



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Mérőcsapos menetmérés metrológiai vizsgálata

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Bartók Attila
T007602/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

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

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bartók Attila
Szakdolgozat száma: SZD21020517119197
Törzskönyvi száma: T007602/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépésmérnöki
Specializáció: gépésmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Mérőcsapos menetmérés metrológiai vizsgálata
A dolgozat címe angolul: Metrological examination of 3-wire thread measurement

A feladat részletezése:

1. Ismertesse és osztályozza a meneteket, menetfajtákat méreteik és tűréseik alapján!
2. Ismertesse a menet középátmérő mérés módszereit, különös tekintettel a pontossági követelményekre!
3. Határozza meg, hogy mely tényezők befolyásolják a mérőcsapos menetmérést Abbe hosszsmérőgépen és becsülje meg a hatásukat!
4. Mérje meg a kiválasztott menet középátmérőjét mérőcsapos módszerrel és határozza meg a mérés bizonytalanságát!

Intézményi konzulens neve: Horváthné Dr. Drégelyi-Kiss Ágota

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 26.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.12.01.

.....
hallgató aláírása



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

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

KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

(nappali és levelező képzés)

Hallgató neve: Bartók Attila	Neptun kód: [REDACTED]	Tagozat: Levelező
Telefon: [REDACTED]	Levelezési cím: [REDACTED]	
Szakdolgozat címe magyarul: Mérőcsapos menetmérés metrológiai vizsgálata		
Szakdolgozat címe angolul: Metrological examination of 3-wire thread measurement		
Intézményi konzulens: Dr. Drégelyi-Kiss Ágota	Külső konzulens: Nincs	

Kérjük, hogy az adatokat nyomtatott nagy betűkkel írja!

Alk.	Dátum	Tartalom	Aláírás
0.	2022.03.10.	Mérések elvégzése	[Signature]
1.	2022.03.11.	Mérések elvégzése	[Signature]
2.	2022.09.06.	Szakdolgozat pontjainak pontosítása	[Signature]
3.	2022.11.10.	Szakirodalom pontosítása	[Signature]
4.	2022.12.01.	Mérési bizonytalanság pontosítás	[Signature]

A Konzultációs naplót összesen 4 alkalommal – az egyes konzultációk alkalmával – kell láttamoztatni a Belső konzulenssel.

A hallgató a „Szakdolgozat” tantárgy aláírási követelményét teljesítette.

[Signature]
Intézményi konzulens

2022. december 09.



1081 Budapest,
Népszínház u. 8.

+36 (1) 666-5316
+36 (1) 666-5332

farkas.gabriella@bgk.uni-obuda.hu
www.bgk.uni-obuda.hu

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
2. A téma irodalmának feldolgozása.....	8
2.1. Menetekről általánosságban	8
2.2. Metrikus menet:	9
2.3. Whitworth menet, Csőmenet:	10
2.4. Zsinór menet	11
2.5. Trapéz menet	12
2.6. Golyós orsó	12
2.7. Tűrésekről általánosságban.....	13
2.8. Menetek tűrése.....	14
2.9. Mérések során fellépő hibák	15
2.10. Idomszerek	16
3. Menet középátmérő mérés módszerei, pontossági osztályok bemutatása	20
3.1 Orsóméret középátmérő mérése mérőcsappal	20
3.2 Orsóméret középátmérő mérése menetmikrométerrel	21
3.3 Orsóméret középátmérő koordináta mérőgéppel	23
4. Mérést befolyásoló tényezők mérőcsapos menetmérésnél Abbe hosszmérőgépen. ..	24
4.1 Isikawa diagram	24
5. Menet középátmérő mérés mérőcsapos módszerrel.....	29
5.1 Mérési kiinduló adatok	29
5.2 Mérés menete:.....	30
5.3 Felhasznált katalógus adatok:	32
5.4 Mérési bizonytalanság számítás:	39
5.5 Nem megy oldal mérése	41
5.6 Mért értékek kiértékelése.....	47
6. Összefoglalás.....	48
7. Summary	49
Irodalomjegyzék	50

1. Bevezetés

Szakedolgozatomban a Mérőcsapos menetmérés metrológiai vizsgálatával foglalkozom. Ehhez vásároltam az M&B Calibr webáruházában (<https://www.mbcaltbr.hu/>) egy Insize márkájú metrikus 6H tűrésű M27x3 mm normál menetemelkedésű dugós idomszert (Serial number: 0212210234). Az idomszerhez mellékeltek a hozzátartozó sorszámmal ellátott mérési jegyzőkönyvét. Szakedolgozatomban az egyetemi méréstechnika laborban található Carl Zeiss JENA 2182 DDR Abbe elven működő hossz mérőgépen fogok méréseket végezni mérőcsapok segítségével, ezen dugós idomszer megy és nem oldal középátmérő mérésére. A kiértékelt adatokat fogom összehasonlítani a kalibrálási jegyzőkönyvben szereplő értékekkel, végül pedig eltérés esetén ellenőrzöm, hogy a dugós idomszer mért középátmérő értékei megfelelnek e szabványban rögzített tűrésnek.

Mérés során a lehető legkörültekintőbben fogok eljárni. Sajnos sem a használni kívánt hossz mérőberendezésnek, sem a mérőetalonoknak, sem pedig a mérőcsapoknak nem állt rendelkezésre a kalibrációs jegyzőkönyve. A mérőcsapokat és a mérőetalonokat ellenőrzés céljából mikrométerrel is ellenőriztem. Az etalonok mérése során a mérési eredményekből arra lehet következtetni, hogy a hossz mérőberendezés megfelelően karbantartott és a kívánt pontosságnak megfelel. A méréseket több időpontban, több alkalommal végeztem el, hogy minél több mérési adat álljon rendelkezésre a kiértékelésre. A kapott értékeket a módon fogom kiértékelni, különös tekintettel a mérés során keletkező hibákra.

Szakedolgozatomban bemutatom a menetek osztályozását, különféle csoportosítását, illetve alkalmazási területeit, valamint méreteit, szabványosított tűréseit. A második fejezetben a középátmérő mérési módszereit fogom bemutatni. A harmadik fejezetben a méréseket befolyásoló hibákat fogom bemutatni, ebben a fejezetben fogom ismertetni a mérés során használt idomszert, annak jellemző tulajdonságait, használhatóságát, illetve a mérés során használt eszközöket. Ötödik fejezetben elvégzem az idomszer körépmérő mérését a *Megy*, illetve a *Nem megy* oldalon, majd elvégzem a kiértékelést, itt a mérési eredményt illetve összevetem az eszközhöz kapott kalibrációs jegyzőkönyvvel.

A mért értékek korrekcióját a Dr. Szilágyi László: Gépipari hossz mérések. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1982. p. 188-219 szerinti módon fogom végezni, ahol mérési adat

rendelkezésre áll, ahol mérési adat nem áll rendelkezésre, ott a névleges mérettel fogok számolni, ilyen például a menetemelkedés szöghibája vagy a mentprofil eltérése. A mért értékek korrekcióra azért van szükség, mert a hosszmérőgépről leolvasott érték nem az idomszer középátmérőjét mutatja, hanem a mérőcsapokkal növelt méretét, mely nem egyezik meg a középátmérővel. A mérési bizonytalanság számítását pedig egy angol nyelvű forrást felhasználva fogom kiszámolni, Determination of Pitch Diameter of Parallel Thread Gauges by Mechanical Probinggazzal 07.2007. Majd ezen mérési adatokat összevetem az idomszerhez mellékelt mérési jegyzőkönyvvel és elvégzem a kiértékelést.

2. A téma irodalmának feldolgozása

2.1. Menetekről általánoságban

A kötések két csoportba sorolhatjuk, oldható és oldhatatlan, a menetek az oldható kötések közé tartoznak, Menetek többféleképpen csoportosíthatjuk, elhelyezkedésük szerint megkülönböztetünk külső, illetve belső meneteket. Külső menet a hengeres test palást felületén található, belső menet pedig furatban található. Menetemelkedés iránya szerint lehet balos vagy jobbos menet, illetve készíthető egyszerre azonos profilú jobbos – balos. A meneteket csoportosíthatjuk a profiljuk szerint, fűrész, lapos, trapéz, zsinór, cső, Whitworth, metrikus és speciális meneteket. Működésük szerint lehet kötő vagy mozgató. Menetemelkedés mértéke szerint, lehet finom, illetve normál menetemelkedésű. A menetek jellemző méreteit és gyártási tűréseit nemzetközi és hazai szabványok rögzítik. Menetek kialakítása tűréssel készül. Menetprofilok szabványosítottak, katalógusból kiválaszthatóak. Trapéz és fűrészmenetet leginkább mozgató csavarorsókon használnak, fűrészmenetet akkor használnak, ha jelentős egy oldalról ható lépnek fel, zsinór menet elsősorban erősen szennyezett környezetben használják. Legelterjedtebb rögzítő menet a metrikus menet. A kötőcsavarok általában metrikus menettel készülnek.

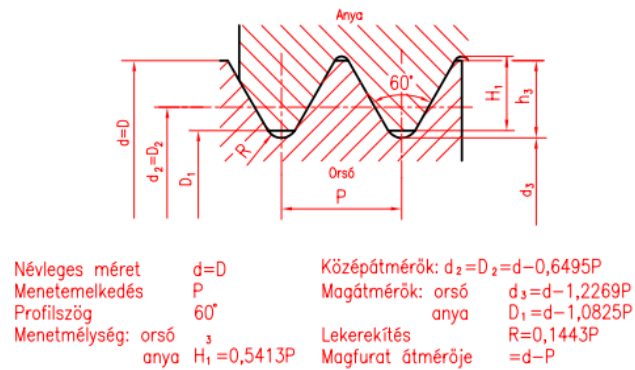
Menetek jellemző tulajdonságai: Menet típusa, menetemelkedési szöge (α), középátmérője (d_2), külső átmérője (d) és a magátmérője (d_1), menetemelkedés (h/p).

Menetek gyártása többféle képen történhet, függően a gyártandó mennyiségtől, e alapvetően három féle főbb eljárást különböztetünk meg:

- Forgácsolási eljárások (menet marás, örvénylőmenetmarás, menetesztorgálás, menet fúrás)
- Képlékenyalakítási eljárások (menet mángorlás, hidegalakítás) - tömeggyártás
- Öntési technológiák (elsősorban műanyag ipar)

Szakdolgozatomban elsőként a menetek geometriai tulajdonságait, alkalmazhatóságait mutatom be, a különféle gyártási módszerek bemutatása nem képezi a szakdolgozatom tárgyát. Majd a menetek tűréseinek alapvető összefüggéseit, illetve szabványait mutatom be.

2.2. Metrikus menet:



1. ábra Metrikus menet metszete és jellemző adatai [8]

Többféle elnevezése van: metrikus menet, milliméteres menet, ISO metrikus menet, háromszög alakú menet. Profilszöge 60° , méretei [mm]-ben vannak megadva. Menetemelkedése, lehet normál, illetve finom emelkedésű, menetemelkedés iránya szerint lehet balos vagy jobbos, önzáró. Csúcsa le van törve, a tő pedig kerekítve. Méretei szabványosítottak: ISO 724 (DIN 13), ezért alkalmazások egyszerű, a megfelelő kötőelem könnyedén katalógusból kiválasztható, legtöbb típusa kereskedelmi termék. Profilja egyenlő oldalú háromszög, mely szilárdsági szempontból előnyös. Szilárdsági jellemzői is szabványba rögzítettek (ISO 898), jelölése 3.6, 4.6, 4.8, ... 8.8, 9.6, 10.9, 12.9, értelmezés bemutatása 12.9 jelölés alapján: 12 jelöli a szakítószilárdság értékének szárazrészét, azaz a szakítószilárdság (R_m) $12 \cdot 100$ azaz $1200 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ a két szám szorzata $12 \cdot 9$ jelöli az alsófolyáshatár (R_{aL}) / Rugalmassági határ R_{p02} (0,2%-os maradó alakváltozáshoz tartozó feszültség) századrészét, $12 \cdot 9 \cdot 100 = 1080 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Általában rögzítésre használják.

