



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

**Gyártástudomány- és technológia Tanszék**

Tudományos Diákköri Konferencia

**Prizmás finompozicionálás kísérleti vizsgálata  
dinamikus terhelés mellett**

Készítette: Éles Imre

Konzulens: Dr. Szalay Tibor

Budapest, 2011

## Tartalomjegyzék

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| <b>Bevezető.....</b>                    | <b>3</b>  |
| <b>1. Készülékes pozicionálás .....</b> | <b>4</b>  |
| 1.1. Aktuátor-asztal.....               | 4         |
| 1.2. Egyéb megoldások .....             | 5         |
| <b>2. Méréstechnika .....</b>           | <b>5</b>  |
| 2.1. Erőmérés .....                     | 5         |
| 2.2. Rezgésmérés .....                  | 6         |
| 2.2.1. Mérési összeállítás.....         | 6         |
| <b>3. Prizmás pozicionálás .....</b>    | <b>7</b>  |
| 3.1. Valós körülmények .....            | 8         |
| 3.1.1. Igénybevételek.....              | 8         |
| 3.1.2. Statikus terhelés.....           | 8         |
| 3.1.3. Rezgés hatása .....              | 9         |
| 3.1.4. Mérési környezet .....           | 10        |
| 3.2. Mérési eredmények .....            | 15        |
| 3.2.1. Próbamérések .....               | 15        |
| 3.2.2. Impulzusszerű terhelés.....      | 17        |
| 3.2.3. Gerjesztett rezgés hatása.....   | 20        |
| <b>4. Összegzés .....</b>               | <b>29</b> |
| <b>5. Irodalomjegyzék.....</b>          | <b>31</b> |
| <b>Melléklet.....</b>                   | <b>32</b> |
| 1. sz. melléklet .....                  | 32        |
| 2. sz. melléklet .....                  | 39        |
| 3. sz. melléklet .....                  | 39        |

## Bevezető

Korunk nem múltó igénye a gyártástechnológiai folyamatokkal szemben a pontosság növelése e folyamatok összetevőinek vagy környezete elemeinek vizsgálatával, fejlesztésével.

A nagyobb pontosság elősegítésének fontos eszközei a munkadarabok helyzetének munkatérben való meghatározására szolgáló készülékek. Készülékes finompozicionálásra számos, elviekben és megvalósításban is különböző megoldás született, ezek közé sorolható az általam vizsgált módszer is.

A már elvégzett és még lefolytatásra váró kísérletsorozatok végső célkitűzése egy olyan finompozicionálásra alkalmas berendezés kifejlesztése, amely adott ipari, elsősorban megmunkálásokhoz felépített környezetbe beilleszthető, helyzet-meghatározással kapcsolatos jellemzői nem maradnak el a jelenleg is alkalmazásban lévő eszközökétől. Ezek mellett költséghatékonysága a szabványos elemekből való felépíthetőségnek köszönhetően meg is haladhatja az alternatív megoldásokét.

A prizmás pozicionáló berendezés a jelenlegi feltételezések szerint képes lesz megvalósítani hengeres munkadarabok precíziós helyzet-meghatározását, miközben azokat szerszámgépen például forgácsolással munkálják meg. Mindezt jól szabályozható terheléslétrehozó berendezéssel, megfelelő felbontású mérőrendszerrel és rögzítőelemekkel.

A végcél elérése érdekében már elvégeztem néhány, alapvető megvalósíthatóságra vonatkozó vizsgálatot, melyek a terhelő erő és munkadarab elmozdulása között fennálló kapcsolat megállapítását szolgálta (rövid összefoglalás a dolgozat 3.1.-es pontjában és az 1.sz. mellékletében).

Az alább ismertetett és közeljövőben elvégzendő mérések a berendezés statikus és dinamikus igénybevétel esetén tapasztalható tulajdonságainak vizsgálatát szolgálják.

Távlati cél a mérési környezet pontosítása a modellezés során még megfelelő, de a valós környezetbe illeszkedni nem képes elemek cseréjével. (Elsősorban a két környezet más helyigénye jelent különbséget, illetve a megmunkálásban fellépő passzív erők hatása.)

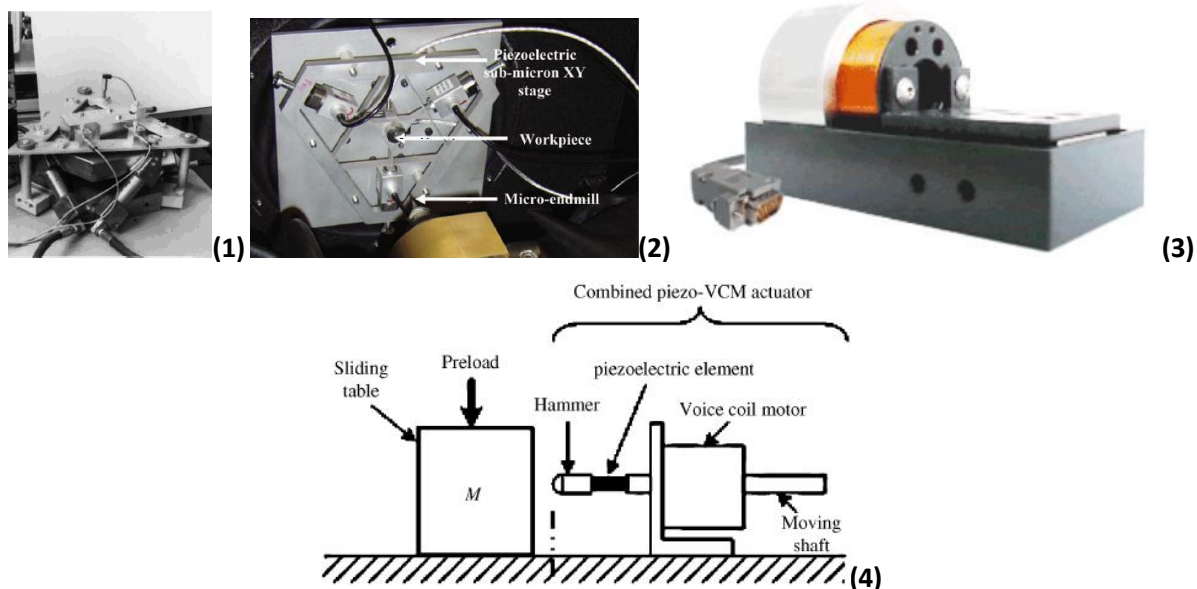
## 1. Készülékes pozicionálás

Az általam vizsgált módszer segítségével történő pozicionálás jellemzőivel több más megoldás is rendelkezik, melyek egy része már gyakorlatban is felhasználásra került, míg néhány egyelőre további kísérleti vizsgálatokat igényel.

### 1.1. Aktuátor-asztal

Alkalmazhatók a megmunkálások területén általánosabban használt golyósorsóval, hidraulikus vagy pneumatikus munkahengerrel dolgozó eszközök nagypontosságú változatai, melyek átlagos méretű társaik jellemzőit örökölték. További finompozicionáló eszközök a termo mechanikus aktuátorok (TMA) [1] stabil ismétlési pontossággal és körülményesebb gyárthatósággal, piezo kristály aktuátorok [5] kitűnő linearitással és szintén nehezebb előállítási folyamattal, és indukciós motorok [3] kiemelkedő gyorsulási jellemzőkkel, de az elmozdulás nagyságától függő pozícióhibával. Bizonyos esetekben felmerülhet az igény ezek kombinációra is [6].

Minden megoldás rendelkezik tehát felhasználási területét meghatározó pozitív és negatív tulajdonságokkal. Az általam kidolgozott berendezés az előzőekhez képest alacsony előállítási költségében és egyszerű, „hétköznapi” elemeket tartalmazó felépítésében élvez előnyt.



Hexapod (1)[2],  $\mu$ Hexflex (2)[1], indukciós motor (3)[7], piezo-indukciós motor kombinált (4)[6]

1. ábra Készülékes finompozicionálási megoldások

## 1.2. Egyéb megoldások

Elvét (rugalmas deformáció) tekintve az én méréseim tárgyához hasonló hidraulikusan szabályozható elasztikus aktuátorok (HEA) nagy merevséggel és kedvezőtlenebb sebességi jellemzőkkel [4].



