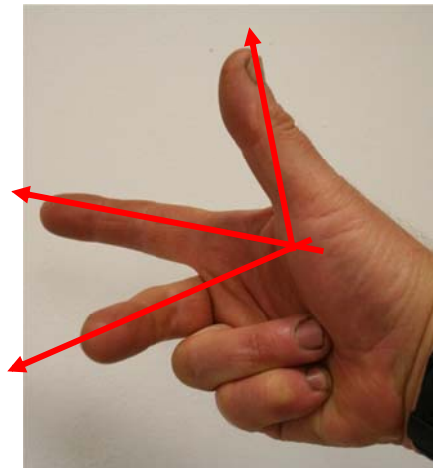


9. Koordinátamérés

Ha tolómérővel megmérjük egy csap átmérőjét, akkor 1 koordináta szerinti mérést végzünk, ez az egy koordináta két pontnak egy egyenes mentén a távolsága. Síkban egy pont helyzetét két koordinátája határozza meg. A koordináta mérés technika az 1950-es években a mérőmikroszkópok és mérőprojektorok alkalmazásával kezdett kifejlődni, ami pontok két koordinátájának optikai meghatározásán alapult. Térben egy pontot 3 koordinátája határozza meg. Az egyik koordinátarendszer-típus a térbeli derékszögű, amit három egymásra merőleges irány határoz meg. A 3 irány ú.n. jobbsodrású rendszerben (jobb kéz hüvelykujja mutat az x, mutatóujja az y és középső ujjja a z tengely irányába) helyezkedik el és egy pont 3 koordinátája az origótól a pontnak a három tengely irányában a vetületének a távolsága.

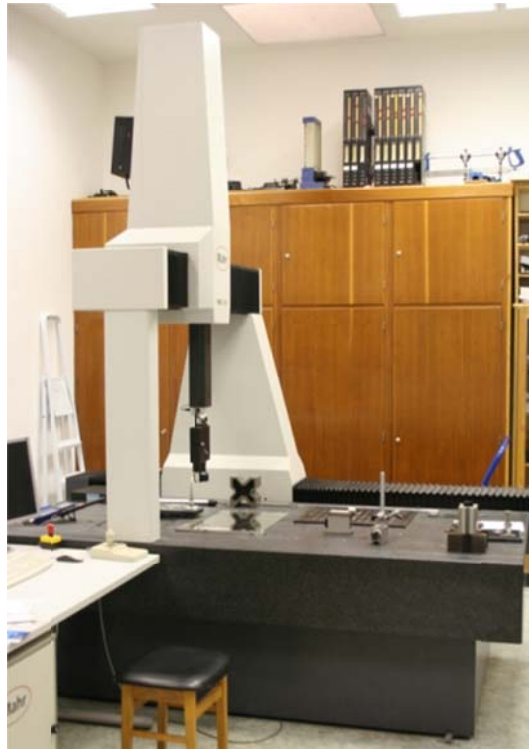


9.1 ábra: A jobbsodrású koordinátarendszer koordinátatengelyei

A legtöbb koordináta mérőgép ilyen koordinátarendszert használ (pl. 9.2 ábra). Egy másik koordinátarendszer a hengerkoordinátarendszer, ami egy síkbeli polárkoordináta rendszerből (forgásponttól a sugárirányú távolság és egy bázisirányhoz képesti szöghelyzet) és egy függőleges tengelyből áll. Hengerkoordinátarendszereket használnak a forgástestek vizsgálatára kifejlesztett ú.n. köralakvizsgáló berendezések. Az egyszerűbb köralakvizsgáló berendezéseknél (10.1 ábra) a munkadarab a tárgyasztallal együtt forog és a tapintó érzékelő áll. Ilyen köralakvizsgáló berendezéssel lehet vezérműtengelyek szinte összes működéssel kapcsolatos geometriai tulajdonságát mérni:

- sugárirányban: csapágyak és büttyök mérete, alakja, helyzete (egytengelyűség),
- homlokirányban: felületek síklapúsága, elhelyezkedése és helyzete (forgástengelyre merőlegesség).

A bonyolultabb köralakvizsgáló berendezéseknél az érzékelő is forgatható. Ilyen köralakvizsgáló berendezéssel lehet többhengeres motor hengerfuratainak köralakúságát és párhuzamosságát és távolságát, vagy forgattyústengelyek főcsapjainak és hajtókarcsapjainak alakját, párhuzamosságát, távolságát és szöghelyzetét mérni.