Jelölés rendszere szabványosított, példa: M14x1,5 – LH

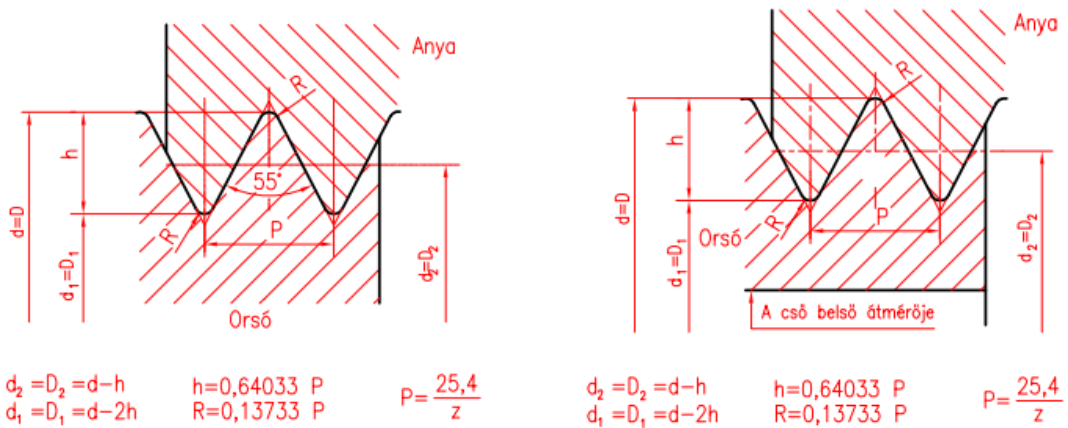
ahol:

- M jelöli, hogy profil típusa metrikus
- 14 jelöli, hogy a külső átmérő méretét (d vagy D), mértékegysége [mm]
- x1,5 jelöli, hogy finom menetről van szó, a menetemelkedése (p) = 1,5, ha ezen jelölés hiányzik, akkor normál menetről van szó mértékegysége [mm]
- LH jelöli, hogy menetemelkedés bal sodrású, ha nincs jelölve akkor jobbos menetről beszélünk.

Metrikus menet jellemző adatai:

- α : menetemelkedés szöge vagy másként profilszöge mértékegysége [$^\circ$]
- p : menetemelkedése mértékegysége [mm]
- d vagy D : külső, vagy másként névleges átmérő mértékegysége [mm]
- d_1 középátmérő mértékegysége [mm]
- d_2 magátmérő mértékegysége [mm]

2.3. Whitworth menet, Csőmenet:



2. ábra Whitworth menet metszete és jellemző adatai [8] 3. ábra Cső menet metszete és jellemző adatai [8]

A Whitworth profilt, Sir Joseph Whitworth brit mérnök (1803-1887) dolgozta ki és szabványosított az angliai Manchesterben 1841-ben. MSZ201-60

Jelölés rendszere szabványosított, példa: M14x1,5

ahol:

- M jelöli, hogy profil típusa metrikus
- 14 jelöli, hogy a külső átmérő méretét (d vagy D), mértékegysége [mm]
- $\times 1,5$ jelöli, hogy finom menetről van szó, a menetemelkedése (p) = 1,5, ha ezen jelölés hiányzik, akkor normál menetről van szó mértékegysége [mm]

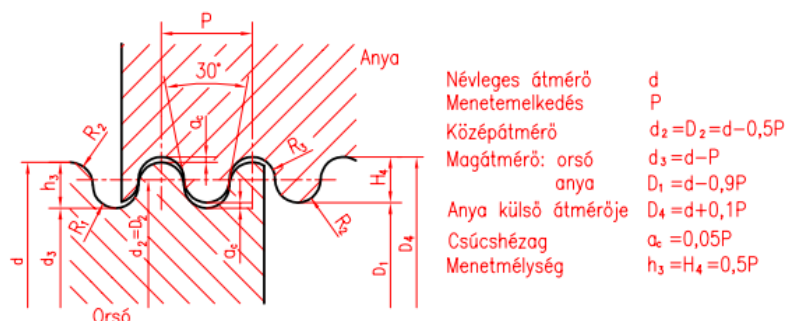
Háromféle minőségű tűrés van szabványosítva

- f: finom
- k: közepes
- d: durva

Withwort menet jellemző adatai:

- α : menetemelkedés szöge vagy másként profilszöge mértékegysége [$^\circ$]
- p : menetemelkedése mértékegysége [hüvelyk]
- d vagy D : külső, vagy másként névleges átmérő mértékegysége [hüvelyk]
- d_1 középátmérő mértékegysége [hüvelyk]
- d_2 magátmérő mértékegysége [hüvelyk]

2.4. Zsinór menet



4. ábra Zsinór menet metszete és jellemző adatai [8]

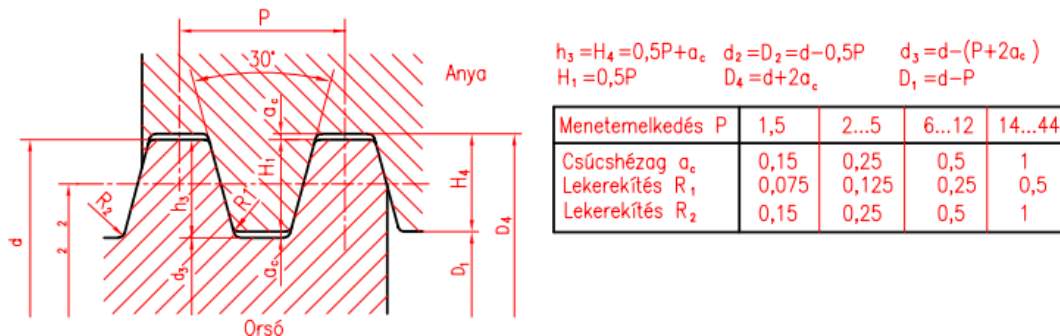
A zsinór menetek (vagy lekerekített menetek) profilja meggátolja a szennyeződések megtapadását és a mechanikai sérülést. Ez a termék sokkal ellenállóbb a kopással és az elhasználódással szemben, mint más menetek, mivel ezen nincsenek finom szélék. Egybekezdésű és több bekezdésű ISO-csúszó meneteket és zsinór meneteket gyárthatók. DIN 405, DIN 15403 és DIN 20400 szabványok alapján (metrikus és angolszász mértékegységek szerint méretezéssel), valamint készítünk speciális méretű zsinór meneteket is.

Jelölés rendszere szabványosított, példa: Rd20x 1/8

ahol:

- Rd jelöli, hogy profil típusa zsinór menet
- 20 jelöli, hogy a külső átmérő méretét (d vagy D), mértékegysége [mm]
- 1/8 jelöli, hogy a menetemelkedés 1/8" azaz 25,4/8 [mm]

2.5. Trapéz menet



5. ábra Trapéz menet metszete és jellemző adatai [8]

Jellemző méreteit és tűréseit az MSZ207-67 tartalmazza. Profil szöge 30° , méretei miniméterben vannak meghatározva. Szilárdsági szempontból előnyös, azonban a hatásfoka a mozgatásnak rosszabb, mint a metrikus menet esetén.

Jelölés rendszere szabványosított, példa: TR20x4

ahol:

- TR jelöli, hogy profil típusa trapéz
- 20 jelöli, hogy az orsó külső átmérő méretét (d), mértékegysége [mm]
- x4 jelöli, hogy a menetemelkedése (p) = 4 mm

2.6. Golyós orsó

Legpontosabb működés, mozgatásra használjuk, kis játék jellemzi, főleg CNC gépeken használják előtoló mozgás előállítására. Pontossága IT4-IT6. A golyós orsó működési elve eltér a többi menettől, ahol a csavarmenet és az anya közvetlenül kapcsolódik egymáshoz, és közöttük súrlódó ellenállás lép fel. A golyós orsó esetén a két elem közé ékelődik egy precízen megmunkált, edzett kivitelű golyó, emiatt pedig a súrlódó ellenállás helyett gördülő ellenállás lép fel, mely pontosabb mozgatást, kisebb játékot és hosszabb élettartamot jelent, viszont érzékenyebb a szennyeződésekre, mivel a megmunkálás pontossága miatt a játék nagyságrenddel kisebb, mint a normál menetek esetén.



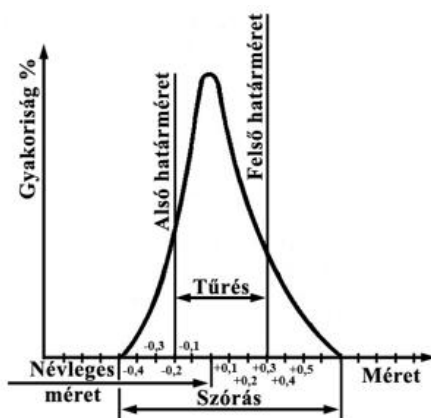
6. ábra CNC gépeken használatos golyósorsós hajtásrendszer [12]

2.7. Tűrésekről általánosságban

A névleges értékhez képesti eltérések megengedett mértékét a gépipari tűrések írják elő. Az eltéréseket okai a gyártó berendezések pontatlanságai, az anyag minőségbeli eltérések, (zárványok, összetételből adódó hibák, öntéssel, megmunkálással összefüggő méret eltérések) a szerszámok kopása, a gyártás során mérhető hőmérséklet ingadozása, a mérést végző pontatlansága.

Névleges méretnek nevezzük a munkadarab nagyságrendjének jellemzésére szolgáló alapmértetet.

Tűrés használatának oka: A gyártás során mindig valamilyen nagyságú hibával tudjuk legyártani az alkatrészt.



7. ábra Mért értékek szórása [1]

Általában ez az eloszlás nem szimmetrikus. Az alkatrészek (méretei) nagy részénél nem engedhetjük meg a teljes szórásstartományt, ezért határokat kell kijelölnünk (terveznünk). A határok kijelölésének gyakorlati szempontjai vannak, ilyenek lehetnek például: milyen gépen gyártjuk le az alkatrészt, hova lesz beszerelve az alkatrészt, egyedi vagy sorozatgyártott alkat- rész-e vagy, hogy milyen alapanyagból készült. Felső határméret az a méret, melynél nagyobb méretű alkatrészt már nem működik megfelelően. Az alsó határméret az a méret, melynél kisebb alkatrészt már nem működik megfelelően. Vagyis a töréssel meghatározzuk a beszerelendő, vagy megmunkálendő alkatrésztnek a névleges és a valós mérete közötti megengedhető legnagyobb eltérését. A törést jellemezhetjük: a törésmező nagyságával és helyzetével.

2.8. Menetek tűrése

A menetek tűréssel ellátott kötőelemek, amennyiben általános célra vonatkozó felhasználásra készülnek és külön egyedi szabvány vagy előírás nem kerül feltüntetésre, akkor a méretezésre és méretpontosságra az ISO 4759 előírása az iránymutatóak, ez a szabvány 1,6 mm-től 150 mm-ig terjedő tartományt fed le, az alábbi három kategóriára osztva:

- „A” kategória (előzőleg m típus, közepes)
- „B” kategória (előzőleg mg típus, közepesen szigorú)
- „C” kategória (előzőleg g típus, szigorú)

Csavarmenet esetén:

- „A” és „B” esetben 6H tűréssel gyártandó
- „C” esetben 7H tűréssel gyártandó

Anyamenet esetén:

- „A” és „B” esetben 6g tűréssel gyártandó
- „C” esetben 8g tűréssel gyártandó

A csavar – csavaranya játékkal kapcsolódik, ez biztosítja, hogy a menetek egymásba illeszthetőek legyenek kis erő kifejtés mellett.