2. ábra HEA [4]

## 2. Méréstechnika

A kutatás legfontosabb méréstechnikai vonatkozásai erő-, rezgés- és elmozdulásmérés terén vannak. Az első a terhelés-beállításoknál játszik kulcsfontosságú szerepet, amely a kész berendezésnél is aktív marad, rezgésmérésre a tesztelési fázisban van szükség, a kész berendezés esetében nincs szükség a rezgés hatásának működési feltételként történő vizsgálatára, míg az elmozdulás mérése egyértelmű követelmény a berendezés célját tekintve.

### 2.1. Erőmérés

A szorítóerő mérése alapvető szükséglete a berendezés működésének, mivel ennek beállításával lehet előállítani a megfelelő elmozdulást.

Be kellett építeni a szorításhoz kapcsolódó erőfolyamba egy érzékelőt, amely jellemzői a legalkalmasabbak az adott mérésre nézve.

Erőmérésre közvetlen vagy közvetett leképzésű villamos mérőmódszerek használatosak aszerint, hogy az erőt közbenső mennyiség használatával vagy anélkül valósítják meg.

Közvetlen módszerek:

- átmeneti ellenállásos (szénoszlopos erőmérők)
- magnetoelasztikus
- piezoelektromos

Közvetett módszerek:

- összehasonlításos
  - súlyerő referencia (mérlegelés)
  - hidrosztatikus erő referencia (nyomásmérlegek)

- deformációs mérőtestek (szilárdságtanilag és metrológiailag méretezett mérőtestek rugalmas deformációja)
  - ellenállásos
  - kapacitív
  - induktív
  - optikai

## 2.2. Rezgésmérés

A rezgés mérésénél lehetséges út-, sebesség- és gyorsulásmérést alkalmazni. Gyakorlatban többnyire gyorsulásmérést alkalmaznak a rezgések vizsgálatához alkalmazott szenzorokban

A tehetetlenségi erő egyenesen arányos ezzel a gyorsulással, így meg lehet határozni az érzékelőkbe épített ún. szeizmikus tömegre ható erőt.

A gyorsulásmérőket egyszabadságfokú rezgőrendszernek megfelelő modelljüket jellemző tömeg, csillapítás és rugómerevség aránya szerint három típusba sorolhatjuk:

- útérzékeny szenzorok (nagy tömeg, kis csillapítás, kis rugómerevség)
  - kapacitív
  - induktív
  - nyúlásmérő-bélyeges
- sebességérzékeny (kis tömeg, igen nagy csillapítás, kis rugómerevség)
  - indukciós szenzorok
- gyorsulásérzékeny (kis tömeg, kis csillapítás, igen kis rugómerevség)
  - piezoelektromos szenzorok

} szenzorok

### 2.2.1. Mérési összeállítás

A méréshez kiválasztott eszközök nagy része a tanszéki laborban rendelkezésemre állt, úgy mint:

A satu felelt a kétoldali szimmetrikus erő kifejtéséért. Precíziós erőszabályzóként kevésbé jól alkalmazható kézi szorítású volta miatt, de a mérés nem is igényelte az erő nagy pontosságú beállítását, ahogyan azt az eredmények is mutatták (minden beállítási ponthoz tartozott egy  $\pm 25$  N-os tűrés).

### 3. Prizmás pozicionálás

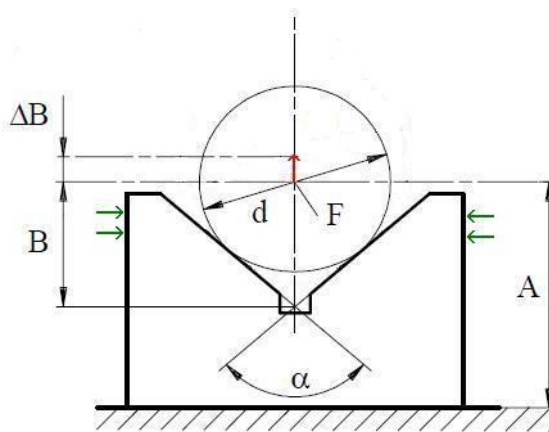
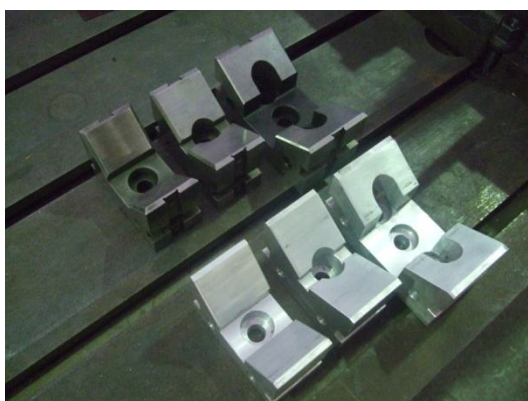
A prizmák, mint alapvető elemei a készülékezés eszköztárának képesek kielégíteni aktuális gyártási környezeteknek megfelelő pontosságot, stabilitást és egyéb pozicionálással kapcsolatos követelményeket megfelelő környezetbe helyezve.

A prizmák hengeres munkadarabok központosítása során alkalmazott készülékelemek. Geometriájukból adódóan egy jól meghatározható irányban történő elmozdulás létrehozását képesek megvalósítani megfelelő segédberendezések segítségével. Az elmozdulásvektor a két szögben fekvő támasztó oldal által meghatározott középsíkban van és merőleges a prizma alapsíkjára.

A pozíció-beállítás tehát függőleges irányban történik a következőkben leírtak szerint.

A 3. ábrán látható módon készülékelem oldalsó síkjának zöld nyilakkal jelölt felső tartományát szimmetrikusan terheljük a megfelelő, rugalmas deformációt eredményező erővel. Ennek köszönhetően a munkadarabot támasztó, szögben álló síkok mind távolságban, mind szögben közelíteni fognak egymáshoz. A henger ennek köszönhetően az ábrán „ $\Delta B$ ”-vel jelezett elmozdulást fog szenvedni.

Az előzetes feltételezések szerint a rugalmas viselkedésnek köszönhetően ez a folyamat megismételhető és az erővel lineárisan változó, tehát jól beállítható pozicionálást eredményezhetett, amit az elvi kidolgozást követő mérési eredmények is igazoltak. Ezt igazoló mérések rövid leírását és az eredményeket mutató diagramokat tartalmazza az 1. sz melléklet.



3. ábra Mérésekhez alkalmazott prizmák és a pozicionálás elvi vázlata

### 3.1. Valós körülmények

Miután a megvalósíthatóság alapvető követelményei mérésekkel igazolhatóan teljesültek a vizsgálatok a valós körülmények között tapasztalható viselkedésre irányultak.

Tegyük fel, hogy az előzőekben ismertetett eszköz valamilyen ipari célú felhasználásra kerül. A prizmak igen elterjedt felhasználási területe a különböző forgácsoló megmunkálások során a hengeres munkadarabok helyzetének meghatározása. Ilyen megmunkálás lehet fűrés, marás, köszörülés, illetve ezeknek precíziós változatai.

#### 3.1.1. Igénybevételek

A berendezést igen sokrétű igénybevételnek tesszük ki alkalmazása során, melyek közül kettő bír a legnagyobb jelentőséggel. Mind a statikus terhelés, mind a rezgés eredményezheti a munkadarab helyzetének (a szerszám-munkadarab-készülék hármas egymáshoz viszonyított helyzetéből adódó irányba történő) módosulását.

#### 3.1.2. Statikus terhelés

A prizma a munkadarabnak kevesebb, mint hat szabadságfokát veszi el, így a valós környezetben ható igen sokrétű igénybevételek hatására biztosan elmozdulna egyébként jól meghatározott helyzetéből.

A maradék két szabadságfok elvételére mindenképpen szükséges tehát alkalmazni valamilyen egyéb elemet. Ez egy állandó statikus terhelést jelent majd a terhelés előállítására használt elemre a munkadarabon és a prizmán keresztül, közvetett módon.

A problémát olyan oldalairól is meg kell vizsgálni, mint terhelés mértéke, iránya, a szorításra alkalmazandó eszköz helyigénye.

