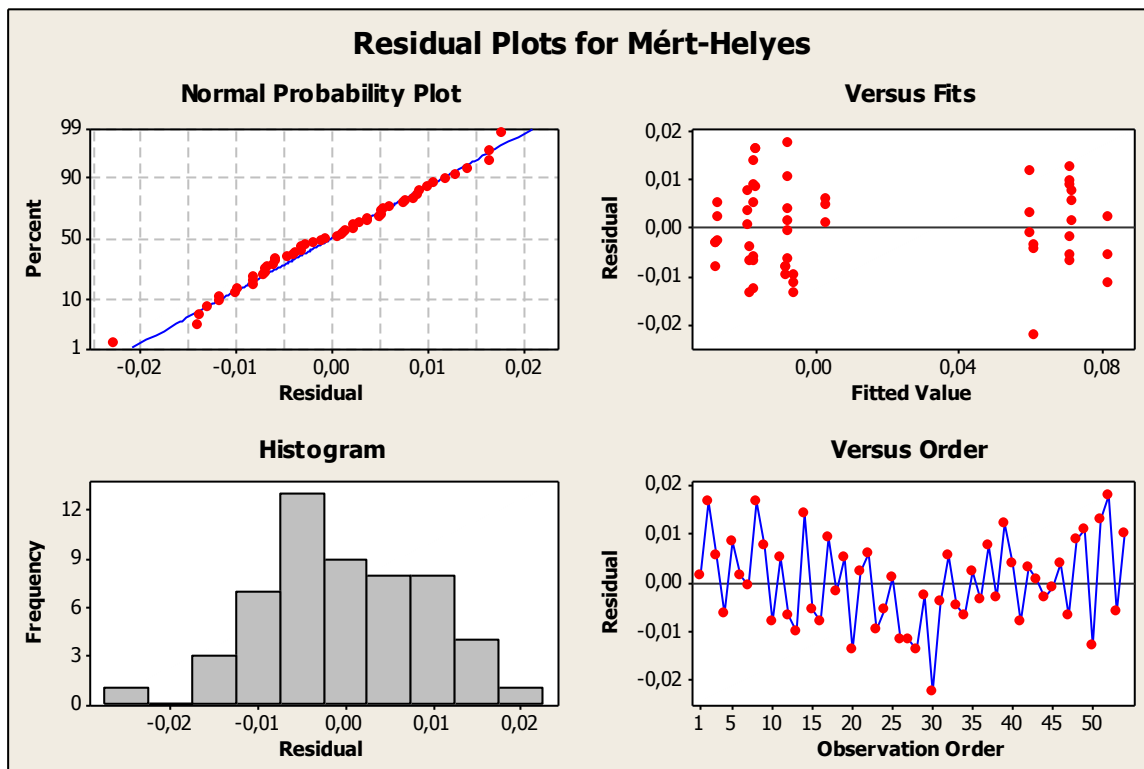
Ismételhetőség [mm]	0,0062
Reprodukálhatóság [mm]	0,0113

12. táblázat Ismételhetőség és reprodukálhatóság vizsgálat eredménye



10. diagram 290 mm névleges értékhez tartozó eredmények kiértékelése

A 11. diagramon négy különböző kiértékelés látható. A Gauss hálón (balra fent) ábrázolt összetett relatív gyakorisági értékek menete lineárisnak tekinthető, azaz a pontok egy egyenes mentén helyezkednek, tehát a kísérleti hibák normális eloszlást követnek. Hasonló következtetést vonhatunk le a kísérleti hibák hisztogramos ábrázolását vizsgálva (balra lent). A jobb oldali ábrák a becült és a mért értékek eltéréseit ábrázolja a becült értékek (jobbra fent) valamint a kísérletek sorrendje (jobbra lent) függvényében.