A kötőelemekre az alábbi szabványok érvényesek

- Normál metrikus menet: ISO 724 (DIN13 T1)
- Finom metrikus menet: ISO 724 (DIN13 T)
- Trapéz menet: DIN 103
- Zsinór menet: DIN 405
- Withwort MSZ201-60

Speciális célra készített meneteknél, ezen szabványoktól eltérhetnek a követelmények, mint pontosságban, mint méretekben.

2.9. Mérések során fellépő hibák

Rendszeresnek vagy szabályosnak nevezzük azokat a hibákat, amelyek valamilyen meghatározott törvényszerőség szerint a mérési eredményekben megtalálhatók.

- Állandó rendszeres hibának nevezzük például a kopott mérőeszközzel való méréseket
- Változó rendszeres hibával találkozhatunk, pl tolómérővel való mérés esetén, ha ezen milliméterbeosztás eltér ténylegesen néhány mikronnal több vagy kevesebb a milliméternél

Véletlen hibák

Véletlen hibákat azok a hibák melyek a mérés többször ellenőrzésénél a névleges mérettől eltérően, de egymástól is eltérnek. A hibák váltakozása nem törvényszerű, de a nagyszámú mérési eredmény kiértékelése során bizonyos törvényszerűségek le lehet vonni.

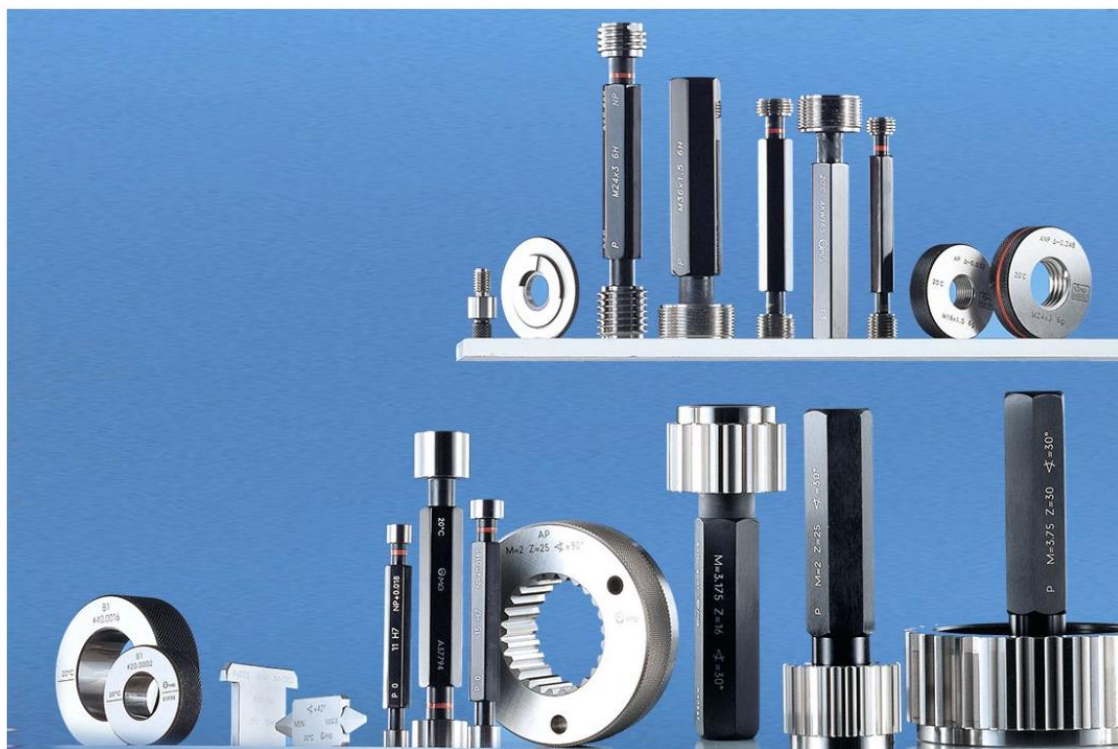
Durva hibák

Durva hibának nevezzük, azokat a mért adatokat, melyet kirívón eltérnek a többi mérési adattól, ezen hibák okozói lehetnek a pontatlan leolvasás vagy a hibás mérőműszer beállítása. A durva hibával rendelkező mérési értékeket figyelmen kívül kell hagyni, mert azok nagymértékben befolyásolhatják a mérési eredményeket.

2.10. Idomszerek

Az idomszerek az elkészített munkadarabok méretét ellenőrzik. Idomszerek használatakor a saját súlyával számolunk, nem szabad erőltetni. Az idomszereket nem egzakt mérésekre használják, mint például a tolómérőt vagy a mikrométert, hanem annak ellenőrzésére, hogy a munkadarab mérete az előírt alsó mérettűrés, illetve felső tűrésmezője közé esik e (megfelelő) vagy sem (selejt). Az idomszer két oldala közül azt, az oldalát amelyik a munkadarabot megfelelőnek minősíti, megy oldálnak, a másikat nem megy oldálnak vagy selejtoldálnak nevezik. Ha az idomszer a törésmező mindkét határát méri, akkor határmérő idomszerről beszélünk. Megfelelő használatát jelzések, feliratok segítik. Előnye, hogy kevésbé szakképzett dolgozó is nagy biztonsággal tudja használni. További előnye, hogy csereszabatosak, azaz a cseréjük gyors és gazdaságos, katalógusból kiválasztható termék.

Az idomszereknek alapvetően 2 félé csoportját különböztetjük meg: villás és dugós. A villás idomszerek külső méret ellenőrzésére használható. A dugós idomszerek belső méretek ellenőrzésére alkalmas. Szakdolgozatom során egy kétoldali metrikus dugós idomszer mérését fogom elvégezni. Mérés sorrendje, mindig a nem megy oldallal kezdünk, ha a nem megy oldal be belemegy akkor selejt, ha megy oldal belemegy a munkadarabba akkor jó, ha nem megy bele akkor javítható selejt, dugós és külső villás ellenkezőleg működik



8. ábra Idomszerek jellegzetes típusai [17]

Az idomszeretek méretei szigorú tűréssel vannak ellátva., $D \leq 180 \text{ mm}$ esetén:

1. táblázat Dugós idomszer Megoldali határértékeinek kiszámítási módja [1]

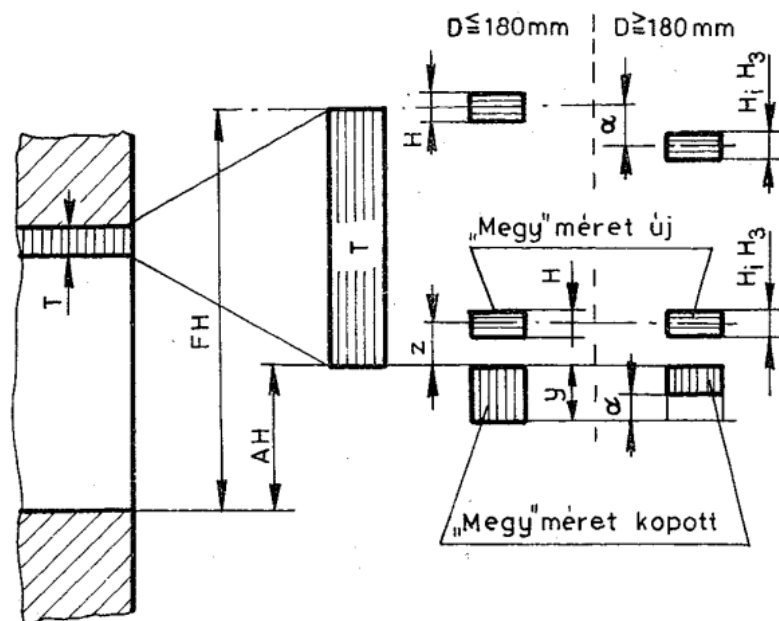
	Villás idomszer	Dugós idomszer
Megy oldal új méret	$FH - z1 \pm H_1/2$	$AH + z \pm H/2$
Megy oldal kopott méret	$FH + y1$	$AH - y$
Nem megy oldal	$AH \pm H1/2$	$FH \pm H/2$

Ahol:

- FH : Felső határméret [mm]
- AH : Felső határméret [mm]
- $z1$: Előrelátható kopás lehetősége
- z : Működő felület megengedett kopása [μm]
- H : Dugós idomszer elkészítési tűrése [μm]
- $H1$: Dugós idomszer működő méret elkészítési tűrése [μm]

Dugós idomszerek megy oldala: alsó határmérethez hozzáadják a kopási vastagságot, nem megy oldala esetén pedig felsőhatárméretre gyártják.

4.3 Idomszerek tűrése



9. ábra Furatmérő idomszer méretezési vázlata [1]

Idomszer gyártási tűrései:

a: Az idomszer gyártási tűrésének, kopási lehetőségének, túlkopásának és mérési biztonsági övezetének számértékei [μm]

A munkadarab tűrésminősége <i>IT</i>	Lyuk-mérés	Csap-mérés	A munkadarab tűrésnagysága	Átmérőcsoportok (a munkadarab névleges mérete)													
				3-ig	3 felett 6-ig	6 felett 10-ig	10 felett 18-ig	18 felett 30-ig	30 felett 50-ig	50 felett 80-ig	80 felett 120-ig	120 felett 180-ig	180 felett 250-ig	250 felett 315-ig	315 felett 400-ig	400 felett 500-ig	
6	<i>z</i>		T	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
	<i>y</i>			1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	6	7	8	
	<i>y'</i>			1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	4	5	6	7	
	α			—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2	
	α_1			—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	3	4	5	
	<i>z</i> ₁			1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11	
	<i>y</i> ₁			1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	5	6	6	7	
	<i>y'</i> ₁			—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	3	2	2	

10. ábra Menetes dugós idomszer IT6 szerinti tűrés értékei, pirossal kiemelve a releváns oszlopot [1]

A munka- darab- tűrés- minősége IT	Tűrésjel	3-ig	3 felett 6-ig	6 felett 10-ig	10 felett 18-ig	18 felett 30-ig	30 felett 50-ig	50 felett 80-ig	80 felett 120-ig	120 felett 180-ig	180 felett 250-ig	250 felett 315-ig	350 felett 400-ig	400 felett 500-ig
6	$H/2$ $H_s/2$ $H_i/2$ $H_p/2$	0,6 1,0 0,4	0,75 1,25 0,50	0,75 1,25 0,50	1,0 1,5 0,6	1,25 2,00 0,75	1,25 2,00 0,75	1,5 2,5 1,25	2,00 3,00 1,25	2,5 4,0 1,75	3,50 5,00 2,25	4 6 3	4,5 6,5 3,5	5,0 7,5 4,0

11. ábra Menetes dugós idomszer IT6 szerinti tűrés értékei, pirossal kiemelve a releváns oszlopot [1]

A szabvány szerinti idomszer

gyártási pontossága $2 \times \pm 2\mu m$, azaz $\pm 4\mu m$,

megengedett kopási vastagság $2\mu m$

AH: 25,051 mm

FH: 25,316 mm

Ahol:

AH: Alsó határméret

FH: Felső határméret

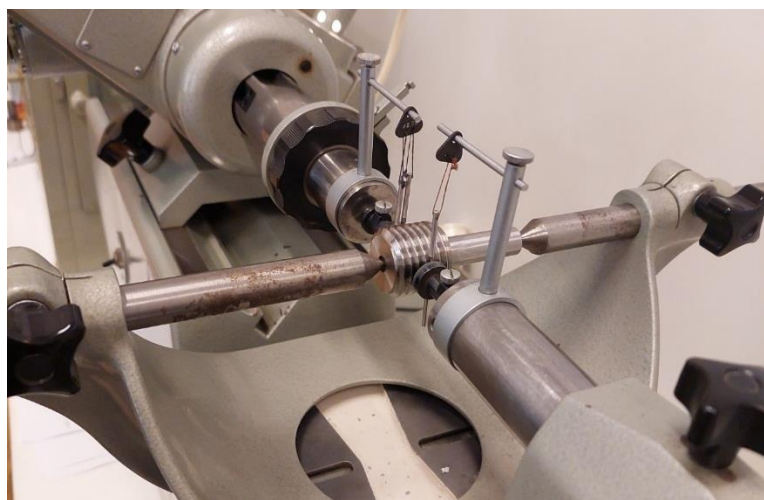
3. Menet középátmérő mérés módszerei, pontossági osztályok bemutatása

A középátmérő a csavarmenet legfontosabb jellemzője. Középátmérő mérésére többféle mérési lehetőség került kidolgozásra az évek során. A szükséges mérési pontosság és a mérési mennyiség alapján kell kiválasztani a megfelelő mérési módszert, melyek lehetnek érintéses és érintésnélküli módszerek. Érintéses módszerek: menetmérő mikrométerrel, menetmérés hosszmérőgépen mérőcsapok segítségével, menetmérés koordináta mérőgéppel. Érintésmentes módszerek pedig optikai elven működnek.