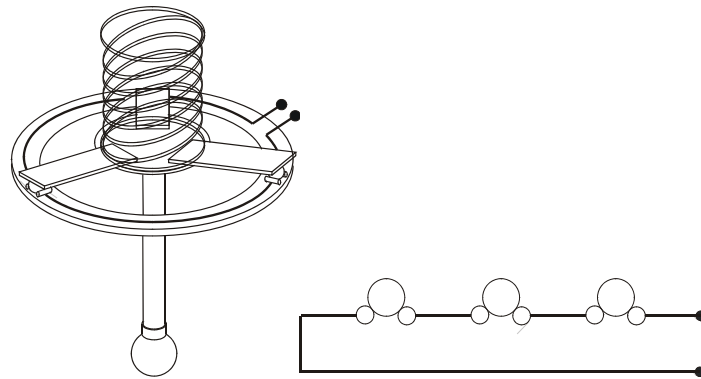


9.2 ábra: MAHR PMC800 koordináta mérőgép

A koordináta mérőgépek kis bizonytalanságú elmozdulást biztosító vezetékekből állnak, amelyek egyenes vagy forgó mozgást tesznek lehetővé. Az egyszerűbb vezetékek síkló, vagy gördülő, az igényesebbek légcsapágyazottak. A légcsapágyazás előnyei a kis ellenállás és hézag, kopás- és rezgésmentesség, hátránya, hogy nagyobb ráfordítást igényel mind a megvalósítása, mind az üzemeltetése, mint a síkló, vagy gördülőcsapágyazásé. A vezetékekhez kapcsolódnak az egyes koordináták mércéi (hossz-, vagy szögmércék), amelyek a koordinátaértékek meghatározására/leolvasására szolgálnak, valamint kell érzékelő, amivel ki tudjuk választani a munkadarab mérendő pontját. Az érzékelő lehet tapintó (mechanikus érzékelés), vagy optikai (kamera vagy lézer). A 9.2 ábra egy olyan koordináta mérőgépet mutat, aminek 3 egyenes vezetéke van (xyz, ezek hosszai 500/800/1500 mm), a nevében a P (Portal) a kialakítására utal és 3-féle érzékelésű (tapintós, kamerás és lézeres).

Felület mechanikus tapintása

Tapintásos mérésnél az érzékelő egy bizonyos átmérőjű/sugarú gömb. Ez a tapintógömb lehet 1-2...4 mm átmérőjű, vagy 2...5 μm lekerekítési sugarú, mind a két esetben az érintkezést pontszerűnek feltételezzük. A kis gömbben végződő tapintókra azért van szükség, hogy ki tudjuk mérni a kis felületi egyenetlenségeket. A nagy átmérőjű tapintókra azért van szükség, mert ha oldalról tapintunk, akkor a tapintó szárának kisebb átmérőjűnek kell lennie, mint a tapintógömbnek, viszont a tapintó szilárdságához egy minimális szárkeresztmetszetre szükség van, tehát hosszú tapintónak vastagabb szárra van szüksége és nagyobb átmérőjű gömbben kell végződnie.

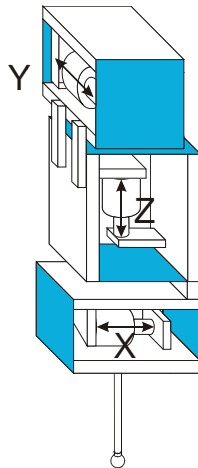


9.3 ábra: Kapcsoló rendszerű tapintós érzékelő, a pozicionálás golyókkal és csapokkal és a villamos bekötés [H.J. Neumann: Koordinatenmeßtechnik, Technologie und Anwendung, Verlag Moderne Industrie, landsberg/Lech 1992]

A tapintós érzékelésnél a legbonyolultabb annak a megvalósítása, hogy be lehessen azonosítani a tapintónak az érintési pontját. Az egyszerűbb kialakítású kapcsoló rendszerű érzékelő a tapintógömbre ható erőhatásra elmozdul és megszakítja az érzékelő áramkörét. Ezzel a rendszeren közvetve lehet meghatározni az érintési pontot:

- a tapintó kalibrálásával a kalibrálógömbön meg lehet határozni a tapintógömb sugarát és pozícióját, ha tudjuk a kalibrálógömb pozícióját és sugarát
- méréskor biztosítjuk, hogy a felületet merőleges irányban tapints a tapintógömb
- a tapintás pillanatában meghatározza a mérőgép a tapintógömb pozícióját és ettől a ponttól abban az irányban lesz a tapintógömb sugarának megfelelő távolságban az érintési pont, amelyik irányban a tapintó az érintéskor éppen mozgott.