Mivel cél, hogy a henger helyzetét a prizma támasztósíkjai határozzák meg, ezért az eredő szorítóerőnek is ennek megfelelően kell hatnia. A munkadarab szorítás előtti és utáni helyzete különbözni fog. Ez megoldható a pozicionálás kezdetén egy kompenzáló terhelésemeléssel a satu oldaláról vagy a kiinduló érték (zérus) szorítás után való felvételével.

Az erő-elmozdulás összefüggést igazoló kezdeti méréseket meg kell ismételni a szorítóerő fennállása mellett, mivel nagy valószínűséggel nem csak egy konstans értékkel fognak eltolódni a görbék, de a szomszédos mérési pontok egymáshoz viszonyított helyzete is megváltozik. Az összefüggés elsősorban készülékgeometriától, anyagi minőségtől, valamint egyéb jellemzőktől is függően változó hibákkal terhelt lineáris volta remélhetően nem fog változni jelentős mértékben.

Nem lehet elhanyagolni a szorításra alkalmazott berendezés fizikai megvalósításának problémáját sem. Úgy kell megvalósítani hengeres darab teljes helyzet-meghatározását, hogy az ne akadályozza a megmunkálást és ne egyszerű célkészülék legyen a végeredmény.

Ennek megalkotása egyelőre olyan kezdeti feltételeket, információkat kíván, amelyek nem állnak rendelkezésre, illetve vannak jelenleg ezzel szemben egyszerűbb kivitelezhetőségükből fakadóan prioritással rendelkező feladatok.

### 3.1.3. Rezgés hatása

Meg kell vizsgálni a munkadarab megmunkálása közben keletkező és fennálló igénybevételeket is. Megmunkálás alatt valamilyen forgácsolási folyamatot értek első sorban, ezen belül is leginkább marást.

A köszörülés általános esetben igencsak nehezen mérhető, elemezhető rezgésjellemzőkkel bíró megmunkálási folyamat, mivel szabálytalan élű szerszámmal rendelkezik. A szemcsék rendezetlen elhelyezkedése véletlenszerűvé teszi rezgésjellemzők jó részét, így azok bonyolultabb mérési módszereket és eszközöket igényelnek.

Fúrás és marás, mint szabályos éllel végzett anyagleválasztás jóval alkalmasabb ilyen célokra. A csigafúróknál a két, maró szerszámoknál kettő vagy több él és a fordulatszám egyértelműen meghatároz egy fő rezgésjellemzőt, amelynek forrása az élék anyagba lépése.

Viszonylag egyszerűen számolható a frekvencia egy adott szerszám és fordulatszám esetén.

A pozicionálás és a méréstechnika oldaláról is érdekes feladat a dinamikus igénybevétel okozta pozíciópontatlanság. A rezgés hatására elindul egy magasságcsökkenési folyamat, melynek korlátot szab a prizma rugalmassága és satupofák merevsége.

Ahhoz, hogy az előzetes elképzelések szerint meg tudjuk vizsgálni a munkadarab magasságának változását, szükséges kivárni egy rövid időt. Erre azért lehet szükség, mert gyakorlatilag fordított folyamat játszódik le a prizma oldaláról eredetihez képest. A munkadarab terheli a prizmát az érintkező felületek (elméletileg vonalszerű érintkezés, de gyakorlatban felületekről van szó) mentén és így szétfeszíti annak támasztó síkjait.

A rezgésjellemzők alapvetően befolyásolják ennek a folyamatnak a gyorsaságát, az okozott elmozdulás mértékét. A kitérés kompenzációját tehát csak a rezgésjellemzők pontos ismeretében lehet végrehajtani.

Szükséges tehát egy olyan mérési környezet felállítása, amely az előzőekben ismertetettekből indul ki, ugyanakkor képes létrehozni a feltételezett valós körülmények között létrejövő rezgéseket és mérni azok kritikus jellemzőit. Két ilyen jellemző van, amely

szóba jöhet, mint pozicionálásra komolyabb hatást kifejtő tényező: az amplitúdó és a frekvencia.

Az amplitúdó változásának hatására mérések nélkül is következtethetünk, olyan alapvető megállapításokból, minthogy egyéb részletek állandósága mellett valamilyen alátámasztott test (mindkét elem lineárisan rugalmasnak tekintendő) nagyobb, alátámasztás felé irányuló dinamikus igénybevétele nagyobb helyzetkitérést eredményez.

Forgácsoló megmunkálások során ennek növelésére az egyik legegyszerűbb módszer a fogásvétel növelése, így a forgácsoló élek nagyobb anyagvastagsággal ütköznek, amikor érintkezésbe lépnek a munkadarabbal.

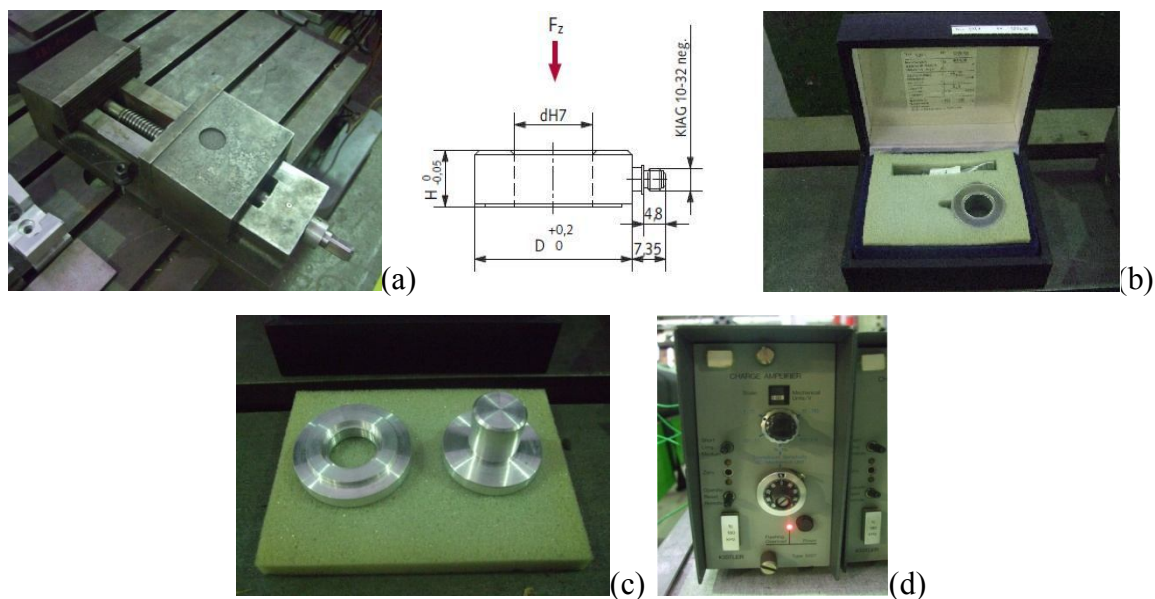
A frekvencia változásának hatása már bonyolultabb vizsgálatokat igényel. Érdekes ezt is a modellezni kívánt valós környezet oldaláról megvizsgálni. Nem szükséges sem túl magas, sem túl alacsony frekvenciatartományban méréseket végezni, mivel a forgácsoló szerszámgépek, illetve az azokkal végezhető munkafolyamatok, amelyek ilyen készülékezt igényelnek, megszabnak egy alsó és felső határfrekvenciát.

#### 3.1.4. Mérési környezet

A mérési környezet a korábbi vizsgálatokhoz használt összeállításon alapul, mivel szükséges vizsgálni az annál mért jellemzőket is. A munkadarab helyzetének változását, a terhelő erőt csakúgy mérni kell a végső mérési összeállítás segítségével, mint a megvalósíthatóság alapvetőbb vizsgálata során.

Az első lépésben az erőmérő szenzor alkalmazása nélkül állítottam össze a mérési környezetet, mivel a cél mindenekelőtt az új eszközök rendszerbe illeszthetősége, valamint a rendszer mérési tevékenységre való alkalmasságának megállapítása volt. Az erőmérő szenzor a régi összeállításhoz teljesen hasonló módon kerül beépítésre, amit a jelenlegi állapotban nem akadályoz a szorításért felelős készülékrész sem. A régebbi mérési összeállítás jelenlegi mérőrendszerbe is beépített tagjainak adatait a 2. sz. melléklet tartalmazza.