3.1 Orsóméret középátmérő mérése mérőcsappal

Szakdolgozatom során, ezen mérési módszert alkalmazva fogom megmérni az általam kiválasztott idomszer középátmérő méretét. Mérés megkezdése előtt a hosszmérőgép nullázása szükséges, ekkor a két mérőpofát egymáshoz érintjük. Mérés során a hosszmérőgépre felszerelt készülékre helyezzük a megmérni kívánt menettel rendelkező munkadarabot. Kiválasztjuk az adott menetemelkedéshez tartozó 3db egyforma méretű mérőcsapot, melyet hozzácsorítunk a menetárokhoz. Ezek a menetsapok felfekszenek a menet középátmérőhöz közel. A hosszmérőgépen lévő két mérőpofa közti távolságot leolvassuk a mérőgépről.

Hosszmérőgép pontossága általánosságban $1\mu m - 0,1\mu m$ mely függ a mérőpofák távolságáról, mérési tartománya általában 0 mm 680 mm.



12. ábra Menetközépátmérő mérése mérőcsapok segítségével [saját kép]

3.2 Orsóméret középátmérő mérése menetmikrométerrel



13. ábra Menetmérésre alkalmas digitális kijelzővel rendelkező mikrométer [16]



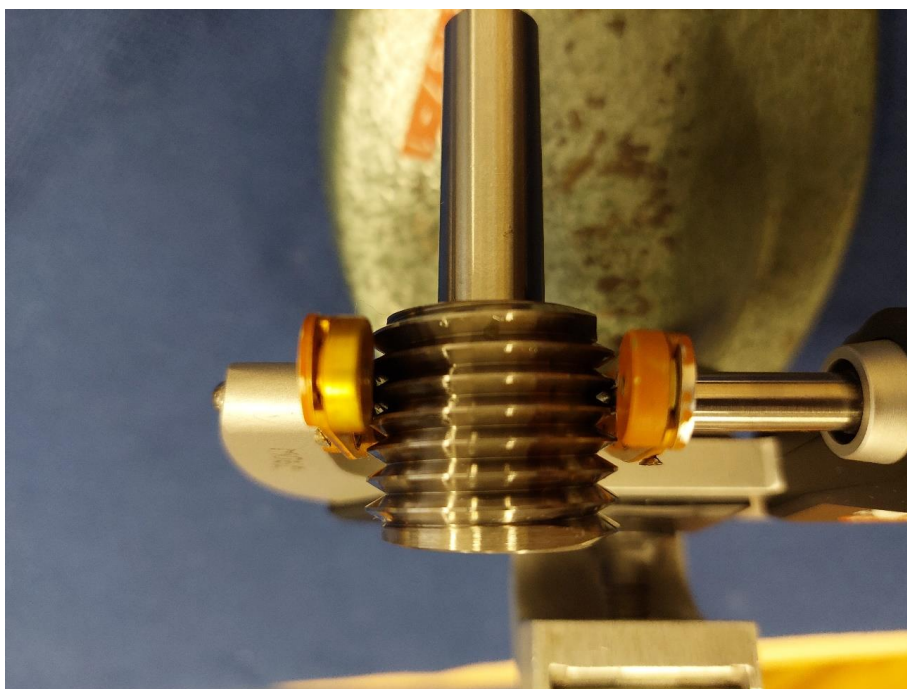
14. ábra Menetmérésre alkalmas nóniusszal rendelkező hagyományos mikrométer [16]

A menetmikrométer 25mm-es fokozatokkal készül. Mérés feltétele, hogy a mérőbetétek az orsómenet középátmérőjén vagy annak közelében legyenek, ezért minden menetemelkedéshez külön betétpár kell. A betétpár egy villás és egy kúpos taggól áll, ez a módszer alkalmas magátmérő mérésére is, ebben az esetben hegyesebb mérőelemet szükséges használni (45°). Fontos a mikrométer pontos beállítása, annak nullázása, ha a két mérőpofát egymásba hajtom, akkor $D_2=0$ középátmérőt kell mutatnia, ha ettől eltérő értéket mutat, akkor a nullázás nem történt meg. Kiértékelése hasonló, mint a hosszmerőgépen mérőcsapokkal történő mérés esetén.

Mérési pontossága függ az átmérő méretétől:

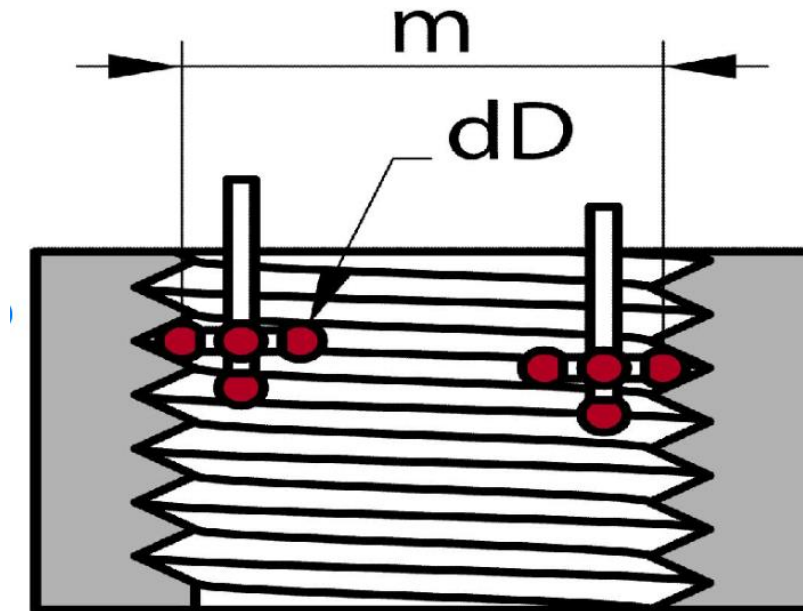
2. táblázat Menetmérő mikrométerek pontossága [19]

Mérési tartomány	Pontosság
0 – 25 mm	3 μm
25 – 50 mm	3 μm
50 – 150mm	4 μm
150 – 300mm	5 μm



15. ábra Középatmérő mérése mikrométerrel [Saját kép]

3.3 Orsóméret középátmérő koordináta mérőgéppel



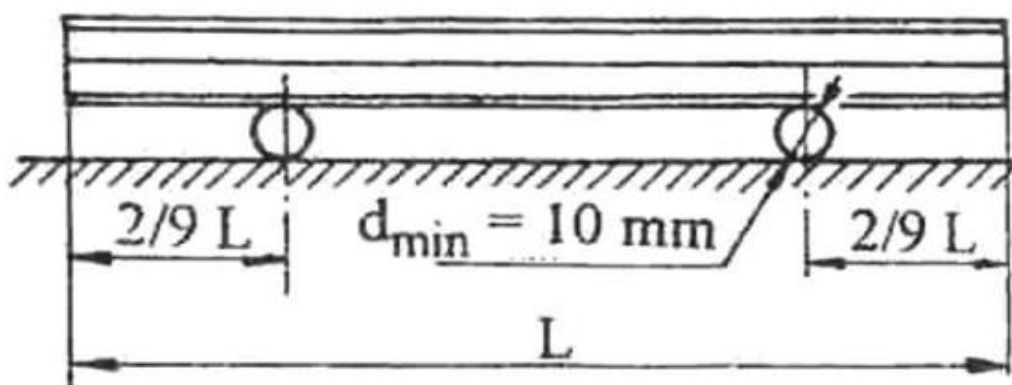
16. ábra Menetközépátmérő mérése mérőtapintó segítségével [15]

Pontosság: $3,0 \mu\text{m} + L/250\text{mm}$ (ISO10360-2 szerint), de manapság már gyártanak ennél pontosabb koordináta mérőgépeket is, mint például a Zeiss Spectrum plus melynek a pontossága $1,8 \mu\text{m} + L/300 \mu\text{m}$. Koordináta mérőgépek közül megkülönböztetünk felépítésük szerint, portál, illetve karos felépítéssel rendelkező mérőgépeket. Előnye a nagyfokú pontosság, a mérés automatizálhatósága, melyet ellensúlyoz a berendezés magas beszerzési ára és a használatához szükséges magasfokú szaktudás szükségessége. Mérés során a munkadarabot a készülék asztalára rögzítjük, a megfelelően kiválasztott tapintókkal megértjük a munkadarab megmérni kívánt méreteit, a berendezés a méréshez szükséges korrekciókat automatikusan elvégzi a betáplált adatok alapján. Menetkontúr mérésre is alkalmas módszer.

4. Mérést befolyásoló tényezők mérőcsapos menetmérésnél Abbe hossz mérőgépen.

Abbe-elvet használó mérőberendezés használatával az elsőrendű hiba kiküszöbölhető. Abbe-elv: ha a mérendő tárgy hosszmérete folytatásaként, közös tengelyvonalban helyezkedik el, a mérce és a méret közvetlenül olvasható le.

A hiba rendszáma (nagyságrendje) mindig a (csonka) hatványsorban szereplő legkisebb kitevőjű tag kitevőjével egyenlő, függetlenül attól, hogy a hiba pontos értékéhez hány tagot veszünk figyelembe. Törekedni kell arra, hogy a mérési módszer minimum másodrendű hibával rendelkezzen.



17. ábra Bessel-féle alátámasztás [1]

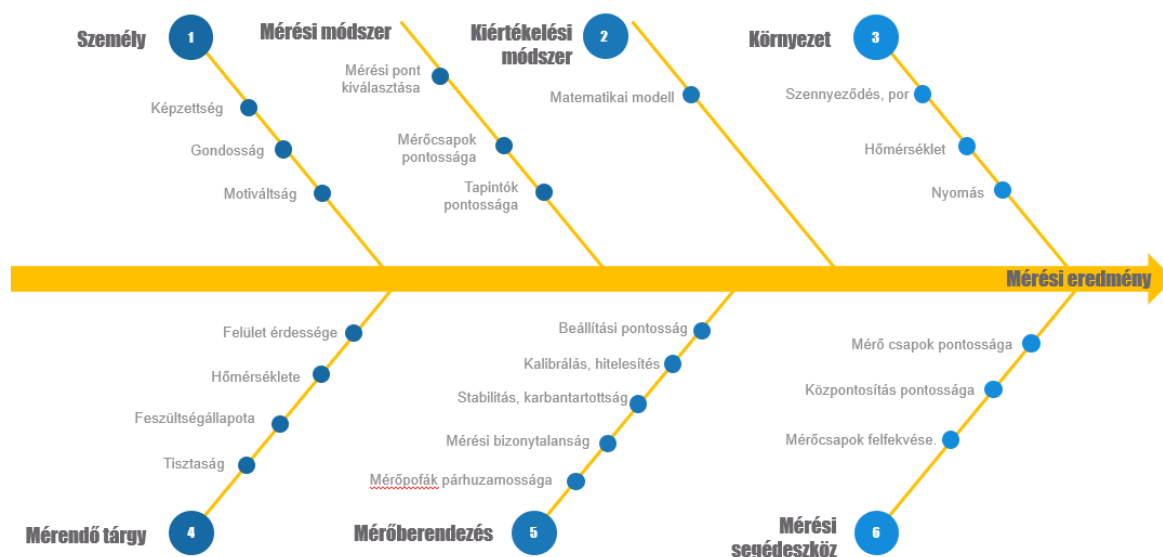
A lehajlás okozta hiba a Bessel-féle alátámasztás esetén a legkisebb.