A bonyolultabb mérő érzékelő (9.4. ábra) be tudja azonosítani az érintési pont helyzetét, mivel 3 koordináta mentén mérni tudja a mérés irányát. A nyilak a mérőelemeket és az elmozdulások irányát mutatják, kék színnel jelezve a lemezrugók, amik a játégmentes egyenes megvezetést biztosítják. Az ilyen érzékelők lehetővé teszik felület tapintós letapogatását (szkennelés), ami azt jelenti, hogy képes a mérőgép egy kiindulási pontból a tapintót végigvezetni egy vonal mentén a munkadarab felületén és közben valamilyen gyakorisággal (sűrűséggel, felbontással) koordinátapontokat felvenni. Ilyen mérésre akkor van szükség, ha pl. fogaskerek felületét, vagy nem matematikailag „szabályos” (egyszerű zárt alakban kifejezhető) felületeket kell mérni, mint pl. karosszéria, szobor, áramlástechnikai alak stb. A legegyszerűbb tapintásos érzékelésnél – tűs tapintás – nem tudjuk pontosan a tapintó lekerekítési sugarát csak a tapintó felületre merőleges elmozdulását érzékeljük. Ilyen módon működnek az érdességmérő berendezések. Egy fokkal bonyolultabb, de a mérőérezékelőnél egyszerűbb az ún. kapcsolós tapintó (9.3 ábra). Az érzékelés a tapintónak kis elmozdulására vonatkozik, de ennek alapján nem lehet beazonosítani, hogy a tapintó melyik pontja érintkezett a munkadarabbal. Ez olyan nagy mérési bizonytalanságot jelentene, mint a tapintó kiterjedése, ezért a felületet merőleges irányból kell megérinteni. Így a tapintó középpontjának helyzetét és a tapintógömb átmérőjét ismerve, a tapintás irányából meg tudjuk határozni a tapintógömbnek a feltételezhető érintési pontját. Ezzel a módszerrel akkor tudunk kis bizonytalansággal mérni, ha tudjuk biztosítani a felület merőleges irányú érintését.

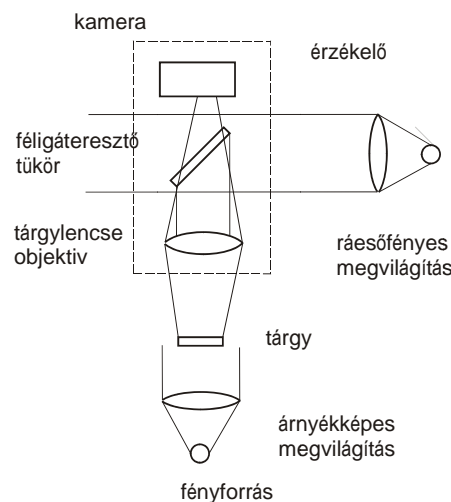


9.4 ábra: Mérő-tapintó [R. Christoph, H.J. Neumann: Multisensor-Koordinatenmeßtechnik, Dimensionelles Messen mit Optik, Taster und Röntgentomografie, Süddeutscher Verlag onpact GmbH, München, 2013]

Felület optikai érzékelése

Optikai elven térbeli távolságot lehetséges az érzékelt sugár hullámhosszának elvén mérni (interferométerek), vagy trianguláris elven (a visszavert sugár eltolódását érzékeljük), vagy a fény kromatikus aberrációjának elvén (különböző magasságokból visszavert fény képét a lencse különböző magasságokba képezi le) (CLA). Így az érzékelőre merőleges ponttávolságot lehet meghatározni.

A másik módszer a munkadarab érzékelőre merőleges profiljának vizuális érzékelése ráeső, árnyékképes, vagy egyéb (kevert, körfényes stb.) megvilágítással. Ezzel a módszerrel egyszerre sok pontot lehet érzékelni, de szükség van hozzá valamilyen képfeldolgozó rendszerre is, ami meghatározza a kép sötét/világos átmeneteit, mert ezek alkotják a kontúrpontokat.



9.5 ábra: Kép érzékelése árnyékképes és ráesőfényes megvilágítással



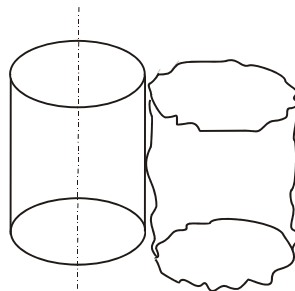
9.6 ábra: Borotvapenge élének a képe ráesőfényes (bal) és árnyékképes (jobb) megvilágítással, a munkadarab széle bal oldalon a sötét/szürke átmenetnél van, a jobb oldalon a szürke/fehér átmenetnél)

Az árnyékképes megvilágítással egyértelműbb a munkadarab széle, mint ráesőfényes megvilágítással, de az árnyékképes megvilágításnak hátránya, hogy nehezebb tájékozódni rajta, másrészt nehéz megvalósítani.

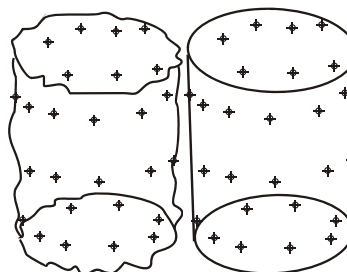
A koordináta mérőgépekhez kapcsolódik egy vezérlés, ami a mozgatót és a pontfelvételt teszi programozhatóan lehetővé. A mérőgép vezérelhető a botkormánnyal: oda vezetjük, ahol egy mérési pontot fel kívánunk venni, de külső programmal, vagy a billentyűzeten beadott pontokon keresztül is el tudjuk vezetni egy mérési pontba. A programozhatóságnak az a jelentősége, hogy akár ugyan azon a munkadarabon a mérést a mérőszemély befolyása nélkül, vagy egy másik – de a bázismunkadarabhoz kellően hasonló és hasonló helyzetben levő – munkadarabon is meg tudjuk ismételni a mérést.