11. diagram A mért értékek ábrázolása

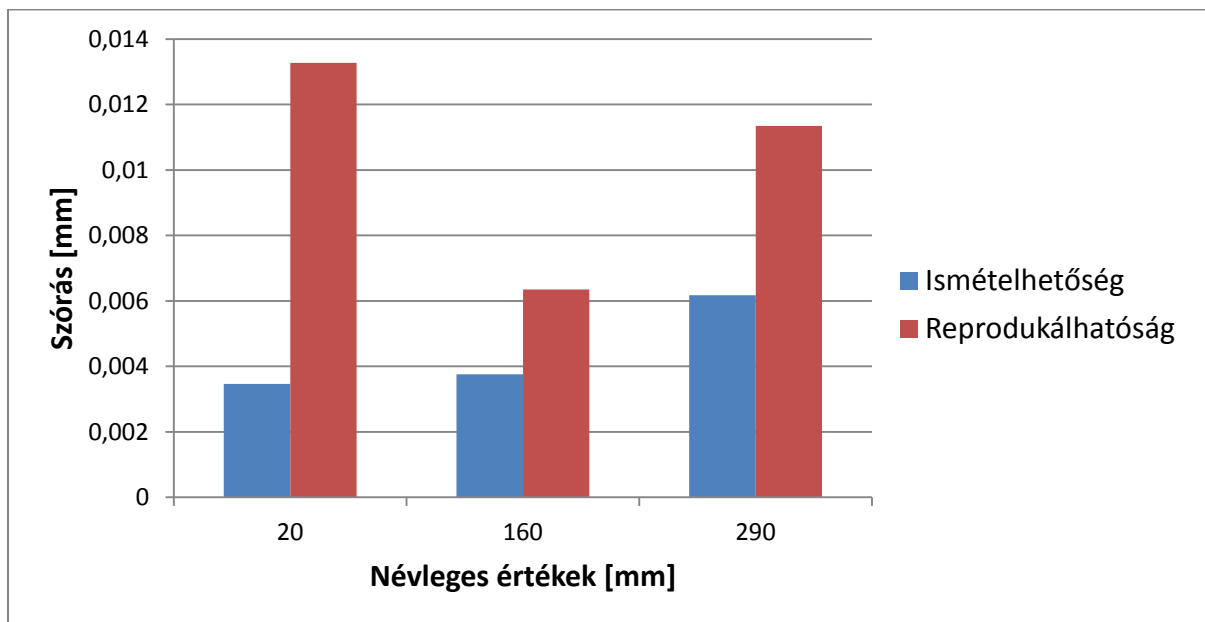
5.4 Mérési eredmények összegzése

Az első mérési sorozat eredményeiből összegzésképpen azt vontam le, hogy a mérési eredményt nagyban befolyásolja az, hogy az etalont milyen mérési helyzetben mérjük, illetve, hogy mekkorák a mérési távolságok, amiket mérünk. Ahogy látható volt az 1. diagramon, hogy a mérési eredményeknek a névleges értéktől való eltérése 100 milliméter felett megnövekedett. A mérési eredmények két szempont szerinti kiértékelése során arra a következtetésre jutottam, hogy míg csak a mérési eredmények átlagaival számoltam, úgy mérési helyzet, valamint a mérési helyzet és a névleges érték kölcsönhatása befolyásolta mérési eredményt, addig abban az esetben ahol figyelembe vettem az összes mérési eredményt, minden paraméter megváltoztatása és azoknak kölcsönhatása is hatással volt a végkifejletre.

A második mérési sorozat során arra a megállapításra jutottam, hogy a mérési eredményt a három faktor változtatása hatására csak a névleges érték nagysága befolyásolta, valamint a faktorok kölcsönhatásai. A 12. diagramon szemléltetem, a három névleges értékhez tartozó ismételhetőség és reprodukálhatóság eredményeit. Az ismételhetőség azt mutatja meg, hogy ugyanazt az etalont, ugyanaz a személy, azonos körülmények esetén



milyen pontossággal tudja megmérni, míg a reprodukálhatóság pedig azt fejezi ki, hogy ugyanazt az etalont, azonos körülmények között más mérőszemély milyen precizitással méri meg. A 12. diagramból leolvasható, hogy minél nagyobb a névleges érték annál nagyobb az ismételhetőségi eltérés. A reprodukálhatóságra azonban nem tehetek ilyen egyértelmű kijelentést, hiszen a legkisebb és legnagyobb névleges értékeknél van a legnagyobb eltérés.