Az új cél elérése érdekében megtett első lépésekhez használt berendezések közül a satu, egy 120°-os nyílásszögű nagyobb befoglaló méretekkkel rendelkező alumínium ötvözet prizma, a mérőerősítő és a munkadarabként szolgáló henger került felhasználásra. A programfuttatásra és adatfeldolgozásra szolgáló számítógépet le kellett cserélni egy PCI-os bővítőhellyel rendelkezőre a beszerzett függvénygenerátor kártya használathatósága érdekében.



(a) satu, (b) erőmérő szenzor (c) közdarabok a szenzorhoz (d) erősítő

#### 4. ábra Az eredeti összeállításban is szereplő eszközök

Új elemként került a rendszerbe egy Kistler 8005 típusú piezoelektromos rezgésmérő szenzor a következő jellemzőkkel:

- Típus: 8005
- Gyári szám: 316390
- Mérési tartomány:  $\pm 5000$  g
- Érzékenység:  $-4,95$  pC/N
- Merőleges érzékenység:  $\pm 6\%$  FSO
- Sajátfrekvencia: 21kHz
- Hőmérséklettartomány:  $-196$ - $200$  °C

Ennek beépítéséhez kissé át kellett alakítani a munkadarabot és a prizmat is.



5. ábra Rezgésmérő szenzor

Az adott összeállításhoz új mérőeszközre volt szükség az elmozdulás megállapítására, mivel az eredeti megoldás munkadarab feletti helyigénye meghaladta az újonnan

rendelkezésre állóét. Így esett a választásom egy Mitutoyo gyártmányú, 0,01 mm felbontással rendelkező tapintóórájára átforgatható tapintóval és egy ezt befogni alkalmas mágnesesen rögzíthető állványra, melyek rugalmas beállíthatósága lehetővé tette a helyzetváltozás mérését az adott helyigények megfelelően.

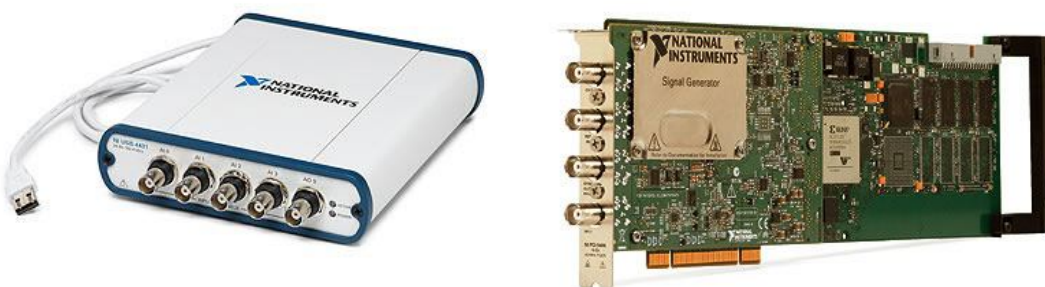


**6. ábra Tapintóóra állvánnyal**

A megmunkálás által létrehozott dinamikus igénybevétel modellezését egy elektrodinamikus gerjesztőberendezéssel (továbbiakban rezgető) valósítottam meg:

- Gyártó: VEB RFT Messelektronik
- Típus: 11076
- Gyártási szám: 81031

Két feltétlenül szükséges elem hiányzott az előbbieken kívül a mérések elkezdéséhez: egy jelgenerátor, amely vezérlő jelet szolgáltat a rezgető számára, illetve egy adatgyűjtő, amely egyszerű illesztést valósít meg a szenzor erősítője és a számítógép között:



**7. ábra NI USB-4431 adatgyűjtő és NI 5406 jelgenerátor**

Mindenképpen említésre méltó feladat volt a jelgenerátor és a rezgető összekötése. A fizikai csatlakoztatást tekintve a jelgenerátor kimenete BNC csatlakozó, míg a rezgetőbe

hagyományos banándugós megoldás illeszkedik megfelelően így szükség volt egy ilyen átalakító kábelre. Villamos oldalról szemlélve a problémát fontos kérdés volt a jelgenerátor kimenő teljesítménye, valamint a rezgető által igényelt áramerősség kérdése is.

Amennyiben az NI 5406-nak nincs megfelelő kimenő teljesítménnyel rendelkező jele a rezgető nem fog létrehozni használható amplitúdóval rendelkező rezgéseket. Ez annak a következménye, hogy a rezgetőt elő kell feszíteni a mérést megelőzően. A rezgető mozgó részét a nyugalmi állapothoz képest kissé feljebb (ld. 9. ábra) kell tolni a szerszám gép szán segítségével. Emiatt szükséges egy minimális határ feletti bejövő teljesítmény a rezgés létrehozásához.

Az áramerősség szintén kulcskérdés volt, ugyanis ha a rezgető által igényelt áramerősség meghaladja a PCI-os foglalat által átadni képes áramerősséget, akkor ismételtlen meghiúsul a mérés.

A kártya és a rezgető is sikeresen eleget tett az így kialakult peremfeltételeknek lehetőséget adva a mérések végrehajtására.



**8. ábra Számítógép függvénygenerátorral a belsejében és USB-s I/O eszközzel a tetején**

Az egész mérési összeállítás alapjául egy vízszintes orsójú marógép szolgált, melynek adatai:

- Gyártó: TOS
- Típus: FN 20 típusú,
- Gyártási szám: 9031283

Ennek asztalára a satut, orsóházának elülső részére a rezgető állványát rögzítettem. Ez egyrészt a megfelelő merevséggel bíró keretet adott a beépített elemeknek, másrészt a szánok segítségével jó beállíthatóság valósított meg.



**9. ábra Mérési összeállítás**

A méréshez eredeti elképzelések szerint szükség volt egy erre a folyamatra nézve specifikus program megalkotására is, mely a tevékenység jelen szintjén kiváltható volt az NI LabVIEW Signal Express nevű programmal, ami kiválóan alkalmas volt a mérési során feldolgozandó jel kijelzésére, alakítására, rögzítésére.

A program képes volt .txt formátumba exportálni a mérési eredményeket, így elősegítve azok könnyű kezelését.

### 3.2. Mérési eredmények

Három különböző célú mérési tevékenység folyt a fentebb leírtak szerint létrehozott mérési környezet segítségével. Az összeállítás után néhány beállítás csak a működőképesség megállapítására irányult, illetve a terhelésmentes állapotban tapasztalható zavarások hozzávetőleges mértékét hivatott meghatározni.

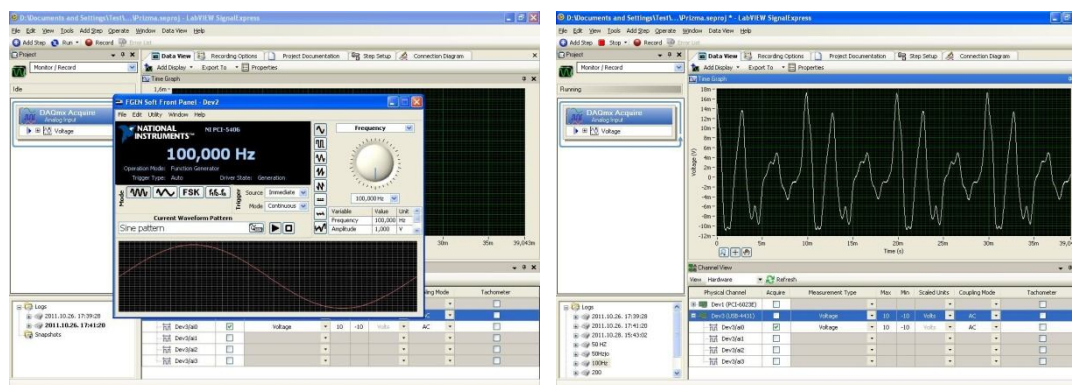
Végso célja ezeknek a rezgéssel, mint dinamikus igénybevétellel zavart méréseknek a prizmas pozicionálás helyzettartásának vizsgálata.

#### 3.2.1. Próbamérések

A próbamérések annak a megállapítására irányultak, hogy a regisztrálható adatok mutatják-e a rezgésre jellemző periodicitást, az erősítésnek megfelelően változik-e a mért jel amplitúdója. Másrészt el kellett dönteni, hogy a zavarások hatását milyen mértékben kell figyelembe venni.