A koordinátamérés eredménye bizonyos számú mérési pont lesz, amelyekből megfelelő kiértékelés után a munkadarabunk több felületének méretét, alakját, helyzetét meg lehet határozni, vagy a mért pontokat rá lehet illeszteni a munkadarab CAD modelljére és így meg lehet határozni a mért pontok eltérését a modelltől. A koordinátaméréshez szükség van a koordináta mérőgépre (felépítés, érzékelés, mérőrendszer, vezérlés), kell egy olyan mérőprogram, ami figyelembe veszi a munkadarab és a mérőgép sajátosságait és egy kiértékelés, ami a mért pontokból szolgáltatja a keresett információkat. A koordináta méréstechnika bonyolult, de a programozhatóság lehetővé teszi, hogy a korábban sok munkával (esetleg más által) kidolgozott programrészleteket és kiértékeléseket modulszerűen átvegyünk, ezzel lehet egyszerűsíteni. Tehát, ha van egy olyan mérőprogramunk, ami egy olyan kört, aminek adott a középpontjának helyzete, az átmérője és a síkja, n számú ponton körbemér, majd a mért pontokat ki is értékeli: meghatározza a pontoknak pl. a közelítő körét (középpont, átmérő), valamint a pontok eltéréseit a közelítő körhöz képest (köralakhiba), akkor ezt a modult be tudjuk építeni a mérőprogramunkba úgy, hogy csak arról kell gondoskodnunk, hogy helyesen fusson le (megfelelő bemenő adatok álljanak rendelkezésre). A koordináta méréstechnikában éppúgy előfordulnak olyan feladatok, amelyeknél ilyen előkészített modulokból építkeznek, mint olyan egyéni feladatok, amelyeket önállóan kell megoldani. A munkadarab mérési követelményei, a mérőgép sajátosságai, és a kiértékelésnél rendelkezésre álló lehetőségek alapján kell a mérést felépíteni, elvégezni, és a mérési eredményeket értékelni.

Egy henger alakú felület mérését és a kiértékelés folyamatát a következő két ábra mutatja.



9.7 ábra: Ideális henger (bal) és henger alakú munkadarab (jobb) képe

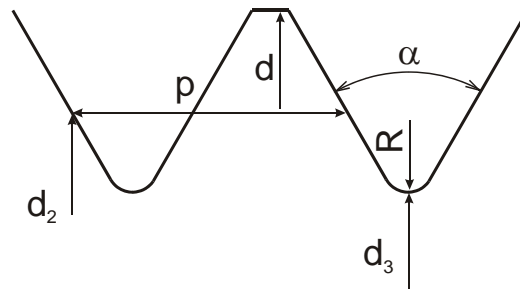


9.8 ábra: A munkadarabon mért pontok és a pontokat közelítő síkok és henger

A valós hengerfelületnek méret-, alak-, helyzethibája és felületi érdessége van. A valós felületen érzékelt pontokra illeszteni kell egy jól közelítő hengerfelületet. A leírtakat a gyakorlatban egy menetméréses példán mutatom be.

Menet mérése optikai koordinátaméréssel

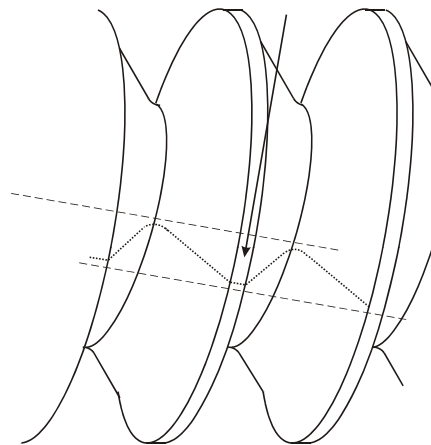
Métermenetnek a legfontosabb paraméterei a középátmérő (d_2), a menetemelkedés (p) és a profilszög (α). Ezek után még van jelentősége a külső átmérőnek (d), a magátmérőnek (d_3) és a tölekerekítési sugárnak (R). Ezeket a paramétereket a menet ábrája mutatja [DIN 13-19].