Mérést számtalan dolog befolyásolja, ezek a hibák, pontatlanságok következnek a mérést végző személtől, mérőberendezéstől, környezettől, segédeszközöktől, kiértékelési folyamattól, ezen tényezőket szemlélteti az Isikawa diagram

4.1 Isikawa diagram

Mérést befolyásoló tényezők meghatározásához Az Isikawa-diagramot (más néven halszájkadiagram vagy másnéven az ok-okozati diagram) használható. A módszert Kaori Ishikawa (1915 –1989), alkotta meg 1968-ban.

A módszer célja, hogy rámutasson egy bizonyos eseményt kiváltó okokra.



18. ábra Isikiwa diagram [saját készítés]

A mérést befolyásolja a mérést végző személy képzettsége, munkatapasztalata, gondossága, motiváltsága, hogy a lehetőségekhez mérten a legjobb vagy a leggyorsabb eredményt kívánja elérni. Ezek a tényezők együttese határozza meg a mérést végző személy milyen minőségben képes, illetve tud méréseket végezni. A mérés technika precizitást követel meg, vannak olyan munkanapok, amikor a mérést végző személy nem alkalmas a mérés elvégzésére, ilyen esetekben javasolt a mérést átütemezni, vagy más alkalmas személlyel elvégezni.

További befolyásoló tényező a mérési módszer, hiszen a munkadarab két különböző pontján mért értékek eltérhetnek, ugyanis a munkadarab külső illetve belső méretei nem állandóak, azok valamilyen mértékben eltérnek, ezek az eltérések persze tűrések közé vannak szorítva, de ettől függetlenül a különböző pontokban mért méretek eltérnek, ennek kimutatása csak a mérés pontosságának a függvénye, ezért javasolt több mérési pontban, ismételt méréseket elvégezni, hogy statisztikai módszerek felhasználásával a mérési pontok a lehetőségekhez mérten a legjobban reprezentálják a mérendő tárgy mért értékeit. Mérést befolyásolja, a tapintónak a típusa, mely lehet érintésmentes és érintős. Az érintésmentesnek az előnye, hogy kiküszöbölhető a tapintó által okozott alakváltozás (rugalmas vagy maradó), mely a mérési eredményt befolyásolhatja, főleg puha anyagoknál.

A mérések során alkalmazott kiértékelési módszer befolyásolhatja a végső korrekciós tényezőkkel módosított mért értéket, ezért fontos, hogy a azonos kiértékelési mód szerinti méréseket hasonlítsunk össze. A környezeti hatások is befolyásolják a mérést, minden tárgynak van hőtágulási tényezője, a sztenderd méréseket 20°C fokon javasolt elvégezni, ezt írja elő az az ISO 1502 (1996), ettől el lehet térni a szabvány szerit, ha a mérőeszköz, illetve a mérendő tárgy azonos vagy nagyon hasonló anyagból készült, tipikusa ilyenek az acél mérendő tárgy acél mérőgép, ekkor korrekcióra nincs szükség. Ha az előző hasonlóság nem áll fenn, akkor a munkadarab méreteit az anyagra jellemző hőtágulási tényezővel vissza kell számolni a sztenderd 20°C-ra.

Néhány tárgy hőtágulási együtthatója:

3. táblázat Különböző anyagok hőtágulási együtthatója [20]

Anyag	Lineáris hőtágulási együttható, $10^{-6} \text{cm/cm/}^{\circ}\text{C}$
Acél (alacsony széntartalmú)	11,5
Alumínium	22,5
Cink	32,4
Grafit	3,6

Ez azt jelenti, hogy egy 1m hosszú acél munkadarab mérete 1°C emelkedésével:

$100\text{cm} \cdot \frac{10^{-6} \text{cm}}{\text{cm}} = 0,0001\text{cm} = 0,01 \text{ mm} = 1 \mu\text{m}$ azaz 1 méteres munkadarab esetén 2-3°C eltérés mikronokban mérhető eltérést okozhat.

A mérést befolyásolhatja a nyomás, a munkadarab befogása, tapintó által okozott nyomás rugalmas vagy rosszabb esetben maradó alakváltozást okozhat. A rugalmas alakváltozás összefüggése Hooke törvénye szerint $\delta = E * \varepsilon$ átrendezve: $\varepsilon = \frac{\delta}{E}$ azaz egy szilárd test rugalmas alakváltozása arányos a testre ható erővel és fordítottan arányos az anyagra jellemző rugalmassági modulussal.

ahol

$$\delta = \text{mechnakai feszültség} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$E = \text{rugalmassági modulusz} [\text{MPa}, \text{GPa}]$$

$$\varepsilon = \text{fajlagos nyúlás}$$

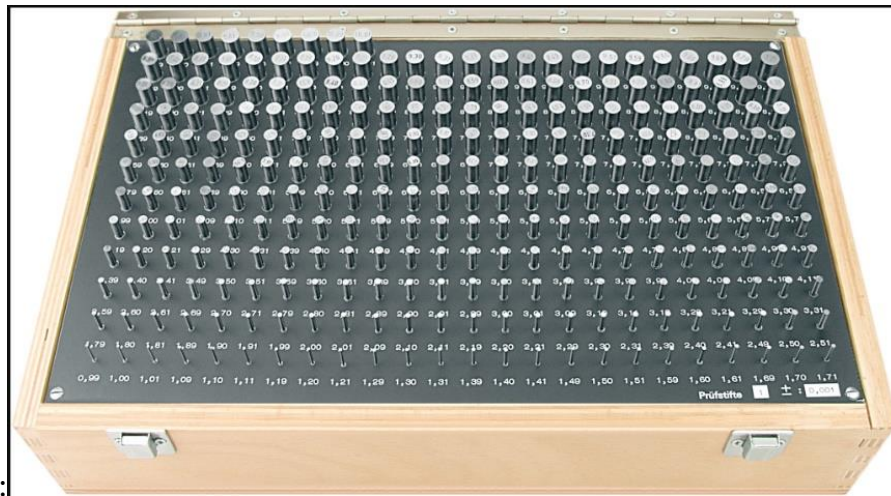
A mérést befolyásolja a mérendő tárgy feszültség állapota, ugyanis a munkadarab belső feszültség állapota befolyásolhatja egyes méreteit. Mérést befolyásolja a munkadarab felületi érdessége is. Durva felület pontos mérését a felületi érdesség nagyban befolyásolja. A mérést befolyásolja a mérőberendezés állapota, korábbi karbantartások szakszerűsége, mérőberendezés elhasználódása, pontos mérést csak jól karbantartott megfelelő állapotú mérőberendezéssel lehet végezni, ez igaz a méréshez használt segédeszközökre, mint például, mérőhasábokra, csapokra, készülékekre, ezek pontatlansága, kopottsága rontja a mérés pontosságát. Mérőcsapos menetmérsnél a méréshez használt mérőcsapok pontatlansági nagyban rontja a mérés pontosságát.

4.2 Középátmérő mérés elmélete:

Középátmérőt direktben nem tudunk mérni, csak matematikai összefüggések segítségével. A normál métermenet fontosabb jellemzői (középátmérő, menetemelkedés, szelvényyszög, külsőátmérő, magátmérő Ezek közül a legfontosabb jellemzője a középátmérő, ennek a megmérésére a legpontosabb módszer a mérőcsapos módszer, Ehhez használhatunk pl. mikrométert, hosszmérőgépet, optimétert, vagy egyéb az iparban használatos mérőeszközt.

Mérőcsapok:

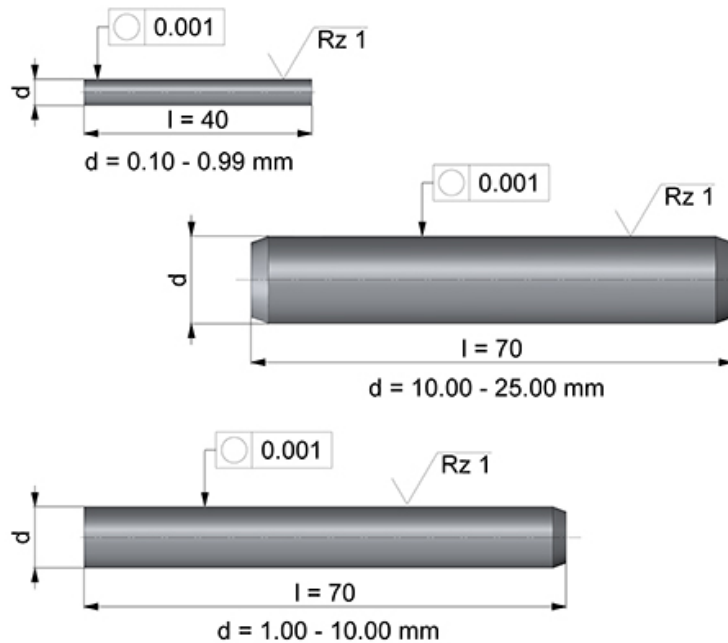
A méréshez összesen 3db mérőcsapot használunk, két oldalt (2+1), A mérőcsapok készletben beszerezhetőek, A készlet a menetemelkedéstől függően tartalmazza a mérőcsap párokat. A megfelelő méretű mérőcsapokat a menetszelvénybe helyezzük, és azokat kívülről érintjük. A mérőcsapok edzett kivitelben készülnek, keménycég HC 60-62 ezért kopásállóak és kemények.



19. ábra Mérőcsap készlet [9]

Méretpontosságukat a DIN 2269 szabványba rögzítették, főbb paraméterek:

- R_z : egyenetlenség magasság: $1\ \mu\text{m}$
- Hengeresség alaktűrése: $1\ \mu\text{m}$
- Átmérő tűrése pontossági osztálytól függően: $\pm 1\ \mu\text{m}$ vagy $2\ \mu\text{m}$
- Hossza: $\varnothing 40\text{mm}$ -ig 40mm felette $70\ \text{mm}$



20. ábra Mérőcsapok jellemző felület és alaktűrései [13]

5. Menet középátmérő mérés mérőcsapos módszerrel

5.1 Mérési kiinduló adatok

Mérés helye: Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar.
1081 Budapest, Népszínház u. 8. Méréstechnika labor.