12. diagram Összesített ismételhetőség és reprodukálhatóság

Az eredményeket összegezve, a második mérési sorozat alapján meghatározható ismételhetőségi szórás:

$$u_{ism,2.sorozat} = \sqrt{\frac{u_{ism,20}^2 + u_{ism,160}^2 + u_{ism,290}^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,0035^2 + 0,0038^2 + 0,0062^2}{3}} = 0,0047[mm]$$

A reprodukálhatósági szórás pedig:

$$u_{repr} = \sqrt{\frac{u_{rep,20}^2 + u_{rep,160}^2 + u_{rep,290}^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,0133^2 + 0,0063^2 + 0,0113^2}{3}} = 0,0107[mm]$$



6. Mérési bizonytalanság számítás

A mérési eredményekből az ISO/TS 15530-3:2004 [4] szabvány szerint képeztem a mérőkar mérési bizonytalanságát, az alábbi meghatározás szerint.

$$U = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2 + u_w^2} + |b| \quad (1)$$

Ahol:

U: kiterjesztett mérési bizonytalanság

k: kiterjesztési tényező

u_{cal} : mérőgép kalibrálási bizonytalanság

u_p : mérésekből származó bizonytalanság

u_w : hőmérsékletből eredő bizonytalanság

b: rendszeres hiba (amelyet az említett szabvány szerint el lehet hanyagolni, amennyiben a felhasználó nem kívánja figyelembe venni).

A bizonytalanság meghatározása során hőmérsékletből eredő bizonytalansági tényezőt figyelmen kívül hagytam, mivel a csuklókaros koordináta mérőgép rendelkezik hőmérséklet komparátorral.

Az így kialakult számítási módszer az alábbi lett:

$$U = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2} + |b| \quad (2)$$

Kalibrálási bizonytalanság kiszámításának a módja:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k} \quad (3)$$

A mérésekből eredő bizonytalanság kiszámításának a módja:

$$u_p = \sqrt{u_{ism}^2 + u_{repr}^2} \quad (4)$$



Az ismétlésekből eredő bizonytalanságok a kétféle mérési sorozattal kapott ismételtetőségi szórások átlagaként határozom meg:

$$u_{ism} = \sqrt{\frac{u_{ism,1.sorozat}^2 + u_{ism,2.sorozat}^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,0023^2 + 0,0047^2}{2}} = 0,0037[mm] \quad (5)$$

A reprodukálhatósági szórás a második mérési sorozat alapján:

$$u_{repr} = \sqrt{\frac{u_{rep,20}^2 + u_{rep,160}^2 + u_{rep,290}^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,0133^2 + 0,0063^2 + 0,0113^2}{3}} = 0,0107[mm] \quad (6)$$

Tehát a mérésekből eredő bizonytalanság összesen:

$$u_p = \sqrt{u_{ism}^2 + u_{repr}^2} = \sqrt{0,0037^2 + 0,0107^2} = 0,0113[mm] \quad (7)$$

Rendszeres hiba meghatározása:

$$b = \bar{y} - x_{cal} \quad (8)$$

Mind a két mérési sorozatra igaz:

k=2

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k} = \frac{0,3}{2} = 0,15[\mu m] \quad (9)$$

A fenti eredmények összegzéseként a mérőkarral történő mérés kiterjesztett bizonytalansága (k=2, megközelítőleg 95%-os biztonsággal) a rendszeres hiba figyelembe vétele nélkül:

$$U = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2} = 2 \cdot \sqrt{(0,15 \cdot 10^{-3})^2 + 0,0113^2} = 0,0226[mm] \quad (10)$$

Tehát a mérőkarral történő mérés kiterjesztett mérési bizonytalansága (k=2 esetén) 22,6 μm-nek adódik.