9.9 ábra: Métermenet paraméterei (orsómenetnél d , anyamenetnél D)

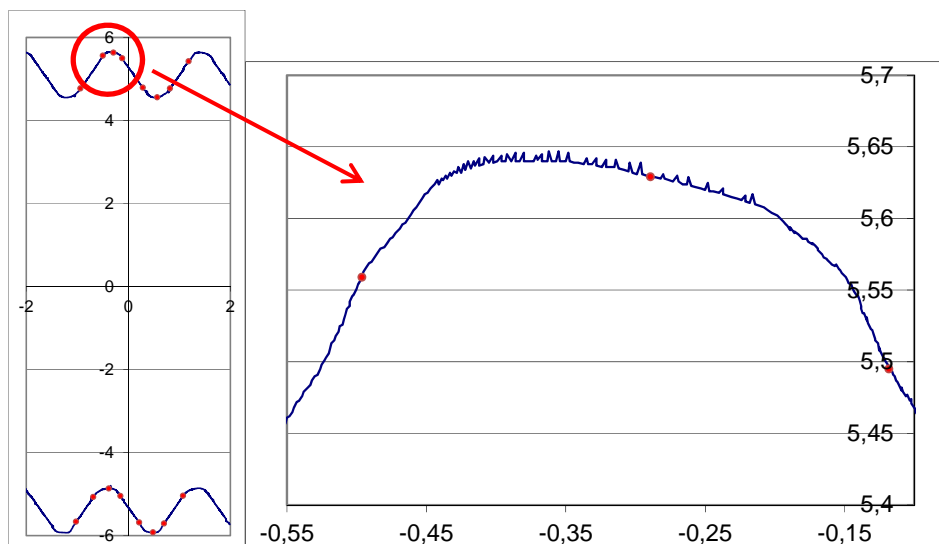
Orsómenetet közvetlenül lehet optikai úton mérni, anyamenetet közvetve, ha szilikonlenyomatot készítünk róla. A mérés során kétféle stratégiát követhetünk: eleve csak a lehető legkevesebb 16 pont koordinátáit mérjük meg, vagy a mérés során viszonylag sűrűn sok pontot felvesszünk, majd a kiértékelés során választjuk ki a mért pontokból a mérvadókat. A legkevesebb 16 pontot annak alapján vesszük fel, hogy azt feltételezzük, hogy a menetprofil egyenesekből és körökből épül fel. Egy egyenes meghatározásához 2, kör meghatározásához 3 pontjára van szükségünk.

A menet mérését az átmérő magasságában, a menetemelkedésnek megfelelő szögben (ferdén, a menet irányában) kell(ene) elvégezni, ha a tengelyre merőleges irányban mérünk, akkor a profil torzul.



9.10 ábra: Menetet a profilra merőleges irányban (nyíl), ferdén a menetemelkedésnek megfelelő ferdeséggel kell mérni

A 9.11 ábra 0,01 mm-es sűrűséggel mért menetpontokat mutat, jelölve a kiértékelésre kiválasztott 16 pontot.



9.11 ábra: Mért menetprofil részlete, kinagyítva a felső menetszűcs és a kiértékelésre kiválasztott 16 pont

A menet kiértékelésére kiválasztott 16 pontja a csavarment két oldalán egymással szemben elhelyezkedő 3 menetoldalon, ami egy menetet és egy menetárcot határol, valamint mindkét csavaroldalon egy-egy pont a menetárcokban és a menet csűcsán helyezkedik el.

	x	y
1	1,182	5,419
2	0,818	4,77
3	0,569	4,555
4	0,284	4,785
5	-0,118	5,495
6	-0,289	5,629
7	-0,496	5,559
8	-0,937	4,769
9	1,073	-5,045
10	0,7	-5,71
11	0,484	-5,925
12	0,215	-5,689
13	-0,153	-5,047
14	-0,382	-4,868
15	-0,684	-5,071
16	-1,022	-5,668

9.1 táblázat: A meneten kiválasztott 16 pont koordinátái mm-ben

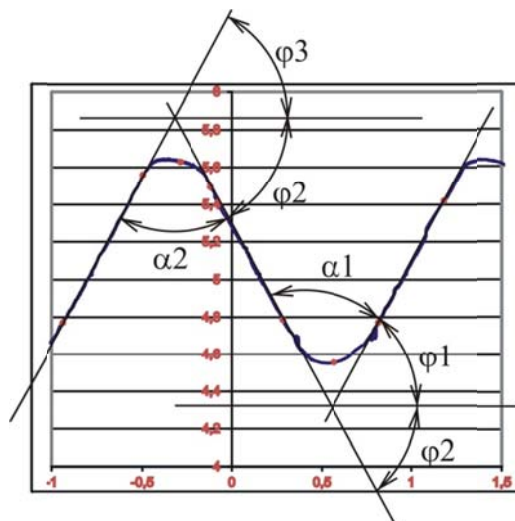
A menet profilszűgét úgy lehet meghatározni, hogy meghatározzuk a menetoldal szűgét, mint a menetoldalon felvett két ponton átmenő egyenes hajlásszűgét. A $P_1(x_1;y_1)$ és $P_2(x_2;y_2)$ pontokon átmenő egyenes hajlásszűgének az összefűggése:

$$tg\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

A 6 menetoldal szűgértéke

φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6
60,714	-60,482	60,829	60,712	-60,178	60,483