Mérés ideje: 2022.03.19. szombat 9:00

Mért anyag jellemzője: Inside, kétoldalú dugós idomszer, 6H, M27x3 mm No 4130-27
S/N:0212210234 ISO 1502 (1996)

Mérési jegyzőkönyv:

4. táblázat: Idomszerhez mellékelt mérési jegyzőkönyv

Product name: Thread Plug Gape	Standard temperature: 20°C
Code No.: 4130-27	Based on: ISO 1502 (1996)
Size: M27x3 6H	Traceable to 10339/D-K-15015-01-02/2012-09
Serial Number: 0112210234	31-0830/DKD-K-060901/2012-09

5. táblázat Idomszerhez mellékelt mérési jegyzőkönyv

GO		Pitch Diameter	Major Diameter
	Specified	25,067±0,007	27,01±0,014
	Observed	25,072	27,021
NO GO		Pitch Diameter	Major Diameter
	Specified	25,323±0,007	25,923±0,014
	Observed	25,322	25,926

GO jelentése: Megy oldal

NO GO jelentése: Nem megy oldal

Pitch Diameter jelentése: Középátmérő [mm]

Major Diameter jelentése: Külső átmérő [mm]

Specified jelentése: Mért átmérő mérési bizonytalansággal [mm]

Observed jelentése: Mért átmérő [mm]

Mérés az ISO 1502 (1996) szabvány betartása mellett történt, azaz:

Referencia hőmérséklettől (20°C) eltérő hőmérsékleten történt a mérés, a mérőszobában 20,6°C volt a mérés idején, mivel mind a munkadarab, mind a mérőberendezés megegyező 20,6°C hőmérsékleten volt, és hasonló hőtágulási együtthatójú anyagból készültek, ezért a szabvány szerint a referencia hőmérséklettől való eltérésből adódó méretkorrekciókkal nem kell számolni ISO 1502 (1996)

Abbe hossz mérőgép típusa: Carl Zeiss JENA 2182 DDR, kalibrálási jegyzőkönyv nem áll rendelkezésre.

Mérőcsapok: Kalibrálási jegyzőkönyv nem áll rendelkezésre.

Mérőcsapok tűrései a DIN2269 szabvány szerint 2 féle pontossági osztályba sorolhatóak.

- 1. pontossági osztály: $\pm 1 \mu\text{m}$ gyártás: lepeléssel
- 2. pontossági osztály: $\pm 2 \mu\text{m}$ gyártás: köszörüléssel

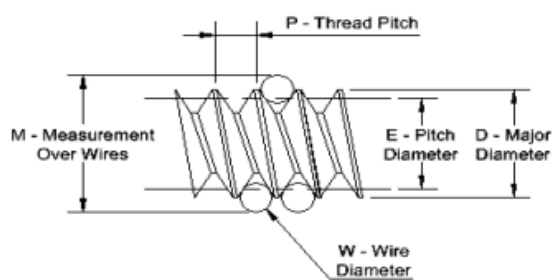
Számítás során feltételezett pontossági osztály I. azaz $\pm 1 \mu\text{m}$.

5.2 Mérés menete:

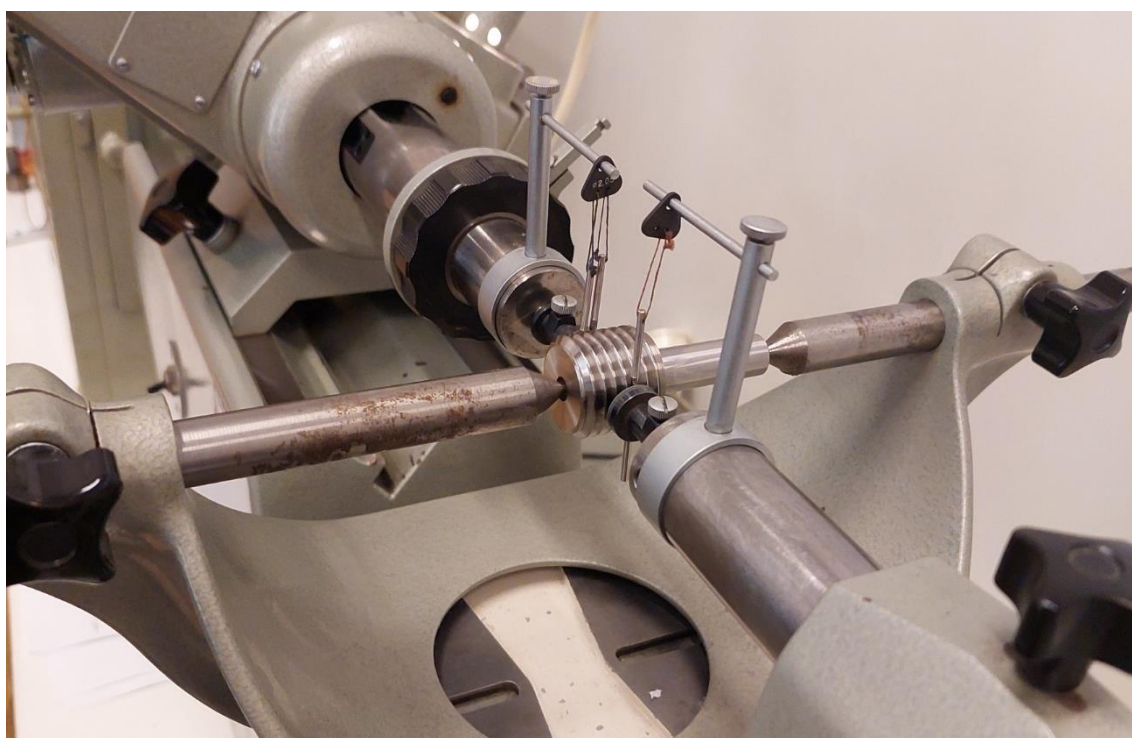
Munkadarab előkészítése: Fontos az iparban is a mérendő alkatrész tisztítása, illetve előkészítése, az általam mért munkadarab új volt, így szennyeződések nem voltak láthatóak rajta.

Mérőeszköz előkészítése: Mérés során két mérőpofát használtam, bal oldalon, ahol 2 mérőcsap került felszerelésre nagy méretű mérőpofát szereltem fel, jobb oldalra, ahova 1 mérőcsap került pedig kis méretű mérőpofát használtam. Első lépésként a két pofa párhuzamosságát állítottam be, majd a berendezés nullázása történt meg. Kiváltott etalon darab segítségével ellenőriztem a mérőeszköz pontosságát. A mikroszkóp élességét beállítottam a szememnek megfelelően.

Mérés menete: 1. lépés a mérőcsapok méretének a meghatározása. Mivel a mérőcsapok kalibrálási jegyzőkönyve nem áll rendelkezésre, ezért elsőként a mérőcsapokat mértem meg.



21. ábra Mérőcsapos felfekvése a menetközépméterre [14]



22. ábra Mérőcsapos menetmérés Abba hossz mérőgépen [saját kép]

5.3 Felhasznált katalógus adatok:

Katalógus adatok: Mérés elvégzéséhez az alábbi katalógus adatokat használtam fel:

A normál métermenetek mérőcsapméréséhez szükséges adatok névleges (kereskedelmi) mérőcsapok esetén:

6. táblázat M27 menet névleges értékei [1]

Névleges menet átmérő	Névleges mérőcsap átmérő	Menet emelkedés	Orsómenet-középátmérő	Mérőméret nulla mérőnyomás esetén, névleges mérőcsappal	1 N mérőnyomás által okozott eltérés	A szelvény-szög eltérése által okozott 1 ívpercre eső hibatényező
d, [mm]	d _D , [mm]	d _D , [mm]	d ₂ , [mm]	L, [mm]	k ₂ , [μm]	k ₅
...	...	...	...	...	...	...
24	2,05	3	22,003	25,606	0,215	0,160
27	2,05	3	25,003	28,605	0,215	0,160
30	2,05	3,5	27,674	30,848	0,215	0,015

mérőnyomásból eredő hiba: jele $k_2 = 0,215 \mu\text{m}$

menetemelkedésből adódó hiba: jele $k_3 = 0,866$

mérőcsapokból származó hiba: $k_4 = -3$

Kiindulási adatok M27x3 normál menetemelkedésű csapos idomszer esetén:

Tényleges szelvény-szög

$P_{\text{elméleti}} = 3 \text{ mm}$ (katalógus adat)

$P_{\text{elméleti}}$: Névleges menetemelkedés

$d_2_{\text{elméleti}} = 25,003 \text{ mm}$ (katalógus adat)

$d_2_{\text{elméleti}}$: Névleges középátmérő

$L_{\text{mérőméret}} = 28,605 \text{ mm}$ (katalógus adat)

$L_{\text{mérőméret}}$: Mérőméret nulla mérőnyomás esetén, névleges mérőcsappal

$F_{\text{mérőnyomás}} = 10 \text{ N}$ (katalógus adat)

Mérések:

Elsőként a használni kívánt 3db mérőcsapot mértem meg:

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D1}

d_{D1} : 3 mérőcsapból az egyedül álló mérőcsap

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	2	értékelhető adat
2,050	2	értékelhető adat
2,051	6	értékelhető adat

Mértani közép:

$$\overline{X_G} = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * ... * a_n}$$

$$\overline{X_G} = \sqrt[10]{2,049^2 * 2,050^2 * 2,051^6} = 2,05031 \text{ mm}$$

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D2}

d_{D2} : 3 mérőcsapból a baloldali

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	2	értékelhető adat
2,050	7	értékelhető adat
2,051	1	értékelhető adat

Mértani közép:

$$\overline{X_G} = \sqrt[10]{2,049^2 * 2,050^7 * 2,051^1} = 2,04986 \text{ mm}$$

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D3}

d_{D3} : 3 mérőcsapból a jobboldali

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	3	értékelhető adat
2,050	5	értékelhető adat
2,051	1	értékelhető adat
2,013	1	durva hiba – nem vetem figyelembe

$$\overline{X_G} = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * ... * a_n}$$

$$\overline{X_G} = \sqrt[9]{2,049^3 * 2,050^5 * 2,051^1} = 2,04983 \text{ mm}$$

Mérőcsapok mérete:

$$d_{D1} = 2,05031 \text{ mm}$$

$$d_{D2} = 2,04986 \text{ mm}$$

$$d_{D3} = 2,04983 \text{ mm}$$

$$d_D = \frac{d_{D1}}{2} + \frac{d_{D2} + d_{D3}}{4}$$

$$d_D = \frac{2,05031}{2} + \frac{2,04986 + 2,04983}{4} = 2,050078 \text{ mm}$$

$$d_D = 2,05 \text{ mm}$$

d_D : mérőcsapok átlagos mérete

L méret mért értékek

L : mérőpofák közti távolság

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
28,620	9	értékelhető adat
28,621	12	értékelhető adat
28,622	4	értékelhető adat
28,634	1	durva hiba – nem vetem figyelembe

Számtani középérték:

$$\overline{X_A} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

$$\overline{X_A} = \frac{28,620 * 9 + 28,621 * 12 + 28,622 * 4}{25} = 28,6208 \text{ mm}$$

$\overline{X_A}$ = Számtani középérték

a = mért érték, index pedig a mért érték sorszáma

n = mért értékek darabszáma

Harmonikus közép:

$$\overline{X_H} = \frac{n}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \dots \frac{1}{a_n}}$$

$$\overline{X}_H = \frac{25}{\frac{1}{28,62} * 9 + \frac{1}{28,621} * 12 + \frac{1}{28,622} * 4} = 28,6208 \text{ mm}$$

Mértani közép:

$$\overline{X}_G = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * \dots * a_n}$$

$$\overline{X}_G = \sqrt[25]{28,62^9 * 28,621^{12} * 28,622^4} = 28,6208 \text{ mm}$$

A középértékek között fennáll az a matematikai törvény mely szerint:

$$h \leq m \leq s \leq n$$

ahol:

h = harmonikus közép

m = mértani közép

s = számtani közép

n = négyzetes közép

Csupán az eltérések tizedes értékei 10^{-4} értéknél kisebbek.

Mikrométerrel az L méretet tudjuk mérni, mi azonban a d_2 középátmérőt keressük

$$d_2 = L - d_D * \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) + \frac{P}{2} * \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

d_2 : idomszer középátmérő [mm]

d_D : Elméleti mérőcsap átmérő [mm]

α : Elméleti szelvényyszög [°]

Metrikus menet esetén a képlet egyszerűsíthető:

$$d_2 = L - 3d_D + 0,86603P$$

$$d_2 = 28,6208 - 3 * 2,05 + 0,86603 * 3$$

$$d_2 = 25,0689 \text{ mm}$$

Középátmérő mérés során az alábbi korrekciós számítások szükségesek, mivel nem a csapok mért értéke tér el az elméletitől, a csapok a menetemelkedés miatt, nem derékszögben, hanem attól eltérő szögben állnak. Mérés során valamely erővel nyomjuk az idomszert, ami rugalmas alakváltozást szenved.