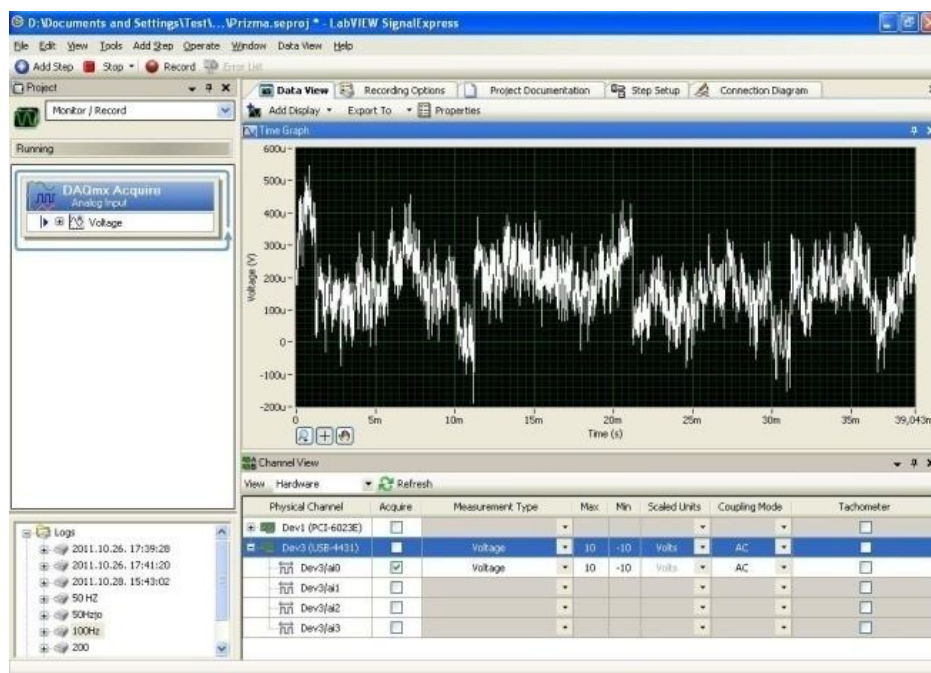
Az eredmény szerint a rezgésjellemzőket jól leképző környezetet sikerült építeni a mérésekhez, mind a periodikus jelet, mind az amplitúdó-változást tekintve.

A rezgetés hatására jelentkező elmozdulást (3.2.3.), valamint a dinamikus terhelés és zaj keltette jelek nagyságának arányát figyelembe véve a zaj összes hatása a végeredményként vizsgált pozíciópontatlanságra nézve egyértelműen elhanyagolható.



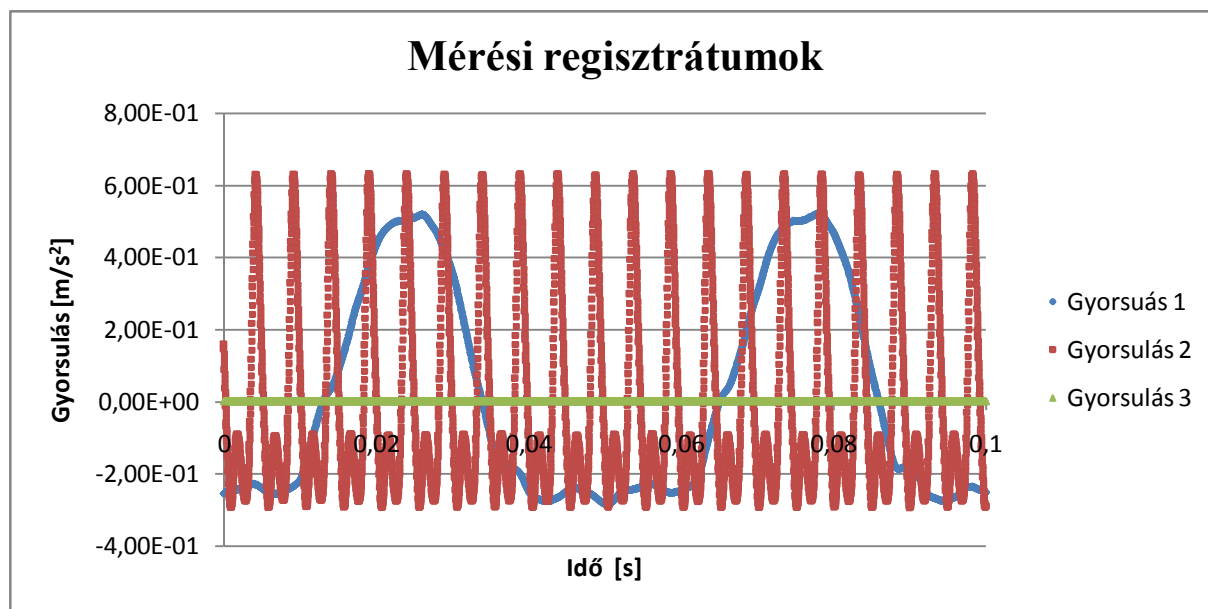
**10. ábra A függvénygenerátor szoftver (FGEN Soft Front Panel balra az előtérben) és a Signal Express program kezelőfelületei**

Az alap zavarások meghatározása a rezgető leállításával (a jelgenerálás kikapcsolásával) történhet, illetve mérhető a villamos hálózat zavarása is.



11. ábra Rezgetés leállítása után mérhető zaj

Az alábbi diagramon 2 különböző frekvenciához és a zajhoz tartozó szenzor által érzékelt, erősítő által átalakított és az NI USB-4431-en keresztül számítógép által .txt formátumban mentett adatokból készült diagram látható.



1. diagram Különböző frekvenciájú (1,2) gerjesztésekhez és zajhoz (3) tartozó görbék

Ezek a görbék a működéshez szükséges minimális erősítés melletti jelek regisztrálása során jöttek létre. Az erősítést innen csak emelni lehet, ami a zajon kívül jelek erősödésével jár. A jel-zaj viszony tehát csak növekedni fog. A méréseket ugyanakkor egy bizonyos

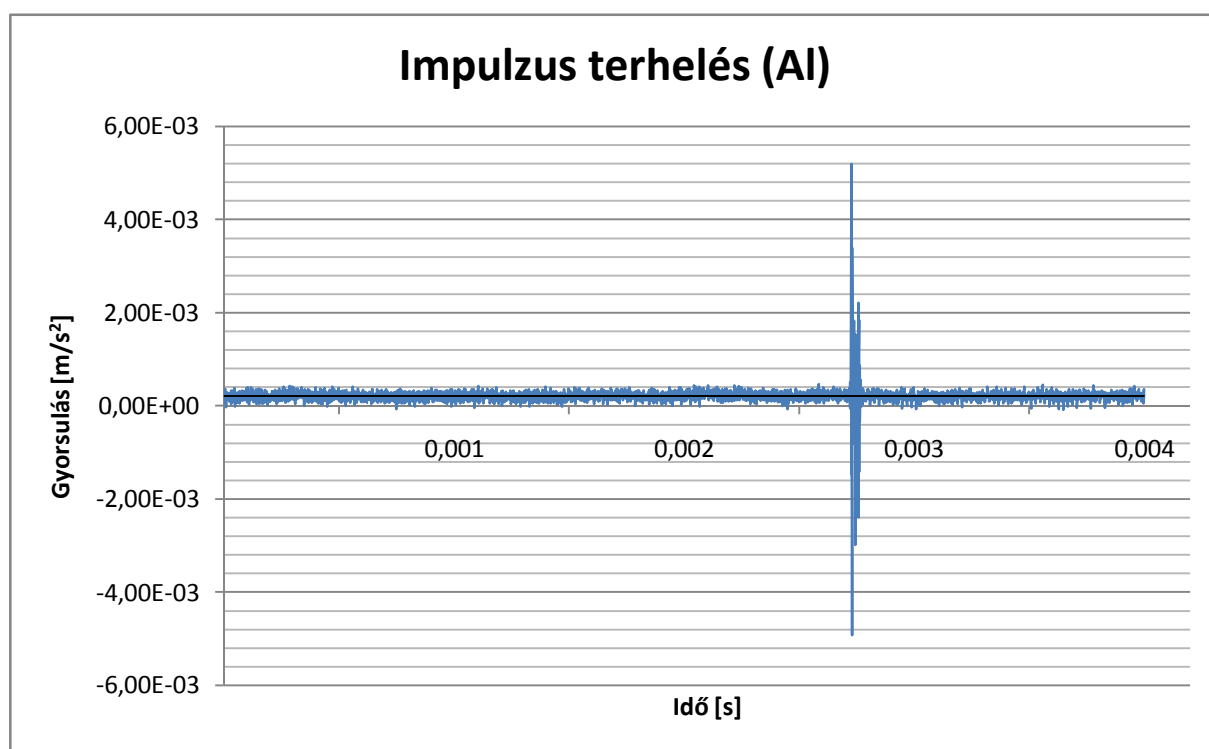
erősítési szint mellett kell végezni, mivel megmunkálás során ilyen változás adott műveletre nézve közel állíndó.