9.2 táblázat: A menetoldal szűgértékei fokban



9.12 ábra: A menetoldalak szögeinek és a profilszögek összefüggése

A **profilszöget** (α_1) úgy kapjuk, hogy 180 fokból kivonjuk a pozitív oldalszöget (φ_1) és hozzáadjuk a negatív oldalszöget. (φ_2): $\alpha_1 = 180 - 60,714 - 60,482 = 58,804^\circ$

$$\alpha_2 = 180 - 60,829 - 60,482 = 58,689^\circ$$

$$\alpha_3 = 180 - 60,712 - 60,178 = 59,11^\circ$$

$$\alpha_4 = 180 - 60,483 - 60,178 = 59,339^\circ$$

Mivel 4 különböző profilszöget kaptunk, ezért az eredményt megadhatjuk vagy $\alpha_{\min} = 58,689^\circ$, $\alpha_{\max} = 59,339^\circ$, vagy $\alpha = 58,985 \pm 0,325^\circ$ alakban. A profilszög alapján a menet métermenet (jele: M), aminek a névleges profilszöge 60° .

A menetemelkedést a csavar tengelyének, az átmérőket pedig az átmérőre merőleges irányban kell meghatározni. Ehhez meg kell határozni a menet tengelyének az irányát. Mivel a csavarmenet a menetoldalakon kapcsolódik, ezért a menetoldalak határozzák meg a menet tengelyét. Ha a 9.10 ábrán a menetoldalak szögét tekintjük, akkor a menet tengelye a szomszédos menetoldalak szögeinek átlaga: ha ez 0, akkor a menet tengelye éppen a koordinátarendszer x tengelyének irányába mutat. A 4 szomszédos menetoldal szögeinek átlagai: $0,116^\circ$, $0,1735^\circ$, $0,267^\circ$, $0,1525^\circ$. Ezeknek az átlaga $0,17725^\circ$, ha negatív irányban ezzel a szöggel elforgatjuk a 16 pontját, akkor abba a helyzetbe forgattuk a 16 pontot, hogy a menetoldalak tengelye az x tengely irányába mutasson. A 16 pontot egy olyan polárkoordinátarendszerben forgatjuk el, aminek az origója a 16 pont súlypontja, ami a koordináták átlaga. A polárkoordináták sugárértékeit

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_{sp})^2 + (y_i - y_{sp})^2}$$

a szögértékeket pedig a

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{y_i - y_{sp}}{x_i - x_{sp}}$$

képletek alapján kapjuk, ahol a súlypont SP(x_{sp} , y_{sp}).

Az elforgatott pontok szögértéke a kiindulás szög és az elforgatási szög összege: $\alpha_{fi} = \alpha_i + \beta$

Az elforgatott pontokat vissza kell transzformálni a derékszögű koordinátarendszerbe a következő összefüggésekkel:

$$x_{fi} = x_{sp} + r_i * \cos \alpha_i$$

$$y_{fi} = y_{sp} + r_i * \sin \alpha_i$$

	x	y	r	SZ	SZ _f	x _f	y _f
1	1,181918	5,418833	5,655477	78,74048	78,56323	1,199072	5,415391
2	0,817918	4,769833	4,953252	81,4051	81,22785	0,833066	4,76752
3	0,568918	4,554833	4,708323	84,01106	83,83381	0,583402	4,553291
4	0,283918	4,784833	4,916953	87,59593	87,41868	0,299115	4,784172
5	-0,11808	5,494833	5,626031	91,99393	91,81668	-0,10069	5,495412
6	-0,28908	5,628833	5,768296	93,64534	93,46809	-0,27127	5,62994
7	-0,49608	5,558833	5,715496	95,76134	95,58409	-0,47849	5,560581
8	-0,93708	4,768833	5,000665	101,7079	101,5307	-0,92193	4,771949
9	1,072918	-5,04517	5,017081	-78,5582	-78,7355	1,057701	-5,04822
10	0,699918	-5,71017	5,616948	-83,6397	-83,8169	0,682646	-5,71206
11	0,483918	-5,92517	5,811592	-85,9916	-86,1688	0,465982	-5,9264
12	0,214918	-5,68917	5,563068	-88,5863	-88,7635	0,197713	-5,68956
13	-0,15308	-5,04717	4,924784	267,3144	267,1372	-0,1683	-5,04643
14	-0,38208	-4,86817	4,762617	264,4604	264,2832	-0,39674	-4,86672
15	-0,68408	-5,07117	5,001722	261,2399	261,0627	-0,69937	-5,06879
16	-1,02208	-5,66817	5,648469	258,7729	258,5956	-1,03922	-5,66474

9.3 táblázat: A 16 pont polárkoordinátái, az elforgatott szöghelyzet (sz_f), és az elforgatott derékszögű koordináták (x_f,y_f)

A **menetemelkedést** úgy kapjuk meg, hogy az elforgatott mérési pontokra meghatározzuk a menetoldalak oldalegyeneseit, és az oldalegyeneseket mindkét csavaroldalon menetközépen elmetsszük és a párhuzamos oldalaknál a metszéspontok távolsága adja a menetemelkedést. A menetközépeket a menetoldalak metszéspontjainak y irányú középértékeként kapjuk. Az $y = A_1x + B_1$ és