A csapok ferdeségéből keletkező hiba nagysága:

$$K_1 = \frac{P^3 * \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{4\pi^2 * d_2 * (d_2 + \frac{P}{2} * \tan \frac{\alpha}{2})}$$

$$K_1 = \frac{2,5^3 * \operatorname{ctg} \frac{60}{2}}{4\pi^2 * d_2 * (d_2 + \frac{2,5}{2} * \tan \frac{60}{2})}$$

$$K_1 = \frac{2,5^3 * \operatorname{ctg} \frac{60}{2}}{4\pi^2 * 25,003 * (25,003 + \frac{2,5}{2} * \tan \frac{60}{2})}$$

$$K_1 = 1,8314 \mu m$$

ahol:

K_1 : csapok ferdeségéből keletkező hiba [mm]

d_2 : idomszer középátmérő [mm]

α : elméleti szelvényyszög [rad]

P : elméleti menetemelkedés [mm]

d_2 : elméleti orsóméret középátmérő [mm]

α : elméleti profilszög [rad]

A mérőnyomásból eredő hiba:

$$K_2 = k_2 * C = k_2 * \sqrt[3]{N^2}$$

Mérőnyomás 1 N esetén:

$$K_{2(1N)} = 0,215 * \sqrt[3]{1^2}$$

$$K_{2(1N)} = 0,215 \mu m$$

Mérőnyomás 10 N esetén:

$$K_{2(10N)} = 0,215 * \sqrt[3]{10^2}$$

$$K_{2(10N)} = 0,998 \mu m$$

ahol:

K_2 mérőnyomásból eredő hiba [μm]

k_2 : 1 N mérőerő által okozott eltérés [μm] – katalógus adat

N: Mérőnyomás [N]

A menetemelkedésből adódó hiba

$$\Delta P = P_{elm} - P_{mért}$$

Menetemelkedésnél az elmélet értékkel számoltam. Saccolás, tapasztalati adatok
Ezzel

$$K_3 = \Delta P_{k_3}$$

$$K_3 = 0 \mu m$$

Metrikus menet esetén $k_3=0,866$

A mérőcsapok átmérői okozta eltérés

$$d_D = \frac{d_{D1}}{2} + \frac{d_{D2} + d_{D3}}{4}$$

d_D : mérőcsap átmérő [mm]

d_{D1} : egydülálló mérőcsapátmérő [mm]

d_{D2} : 3 mérőcsapból a baloldali

d_{D3} : 3 mérőcsapból a jobboldali

$$d_D = \frac{2,05031}{2} + \frac{2,04986 + 2,40983}{4}$$

$$d_D = 2,049965 \text{ mm}$$

Δd_D : Elméleti mérőcsap átmérő és amért mérőcsp átmérőkülönbsége

$$\Delta d_D = 2,05 - 2,049965 = -0,035 \mu m$$

Metrikus menet esetén $k_4=-3$ (katalógus adat)

$$K_4 = \Delta d_D * k_4$$

$$K_4 = -0,035 \mu m * -3$$

$$K_4 = 0,105 \mu m$$

A szelvényzőg eltéréséből adódó hiba

$$K_5 = \Delta\alpha_D * k_5$$

$$K_5 = 0 \mu m$$

Szelvényyszögnél az elmélet értékkel számoltam

Hibák összege:

csapok ferdeségéből keletkező hiba nagysága:

$$K_1 = 1,8314 \mu m$$

mérőnyomásból eredő hiba:

$$K_2 (10N) = 0,998 \mu m$$

menetemelkedésből adódó hiba

$$K_3 = 0 \mu m \text{ (nem mért)} + 0,866 \mu m$$

A mérőcsapok átmérői okozta eltérés

$$K_4 = 0,105 \mu m$$

A szelvényyszög eltéréséből adódó hiba

$$K_5 = 0 \mu m$$

A hibák összesége:

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5$$

$$\Sigma K = 1,8314 \mu m + 0,998 \mu m + 0 \mu m + 0,105 \mu m + 0 \mu m$$

$$\Sigma K = 2,93 \mu m$$

Tényleges középátmérő

$$d_2 = L - 3d_D + 0,86603P + \Sigma K$$

$$d_2 = 28,6208 \text{ mm} - 3 * 2,049965 \text{ mm} + 0,86603 * 3 + 2,93 \mu m$$

$$d_2 = 25,068995 \text{ mm} + 2,93 \mu m$$

$$d_2 = 25,071929 \text{ mm} \sim 25,072 \text{ mm}$$

5.4 Mérési bizonytalanság számítás:

Mivel nem állt kalibrálási bizonyítvány a mérőberendezésre vonatkozóan, ezért az alábbi publikációban szereplő értékekkel számoltam:

Mérési bizonytalanság:[12]

$$u^2(d_2) = u^2 * (\Delta L) + C_{dD}^2 * u^2 * (d_D) + C_p^2 U^2(P) + C_{\frac{\alpha}{2}}^2 u^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right) + u^2(A_1) + u^2(A_2) + U^2(\delta B)$$

Ahol:

$u(\Delta L)$ a mért ΔL mérőhosszhoz kapcsolódó standard bizonytalanság.

$u(dD)$ a mérőcsap átmérőjének kalibrált értékének standard bizonytalansága. Feltételezzük, hogy ez a bizonytalanság teljesen megegyezik a három vezeték esetében, így az érzékenységi együttható $C_{dD} = 1/\sin(\alpha/2) + 1$. (Megjegyzés: Ez az érzékenységi együttható, amely eltér a gyűrűs mérce kalibrálásához számított érzékenységi együtthatótól, nyilvánvalóan függ a mérési módszertől, különösen hogyan nullázták le a hossz mérőt).

$u(P)$ a menetemelkedés méréshez kapcsolódó standard bizonytalanság, a kapcsolódó érzékenységi együttható $C_p = \cot(\alpha/2)/2$;

$u(\alpha/2)$ az $\alpha/2$ menetemelkedésszög mérési bizonytalansága. Ez sok esetben – különösen az optikai mérési módszerek esetében – fordítottan arányos lehet a középátmérővel. Az érzékenységi tényező a mérőelem tényleges átmérőjének dD különbségétől függ a legjobb d_0 átmérőtől, az α mértékegységére: $[\alpha] = \text{rad}$.

$u(A1)$ a hibához kapcsolódó standard bizonytalanság, amely egy közelítő egyenlet használatából ered a dőlés korrekcióhoz;

$u(A2)$ a mérési erő miatti korrekciókhoz kapcsolódó standard bizonytalanság és a mérőelemek rugalmas összenyomódásának korrekciójára használt kísérleti egyenletben lévő közelítések.

Az $u(\delta B)$ figyelembe veszi a kalibrált menetmérő tökéletlenségeit, mint például az alakeltéréseket, és a további, műszer- vagy eljárásfüggő hozzájárulásokat, amelyeket eddig nem vettek figyelembe.

Számítás:

$u(L)$: a hosszmérőgépnek nincs kalibrálási bizonyítványa, ezért feltételezem, hogy $U=0,8$ mikrométer, vagyis $U(L)=0,4$ mikrométer.

$u(d_D)$: csapok átmérőjének a standard bizonytalansága. Mivel nem állt rendelkezésemre kalibrálási bizonyítvány, ezért feltételezem, hogy $U=0,2$ mikron. c_p : parciális derivált, érzékenységi együttható. $0,866666u(P)$: menetemelkedéssel kapcsolatos standard bizonytalanság értéke, amely 1 mikrométer. δB : ezen tagok bizonytalansági értékei nullának tekinthetők, mert elhanyagolhatóak a többi taghoz képest.

Jelölés	Becsült érték	Standard bizonytalanság	Valószínűségi eloszlás	Érzékenységi együttható	hozzájárulás az eredő mérési bizonytalansághoz
X_i	x_i	$u(x_i)$		C_i	$u(y)$
ΔL	28,6208 mm	0,4 μm	normál	1	0,4 μm
d_D	2,05008 mm	0,2 μm	normál	3	0,6 μm
P	3 mm	1 μm	normál	0,866	0,87 μm
α	60 °	0	normál	0	0 μm
A_2	0	0,1 μm	egyenletes	1	0,1 μm
δB	0	0,2 μm	egyenletes	1	0,2 μm
d_2	25,07193 mm				1,15 μm

$$u(d_2) = 1,15 \mu m$$

$$\text{Kiterjesztett bizonytalanság: } U(d_2) = u(d_2) * 2 = 2,3 \mu m$$

Mérési eredmény:

$$\mathbf{25,0719 \text{ mm} \pm 2,3 \mu m}$$

5.5 Nem megy oldal mérése

Mérések:

Elsőként a használni kívánt 3db mérőcsapot mértem meg:

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D1}

d_{D1} : 3 mérőcsapból az egyedül álló mérőcsap

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	2	értékelhető adat
2,050	2	értékelhető adat
2,051	6	értékelhető adat

Mértani közép:

$$\overline{X}_G = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * ... * a_n}$$

$$\overline{X}_G = \sqrt[10]{2,049^2 * 2,050^2 * 2,051^6} = 2,05031 \text{ mm}$$

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D2}

d_{D2} : 3 mérőcsapból a baloldali

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	2	értékelhető adat
2,050	7	értékelhető adat
2,051	1	értékelhető adat

Mértani közép:

$$\overline{X}_G = \sqrt[10]{2,049^2 * 2,050^7 * 2,051^1} = 2,04986 \text{ mm}$$

Mérőcsapok valódi mérete: d_{D3}

d_{D3} : 3 mérőcsapból a jobboldali

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
2,049	3	
2,050	5	
2,051	1	
2,013	1	durva hiba – nem vetem figyelembe

$$\overline{X}_G = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * ... * a_n}$$

$$\overline{X_G} = \sqrt[9]{2,049^3 * 2,050^5 * 2,051^1} = 2,04983 \text{ mm}$$

Mérőcsapok mérete:

$$d_{D1} = 2,05031 \text{ mm}$$

$$d_{D2} = 2,04986 \text{ mm}$$

$$d_{D3} = 2,04983 \text{ mm}$$

$$d_D = \frac{d_{D1}}{2} + \frac{d_{D2} + d_{D3}}{4}$$

$$d_D = \frac{2,05031}{2} + \frac{2,04986 + 2,04983}{4} = 2,050078 \text{ mm}$$

$$d_D = 2,05 \text{ mm}$$

d_D : mérőcsapok átlagos mérete

L méret mért értékek

L : mérőpofák közti távolság

Mért érték [mm]	gyakorisága [db]	Megjegyzés
28,870	5	értékelhető adat
28,871	12	értékelhető adat
28,872	3	értékelhető adat
28,873	1	értékelhető adat

Számtani középérték:

$$\overline{X_A} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

$$\overline{X_A} = \frac{28,870 * 5 + 28,871 * 12 + 28,872 * 3 + 28,863}{21} = 28,871 \text{ mm}$$

$\overline{X_A}$ = Számtani középérték

a = mért érték, index pedig a mért érték sorszáma

n = mért értékek darabszáma

Harmonikus közép:

$$\overline{X_H} = \frac{n}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \dots \frac{1}{a_n}}$$

$$\overline{X}_H = \frac{21}{\frac{1}{28,87} * 5 + \frac{1}{28,871} * 12 + \frac{1}{28,872} * 3 + \frac{1}{28,873}} = 28,871 \text{ mm}$$