### 3.2.2. Impulzusszerű terhelés

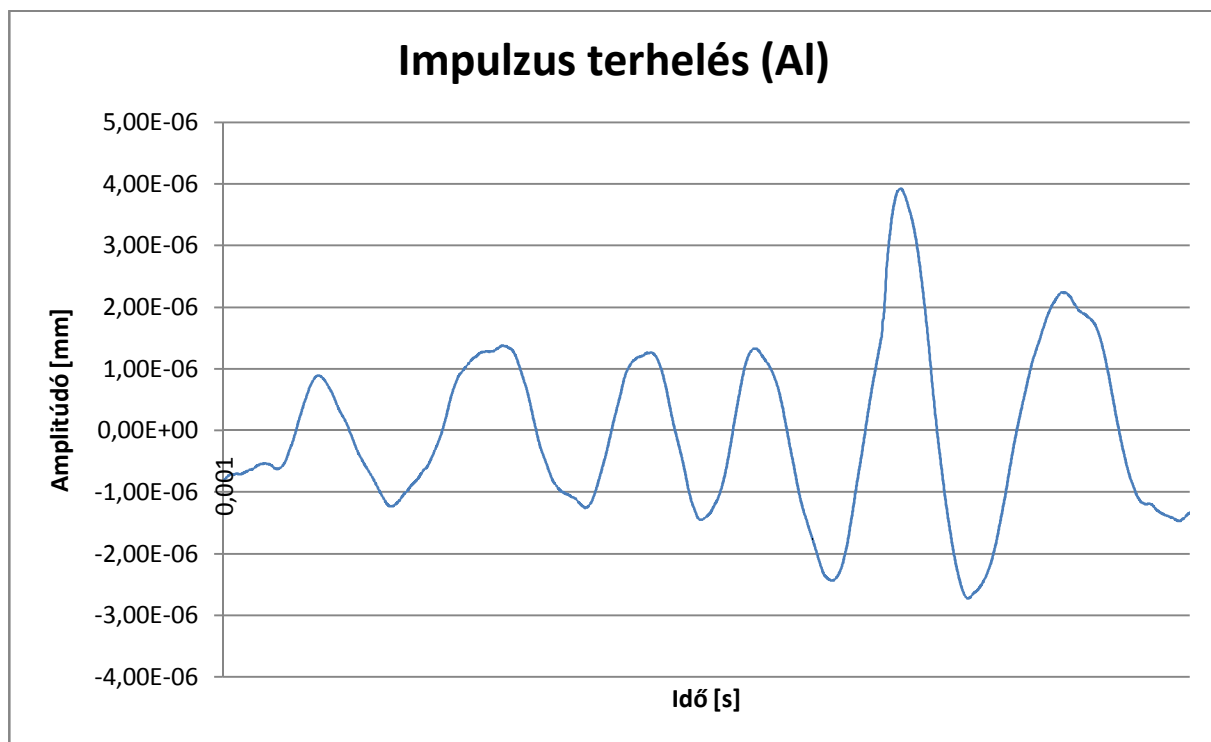
A sajátfrekvencia, csillapítás megállapításához jól használható módszer az impulzusszerű terhelés. Legalkalmasabb ilyen célra egy olyan ütest létrehozása, amely pontszerű, minél rövidebb ideig tartó érintkezéssel valósul meg.

Erre kitűnően felhasználható volt a gerjesztő-berendezés ki- és bekapcsolásához kapcsolódó jelenség, melynek során a mozgórész egy egyszeri nagyobb intenzitású kinyúlást-visszahúzódot végez rövid idő alatt. Mivel a gerjesztő ezen része egy gömbös végű csavarban végződik az előbb írt feltételek is teljesülnek.

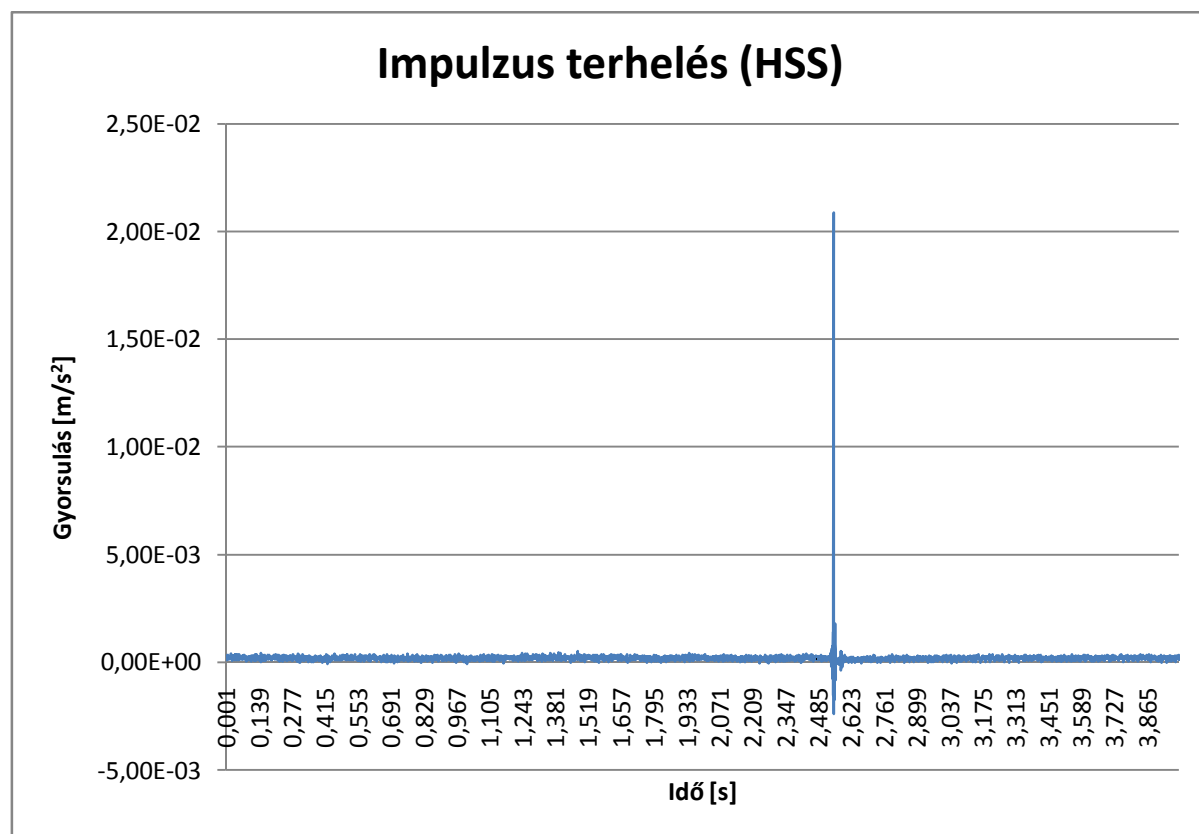
Az ütés eredményeképpen regisztrálható rövid idő alatt lecsengő folyamat jellemzőiből közvetve megállapítható a sajátfrekvencia és a rendszer csillapítása.