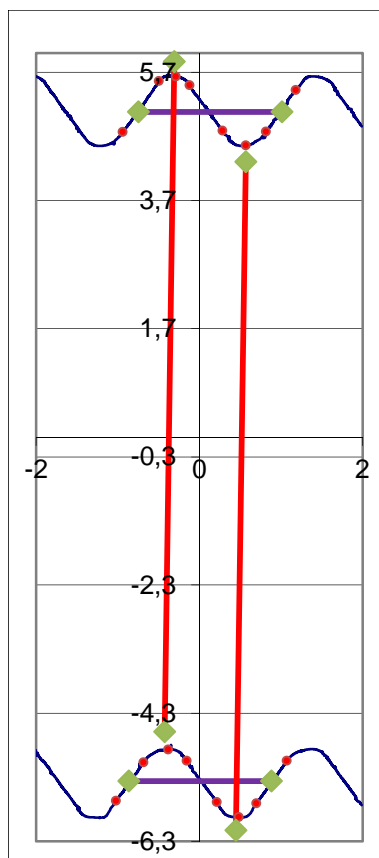
$$x = \frac{B_2 - B_1}{A_1 - A_2}$$

az $y = A_2x + B_2$ egyenesek metszéspontjának x koordinátája:

A kapott x-et visszahelyettesítve valamelyik egyenes egyenletébe megkapjuk a metszéspont y koordinátáját.

sorszám	meredekség	tengelymetszet	metszéspontok koordinátái		
	A	B		x	y
1	1,77011	1,77011	1	0,570115	0,570115
2	-1,77898	-1,77898	2	-0,30788	-0,30788
3	1,778434	1,778434			
4	1,769986	1,769986	3	0,447442	0,447442
5	-1,75714	-1,75714	4	-0,4272	-0,4272
6	1,753597	1,753597			

9.4 táblázat: Az oldalegyenesek egyenletei és ezek metszéspontjai



9.13 ábra: A menet oldalegyeneseinek metszéspontjai, valamint az oldalegyenesek metszéspontjai a menetközép egyenesével (zöld rombuszok)

A menetoldalalaknak és a menet közép vonalaknak a metszéspontjainak az x irányú távolsága ad két menetemelkedést: $p_{\min} = 1,747 \text{ mm}$, $p_{\max} = 1,758 \text{ mm}$ (két lila szakasz), az oldalegyenesek 4 metszéspontjának az y irányú távolsága pedig két **menet-középtátmérőt**: $d_{2\min} = 10,430 \text{ mm}$ $d_{2\max} = 10,456 \text{ mm}$ (két piros szakasz).

A **menet külső átmérőjét** úgy kapjuk meg, hogy 16 pont közül y irányban a két legtávolabbi y irányú távolságát kiszámítjuk: $d = y_6 - y_{11} = 11,556 \text{ mm}$. Szabványos menetek külső átmérője mm-es lépcsőkben változik, tehát ez a menet a szabvány szerinti M12x1,75 jelűnek felel meg.

A **menet magátmérője** a mért pontok közül a két árokfenék-pont y irányú távolsága: $d_3 = y_3 - y_{14} = 9,420 \text{ mm}$.

A **menet tölekerekítési sugara** a két árokfenéken mért szomszédos 3-3 pontra illeszthető körök sugara. Három pont köré írható kör középpontja a 3 pont szakaszfelező merőlegeseinek a metszéspontja.

Példaként határozzuk meg a 2-3-4 pont köré írható kör középpontját és sugarát!

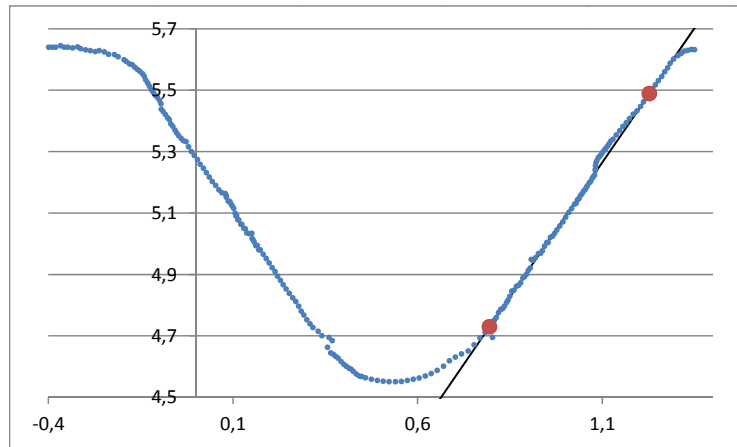
A felező pontok koordinátái: két pont koordinátáinak átlagértékei: $F_{12}(0,708;4,660)$, $F_{23}(0,441;4,669)$, $F_{13}(0,566;4,776)$.