Mértani közép:

$$\overline{X}_G = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * \dots * a_n}$$

$$\overline{X}_G = \sqrt[21]{28,87^5 * 28,871^{12} * 28,872^3 * 28,873} = 28,871 \text{ mm}$$

Mikrométerrel az L méretet tudjuk mérni, mi azonban a d_2 középátmérőt keressük

$$d_2 = L - d_D * \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) + \frac{P}{2} * \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

d_2 : idomszer középátmérő [mm]

d_D : Elméleti mérőcsap átmérő [mm]

α : Elméleti szelvényyszög [°]

Metrikus menet esetén a képlet egyszerűsíthető:

$$d_2 = L - 3d_D + 0,86603P$$

$$d_2 = 28,871 - 3 * 2,05 + 0,86603 * 3$$

$$d_2 = 25,3192 \text{ mm}$$

A csapok ferdeségéből keletkező hiba nagysága:

$$K_1 = \frac{P^3 * \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{4\pi^2 * d_2 * (d_2 + \frac{P}{2} * \tan \frac{\alpha}{2})}$$

$$K_1 = \frac{2,5^3 * \operatorname{ctg} \frac{60}{2}}{4\pi^2 * d_2 * (d_2 + \frac{2,5}{2} * \tan \frac{60}{2})}$$

$$K_1 = \frac{2,5^3 * \operatorname{ctg} \frac{60}{2}}{4\pi^2 * 25,3192 * (25,3192 + \frac{2,5}{2} * \tan \frac{60}{2})}$$

$$K_1 = 1,7865 \text{ } \mu\text{m}$$

ahol:

K_1 : csapok ferdeségéből keletkező hiba [mm]

d_2 : idomszer középátmérő [mm]

α : elméleti szelvényyszög [rad]

P : elméleti menetemelkedés [mm]

d_2 : elméleti orsóméret középátmérő [mm]

α : elméleti profilszög [rad]

A mérőnyomásból eredő hiba:

$$K_2 = k_2 * C = k_2 * \sqrt[3]{N^2}$$

ahol:

K_2 mérőnyomásból eredő hiba [μm]

k_2 : 1 N mérőerő által okozott eltérés [μm] – katalógus adat

N : Mérőnyomás [N]

Mérőnyomás 1 N esetén:

$$K_{2(1N)} = 0,215 * \sqrt[3]{1^2}$$

$$K_{2(1N)} = 0,215 \mu\text{m}$$

Mérőnyomás 10 N esetén:

$$K_{2(10N)} = 0,215 * \sqrt[3]{10^2}$$

$$K_{2(10N)} = 0,998 \mu\text{m}$$

A menetemelkedésből adódó hiba

$$\Delta P = P_{elm} - P_{mért}$$

Menetemelkedésnél az elmélet értékkel számoltam.

Ezzel

$$K_3 = \Delta P_{k_3}$$

$$K_3 = 0 \mu\text{m}$$

Metrikus menet esetén $k_3=0,866$

A mérőcsapok átmérői okozta eltérés

$$d_D = \frac{d_{D1}}{2} + \frac{d_{D2} + d_{D3}}{4}$$

d_D : mérőcsap átmérő [mm]

d_{D1} : egydülálló mérőcsapátmérő [mm]

d_{D2} : 3 mérőcsapból a baloldali

d_{D3} : 3 mérőcsapból a jobboldali

$$d_D = \frac{2,05031}{2} + \frac{2,04986 + 2,40983}{4}$$

$$d_D = 2,049965 \text{ mm}$$

Δd_D : Elméleti mérőcsap átmérő és amért mérőcsp átmérőkülönbsége

$$\Delta d_D = 2,05 - 2,049965 = -0,035 \mu\text{m}$$

Metrikus menet esetén $k_4=3$ (katalógus adat)

$$K_4 = \Delta d_D * k_4$$

$$K_4 = -0,035 \mu\text{m} * 3$$

$$K_4 = -0,105 \mu\text{m}$$

A szelvényyszög eltéréséből adódó hiba

$$K_5 = \Delta \alpha_D * k_5$$

$$K_5 = 0 \mu\text{m}$$

Szelvényyszögnél az elmélet értékkel számoltam

Hibák összege:

csapok ferdeségéből keletkező hiba nagysága:

$$K_1 = 1,8314 \mu m$$

mérőnyomásból eredő hiba:

$$K_2 (10N) = 0,998 \mu m$$

menetemelkedésből adódó hiba

$$K_3 = 0 \mu m \text{ (nem mért)}$$

A mérőcsapok átmérője okozta eltérés

$$K_4 = -0,105 \mu m$$

A szelvényyszög eltéréséből adódó hiba

$$K_5 = 0 \mu m$$

A hibák összesége:

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5$$

$$\Sigma K = 1,7865 \mu m + 0,215 \mu m + 0 \mu m - 0,105 \mu m + 0 \mu m$$

$$\Sigma K = 2,889 \mu m$$

Tényleges középátmérő

$$d_2 = L - 3d_D + 0,86603P + \Sigma K$$

$$d_2 = 28,871 \text{ mm} - 3 * 2,049965 \text{ mm} + 0,86603 * 3 + 2,889 \mu m$$

$$d_2 = 25,3192 \text{ mm} + 2,889 \mu m$$

$$d_2 = 25,32208 \text{ mm}$$

Mérési bizonytalanság számítás megegyezik a MEGY oldal esetén számítottal, azaz:

$$\text{Kiterjesztett bizonytalanság: } U(d_2) = u(d_2) * 2 = 2,3 \mu m$$

Mérési eredmény:

$$25,3221 \text{ mm} \pm 2,3 \mu m$$

5.6 Mért értékek kiértékelése

Mért értékeket összefoglaló táblázat:

Megy oldal		Középátmérő (Inside)	Középátmérő (Saját)
	Specified	25,067 mm $\pm$ 0,007	25,0719mm $\pm$ 0,0023
	Observed	25,072 mm	25,0719 mm
Nem megy oldal		Középátmérő (Inside)	Középátmérő (Saját)
	Specified	25,323 mm $\pm$ 0,007	25,3221 mm $\pm$ 0,0023
	Observed	25,322 mm	25,3221 mm

Az általam mért eredmények és a megvásárolt dugós idomszerhez társított mérési jegyzőkönyvben szereplő értékek nagyfokú hasonlóságot mutatnak. Megfigyelhető, hogy a dugós idomszerhez társított mérési jegyzőkönyvben a mérési bizonytalanság értéke jóval meghaladja az általam számított mérési bizonytalanságot. Ennek több oka lehet, véleményem szerint, hogy az idomszer gyártója nem precíziós méréssel végezte a mérést, hanem menetmérő mikrométerrel, ez okozhatja a mérési bizonytalanság mértékében az eltérést.

Mind a megy, mind a nem megy oldal középátmérőre vonatkozó mérési eredmények megfelelőnek tekinthetők, azok megegyeznek.

6. Összefoglalás

Szakdolgozatomban összegzem a menetek típusait, felhasználási módjait, bemutatom a menetközépátmérő mérés lehetséges módjait, idomszeretek típusait, alkalmazási területeit, illetve a gyártási pontosságukat. Összegzem a mérést befolyásoló tényezőket (Isikawa) Szakdolgozat készítés közben mérési gyakorlatot szereztem a menetek középátmérő mérésében, Abbe hosszmérőgépen. Célom volt, hogy az Egyetem által biztosított mérőeszközök és mérési segédeszközök használatával pontos ellenőrző méréseket tudjak végezni az általam beszerzett Inside márkájú, kétoldalú dugós idomszer, 6H, M27x3-hez. Szakdolgozatom során többféle irodalmat és szabványt dolgoztam fel, annak érdekében, hogy az általam végzett mérés összehasonlítható legyen az Inside cég által végzett korábbi méréshez. Méréseim kiértékelése után, a kapott adatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az Inside által a dugós idomszerhez mellékelte mérési jegyzőkönyv középátmérőre vonatkozó mért értékei helytállóak, az általam végzett mérések kiértékelte adatai megegyeznek vele. Ugyan a mérési bizonytalanságban eltéré tapasztalható, de ennek egyik lehetséges oka, hogy a gyártó által végzett mérés nem precíziós mérés vagy a mérési bizonytalanság számításnál más módszerrel számoltak, mint én a szakdolgozatomban. Mérést nehezítette, hogy több berendezés kalibrációs jegyzőkönyve nem állt rendelkezésre.

7. Summary

In my thesis, I summarize the types of threads and their uses, I present the possible ways of measuring the thread center diameter, the types of threads, their areas of application, and their production accuracy. I summarize the factors influencing the measurement (Isikawa] During the preparation of my thesis, I gained practice in measuring the diameter of threads, using an Abbe length measuring machine. My goal was to be able to perform accurate measurements of the measuring devices and measuring aids provided by the University with the Inside brand, double-sided plug gauge, 6H, that I purchased. For M27x3, my Thesis includes several literatures and standards, so that the measurement I made can be compared to the previous measurement made by the company Inside. The measured values for the center diameter in the measurement report attached to the plug adapter are correct, and the evaluated data of the measurements I made are the same. in the calculation, they used a different method than I did in my thesis.Measurement was made difficult by the fact that the calibration protocol of several devices was not available..

Irodalomjegyzék

Szakirodalom:

- [1] Dr. Szilágyi László: Gépipari hosszmerések. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1982. p. 188-219
- [2] Házkötő István: Műszaki 2D-s ábrázolás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnök kar, Műegyetemi kiadó p. 36-44 és 88-89
- [3] Szedő Sándor: Magyar szabványügyi hivatal Szabványgyűjtemények 19. kötet: Gépipari Kötőelemek 6. bővített és átdolgozott kiadás I. kötet. Szabványkiadó Budapest, 1974
- [4] Magyar szabványügyi hivatal Kötőelemek és tartozékai negyedik bővített és átdolgozott kiadás. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó Budapest, 1963
- [5] Csillag Tibor: Mérés, Illesztés, Idomszerek Az ipari szakközépiskolások számára 2. kiadás. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1967
- [6] Galla Jánosné, Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar AGI Gépgyártástechnológiai Szakcsoport Hosszméréstechnikai és Minőségügyi Labor, Gyakorlati útmutató és segédlet Méréstechnika I. (FSz. I.) tárgyhoz, Budapest, 2008
- [7]http://metrikontcsavar.hu/php/upload/12188030242351/csavarok_mechanikai_es_fizikai_tulajdonsagai.pdf Csavarok mechanikai és fizikai tulajdonsága ISO 898 1. rész szerint
- [8]<http://www.sze.hu/~szalai/szabvanyok/Menetek.pdf>
- [9] <https://shop.haberkorn.hu/szerszamok-gepek/meroeszkoezoek/merohasabok-szoegmerok-sablonok-idomszerek/merocsapok>
- [10] <https://www.hsb-shop.de/standards/din-and-standard-parts/test-pins/325/din-2269>
- [11] https://perfor.hu/erdesség_67
- [12] https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-10_v_2.1_Determination_of_Pitch_Diameter.pdf
- [13] <https://www.muszeroldal.hu/assistance/anyagokhotecnikaijellemzoi.html>
- [14] <https://littlemachineshop.com/images/gallery/instructions/ThreeWireMethod.pdf>
- [15] https://www.researchgate.net/figure/Thread-ring-gauge-pitch-diameter-measurement-by-CMM_fig6_335980545

- [16] <https://willrich.com/product/brown-sharpe-electronic-thread-micrometer/>
- [17] <https://www.marposs.com/eng/application/go-nogo-gauges>
- [18] <https://www.cnc.hu/2015/01/a-golyosorsos-hajtasrendszerek-attekintese-i>
- [19] [hart_preiskatalog18laser_BuegelmessGewinde katalógus](#)
- [20] <https://www.muszeroldal.hu/assistance/anyagokhotecnikaijellemzoi.html>