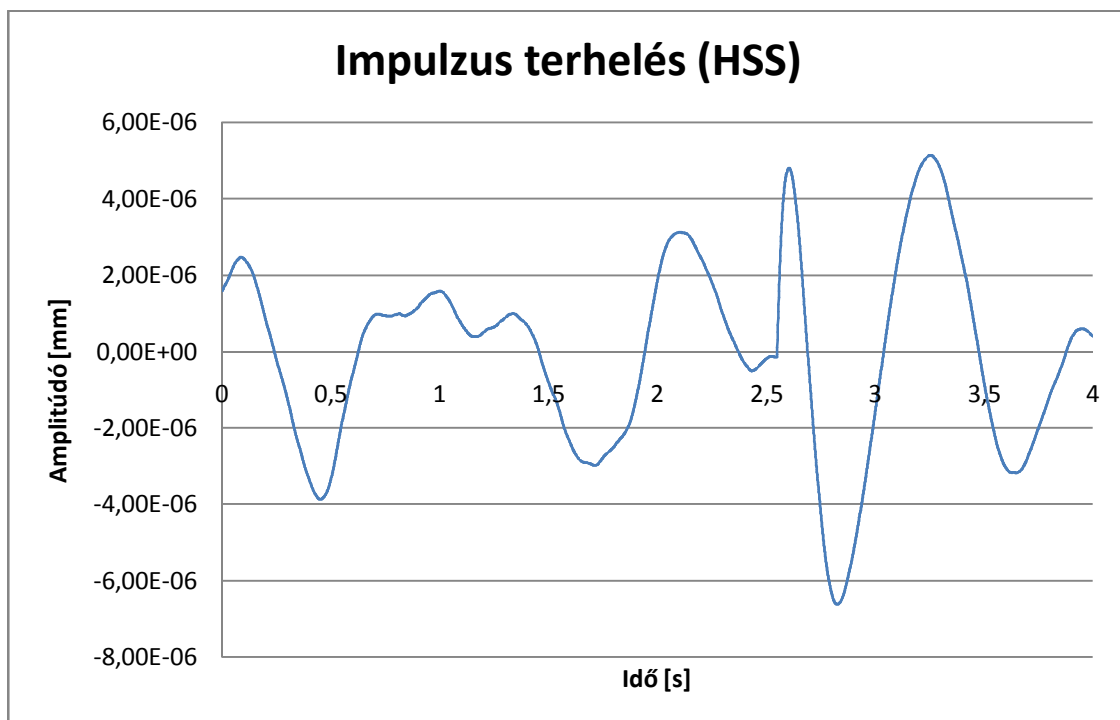
2. diagram Impulzusszerű terhelés gyorsulás diagramja (AI prizma)



3. diagram Impulzusszerű terhelés amplitúdó diagramja (Al prizma)



4. diagram Impulzusszerű terhelés gyorsulás diagramja (HSS prizma)



5. diagram Impulzusszerű terhelés amplitúdó diagramja (HSS prizma)

A diagram alapján egyszerűen számítható a rendszer csillapítása:

A logaritmikus dekrementum:

$$\Lambda = \ln \frac{A_1}{A_3}$$

A Lehr-féle csillapítás az alábbi képlettel számítható:

$$D = \frac{\Lambda}{\sqrt{\Lambda^2 + \pi^2}}$$

A sajátfrekvencia kiméréséhez szükséges lett volna valamilyen függvénnyel közelíteni a diagramokon látható görbéket. A függvény megalkotását, annak időigénye miatt nem végeztem el.

Az impulzusgerjesztéssel vizsgálható jellemzők igen nagy mértékben változhatnak a mérő-összeállítás elemeinek elrendezésétől (már az alkalmazott szerszámgéppel kezdődően), így annak eredményei is csak a jelenlegi állapotra nézve bírnak tényleges jelentőséggel.

### 3.2.3. Gerjesztett rezgés hatása

A prizmás pozicionáló berendezés valós körülmények között tapasztalhatóhoz minél jobban hasonlító mérési környezet felállítása volt az első cél, amelynek megvalósulása után következhetek a fő mérések.

Ezek eredménye mutatja meg, hogy milyen hibákat visz a munkadarab helyzetébe egy alkalmazás során fennálló dinamikus terhelés, milyen nagyságú kompenzáció előállítására kell alkalmasnak lennie a prizmának és satunak.

Problémás lehet a túl nagy elmozdulás figyelembe véve az ülék rugalmas deformációs tartományát és a terhelésnövelésnek is vannak korlátai.

A méréseknél minden esetben szükség van egy bizonyos beállási idő kivárására, mivel a rezgő terhelés nem azonnal fogja kifejteni teljes értékű helyzetváltoztató hatását, hanem fokozatosan a munkadarabot támasztó rendszer terhelésnek megfelelő deformálhatósági határáig. A létrejött helyzethiba megfelelő kompenzációjához ki kell várni a rezgetés hatása által előidézett elmozdulási folyamat befejeződését.

Ezt a jelenséget a későbbiekben hosszabb időintervallummal is vizsgálni kell, figyelembe véve a kúszás jelenségének pozíciótartásra gyakorolt hatását.

Minden mérési ponthoz fel kell jegyezni a következő jellemzőket az egyértelmű összehasonlíthatóság érdekében:

- a beállításhoz satuval előállított terhelőerő
- a gerjesztő rezgés frekvenciája
- a rezgés amplitúdója
- a munkadarab mért elmozdulása
- a kompenzált helyzethez tartozó satus összenyomó erő

Az adatok önmagukban történő vizsgálata és összefüggéseik egyaránt lényegesek a berendezés megvalósíthatóságát és működését tekintve.

Méréseket végül három három frekvencia beállításával a következő módon végeztem:

Három beállított frekvencián mértem először a jel regisztrálásának megkezdése után kapcsolt gerjesztéssel, majd a regisztrálás megkezdése előtt kapcsolttal. Mindegyik mérés meghatározott időintervallumon folyt.

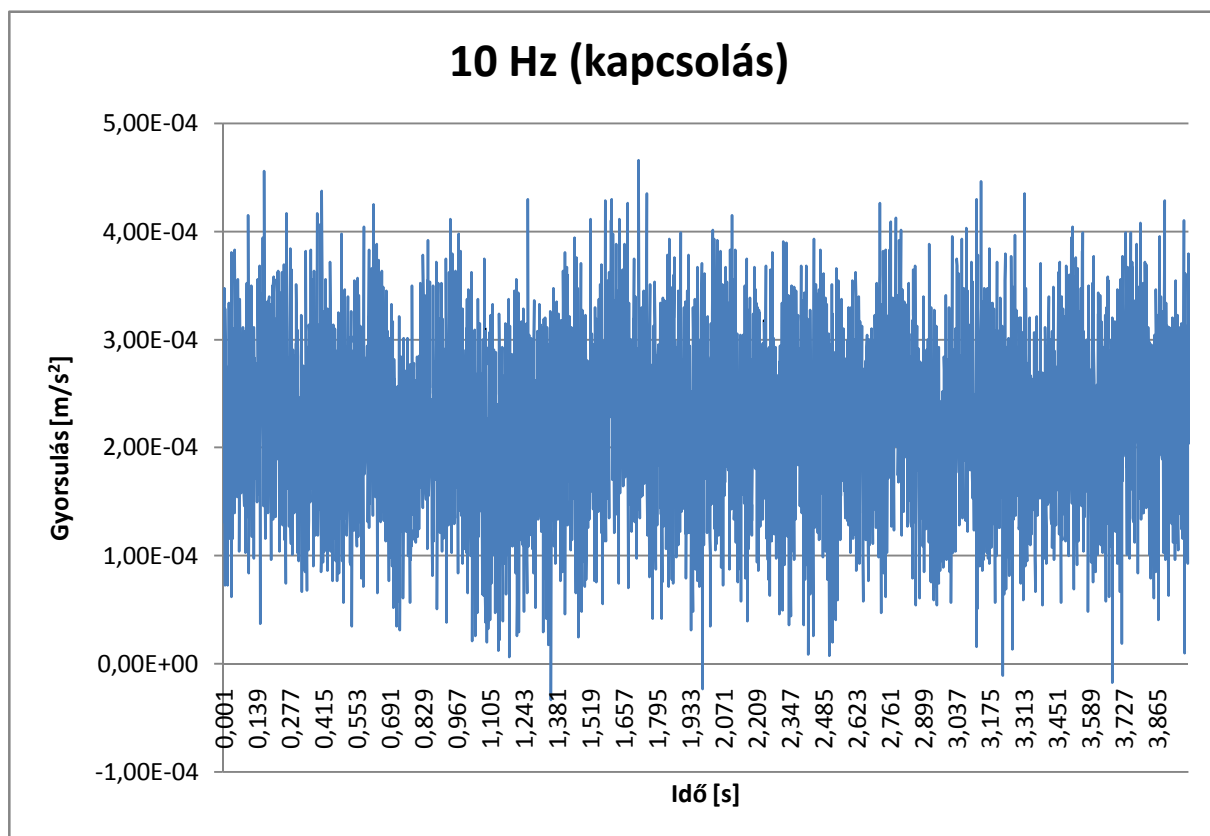
Mint minden mérési folyamatnál, itt is szükség volt a zaj okozta torzítások vizsgálatára. Ezt, illetve a gerjesztett esetben tapasztalható kimenő jelet jól szemléltetnék a regisztrálás közben kapcsolt rezgetést szemléltető diagramok, amennyiben a zaj és a rezgésamplitúdó jelének aránya nem a tapasztaltak szerinti lenne.