A szakaszfelező merőlegesek egyenletei $y = -1,165x + 5,486$, $y = 1,231x + 4,125$, $y = 32,065x - 13,376$. E szakaszfelező merőlegesek metszéspontja, a kör középpontja: KP(0,568;4,824). A középpont távolsága a három ponttól a kör sugara: $r = 0,271 \text{ mm}$.

A másik árok lekerekítési sugara pedig a 13-14-15 pont köré írható kör sugara: $r = 0,280 \text{ mm}$.

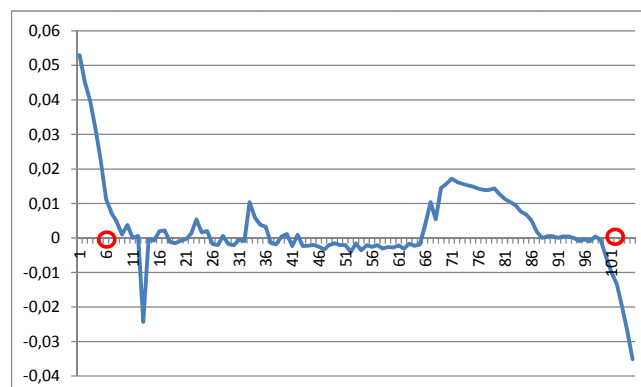
A menetmérés példája a koordinátamérésnek azt a sajátosságát mutatta be, hogy célszerűen kiválasztott felületi pontokból hogyan lehet sokféle geometriai jellemzőt meghatározni. Ha egy

geometriai elemet nem a lehető legkevesebb pontból határozzuk meg (egyenest 2 pontból, vagy kört 3 pontból), akkor nagyobb ráfordítással, de egyrészt a valós felületet jobban/megbízhatóbban közelítő kört/egyenest tudunk meghatározni, másrészt a több pontból a felület/profil alakhibájára is kapunk értéket.



9.14 ábra: Egy menetárok az egyik oldal két pontjával és a két ponton átmenő egyenessel

Először ki kell választani a menetprofilon érzékelt pontok közül azokat, amelyek feltételezhetően egy egyenesre esnek. Ezeknek a pontoknak a kiválasztása történhet úgy, hogy a menetoldalon kiválasztunk két pontot, ez meghatároz egy egyenest és meghatározzuk ettől az egyenestől a profilpontok eltéréseit.



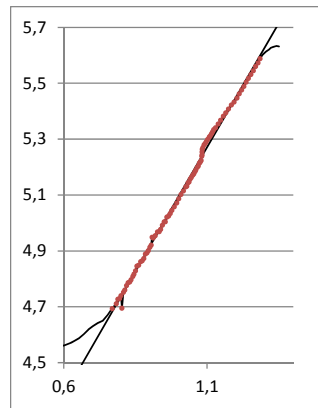
9.15 ábra: A profilpontok eltérése a két ponton átmenő egyenestől

Azokat a pontokat tekintjük a menet oldalegyenesének pontjainak, amelyek a bázisegyenestől valamilyen küszöbértéktől, jelen példában ez lehet 0,01 mm, kevesebbet térnek el. A 9.15. ábrán két kör jelzi, hogy mettől meddig vannak azok a profilpontok, melyek feltételezhetően egy egyenesre esnek.

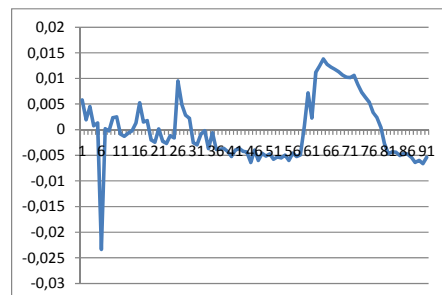
Kettőnél több pontot közelítő egyenest az ún. legkisebb négyzetek módszere alapján lehet meghatározni. Ennek a lényege, hogy meg kell határozni annak az egyenesnek a két paraméterét (meredekség és tengelymetszet), amelyiktől a pontok eltérésnégyzeteinek az összege minimális. Azért nem az előjeles eltérések összegét minimalizáljuk, hogy a pozitív/negatív eltérések ne ejtsék ki egymást. A közelítő egyenes átmegy a pontok súlypontján és meredeksége:

$$A = \frac{\sum (x_i - x_0)(y_i - y_0)}{\sum (x_i - x_0)^2}$$

ahol $P(x_i; y_i)$ a pontok koordinátái és $SP(x_0; y_0)$ a súlypont koordinátái.



9.16 ábra: A profilpontok közül az egyenessel közelíthető pontok és a pontokat közelítő egyenes



9.17 ábra: A pontok eltérései a közelítő egyenestől

Ha a kiugró értéktől eltekintünk, akkor a pontok legnagyobb eltérése a közelítő egyenestől 0,0138 mm, ez az egyenesség hibája.

A tölekerekítési sugarat 3-nál több pontból szintén a legkisebb négyzetek elvén határozzuk meg. Erre található példa az ütőméréssel foglalkozó fejezetben.