Ha a rendszeres hibát is figyelembe vesszük, ez a bizonytalanság nagymértékben megnő.



Az első sorozat esetén:

$$U = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2} + |b| = 2 \cdot \sqrt{(0,15 \cdot 10^{-3})^2 + 0,0113^2} + 0,018 = 0,0406[mm] \quad (11)$$

A második sorozat esetén:

$$U = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2} + |b| = 2 \cdot \sqrt{(0,15 \cdot 10^{-3})^2 + 0,0113^2} + 0,037 = 0,0596[mm] \quad (12)$$

A mérőkarral történő mérés során a rendszeres hiba oly mértékben megnöveli a mérés bizonytalanságát, hogy akár 60 μm mérési bizonytalanság is adódhat 95%-os statisztikai bizonytalanság mellett.



Befejezés

Dolgozatomban bemutattam, hogy a csuklókaros koordináta mérőgéppel történő mérésének eredményét mennyire befolyásolják a különböző tényezők változtatása. A két mérési sorozat között a legjelentősebb különbség az volt, hogy az etalont az első helyzetben vertikálisan míg a második mérési sorozat horizontálisan helyeztük el a mérőasztalon, valamint, hogy az első esetben egy mérőszemély, míg a másodikban három mérőszemély végezte a méréseket.

A mérések során választ kaptam azokra a kérdésekre, amiket a mérés megkezdése előtt tettem fel magamnak. A mérés kimenetét valóban befolyásolják az általunk választott paraméterek (pozíció, névleges érték, mérőszemély) és ezeknek kölcsönhatásai. A kiértékelés során bebizonyosodott, hogy az első mérési sorozat során a mérési eredményt befolyásoló tényezők külön-külön és egymással kölcsönhatásban is befolyásolják a mérés eredményét, míg a második mérési sorozatnál csak a kölcsönhatásokat vettük figyelembe. Ez annak köszönhető, hogy vertikális irányban nagyobb bizonytalanságot viszünk az mérési eredménybe, mintha horizontálisan végeznénk a méréseket, valamint, hogy ez etalon mennyire könnyen mérhető helyen helyeztük el a gránit asztalon. A második mérési sorozat során az ismételhetőség és a reprodukálhatóság a névleges értékek függvényben eltért. Nem lehet egyértelmű kijelentést tenni, hogy nagyobb névleges értékeknél magasabbak az ismételhetőség és reprodukálhatóság értékei.

A mérési bizonytalanság meghatározása közben is beigazolódott, hogy az első mérési sorozat értékeinek nagyobb a bizonytalansága, mint a másodikénak.

Összességében az mondható el, hogy a mérőkar bizonytalanságának alakulását nagyban befolyásolják a mérési körülmények.



Irodalomjegyzék

- [1] ASME B89.4.22-2004: Methods for Performance Evaluation of Articulated Arm Coordinate Measuring Machines (CMM)
- [2] VDI/VDE 2617-2001 Blatt 2.1: Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten - Kenngrößen und deren Prüfung - Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-2 zur Messung von Längenmaßen
- [3] VDI/VDE 2617-2006 Blatt 9: Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten - Kenngrößen und deren Prüfung - Annahme- und Bestätigungsprüfung von Gelenkarm-Koordinatenmessgeräten
- [4] ISO/TS 15530-3:2004: Geometrical Product Specifications (GPS) -- Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement -- Part 3: Use of calibrated workpieces or standards
- [5] Portable CMM Ball Probes, Technology White Paper, FARO kiadvány, <http://www.faro.com/conventv2.aspx?ct=di&content=misc&item=2146>, 2014.10.12.
- [6] Metris Metrology Solutions, RCA robot CMM arm, Metris kiadvány www.metrismetrology.com/downloads/393.metrology_guide_eng_0409.pdf, 2014.10.11