A mérés során tapasztalható, rezgés következményeként mérhető amplitúdóértékek a merev keretrendszernek és az rezgető előfeszítése által létrehozott ülékre szorításnak köszönhetően alig voltak megkülönböztethetők a zaj okozta torzult jelektől.

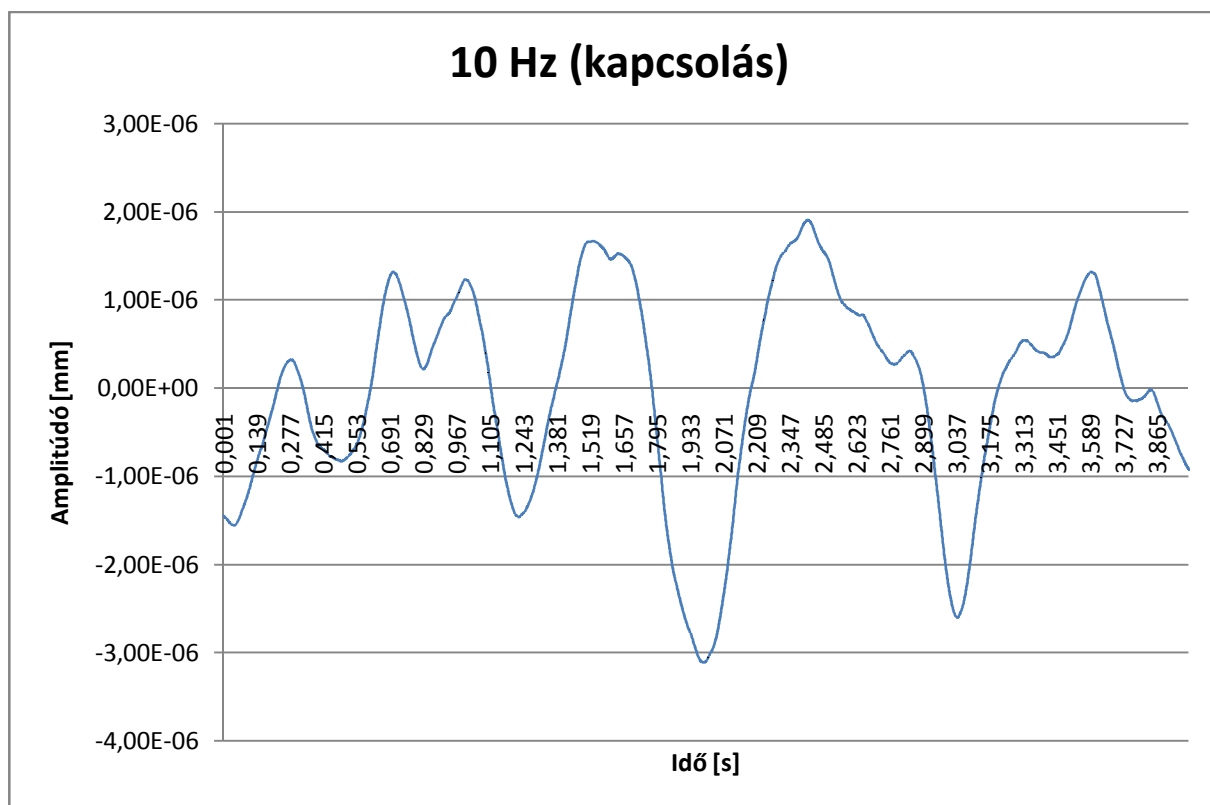
Ez jelentős részben következménye annak is, hogy a szenzor gyorsulás mérésére alkalmas, így szükség volt az analóg bemenő gyorsulásjeleket rezgés tulajdonságait mutató értékekké alakítani.

Gyorsulásból elmozdulást a jel kétszeres integrálásával nyerhetünk (gyorsulás -> sebesség ->út), amelynek méréstechnikai szempontból igen rossz tulajdonsága, hogy a hibák nagyságát az eredmények szempontjából negatívan befolyásolja.

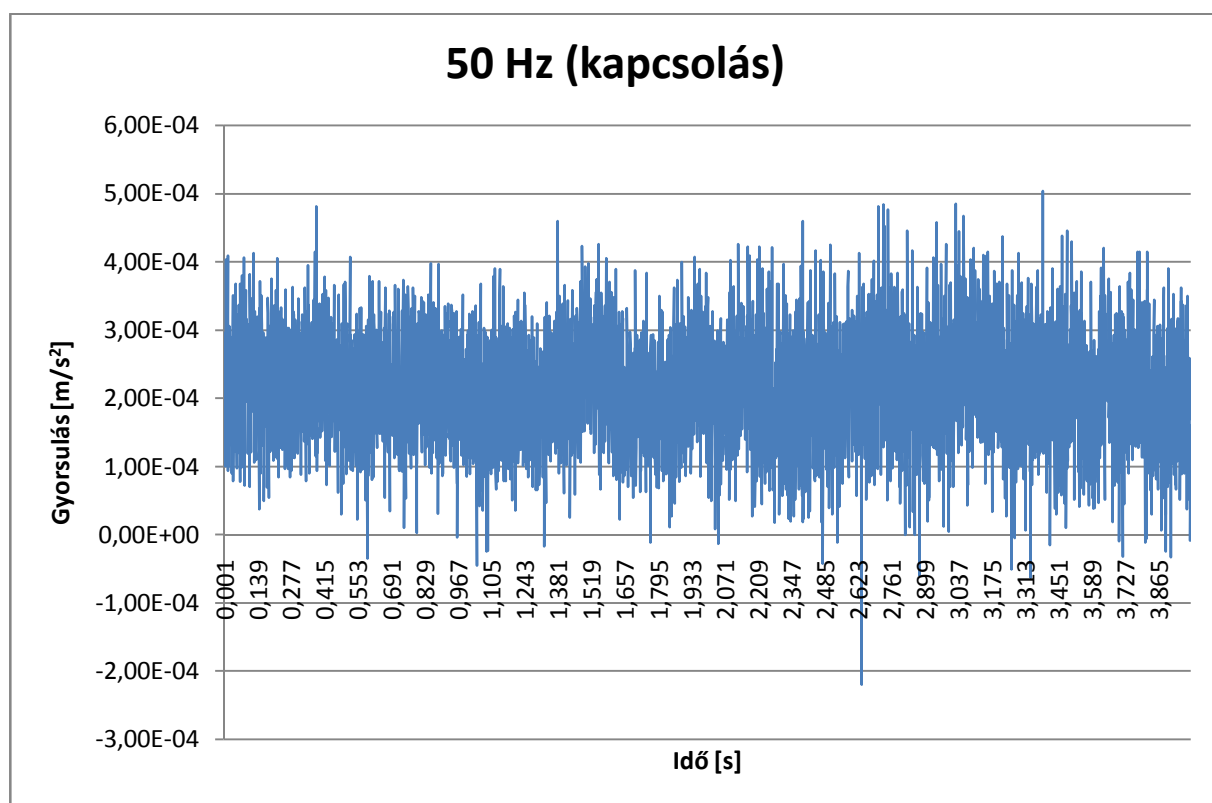
A három vizsgált frekvencia, amelyeket alkalmazva végeztem a regisztrálás megkezdése után kapcsolt terheléses, illetve a kezdő pillanatban már terhelt rendszer vizsgálatát: 10Hz, 50Hz és 100 Hz. Ezek benne vannak egy hagyományos szerszámgépen megmunkálásból származó rezgések frekvenciatartományában. Itt a HSS prizmát használtam a merevség valós értékének minél jobb közelítésére.



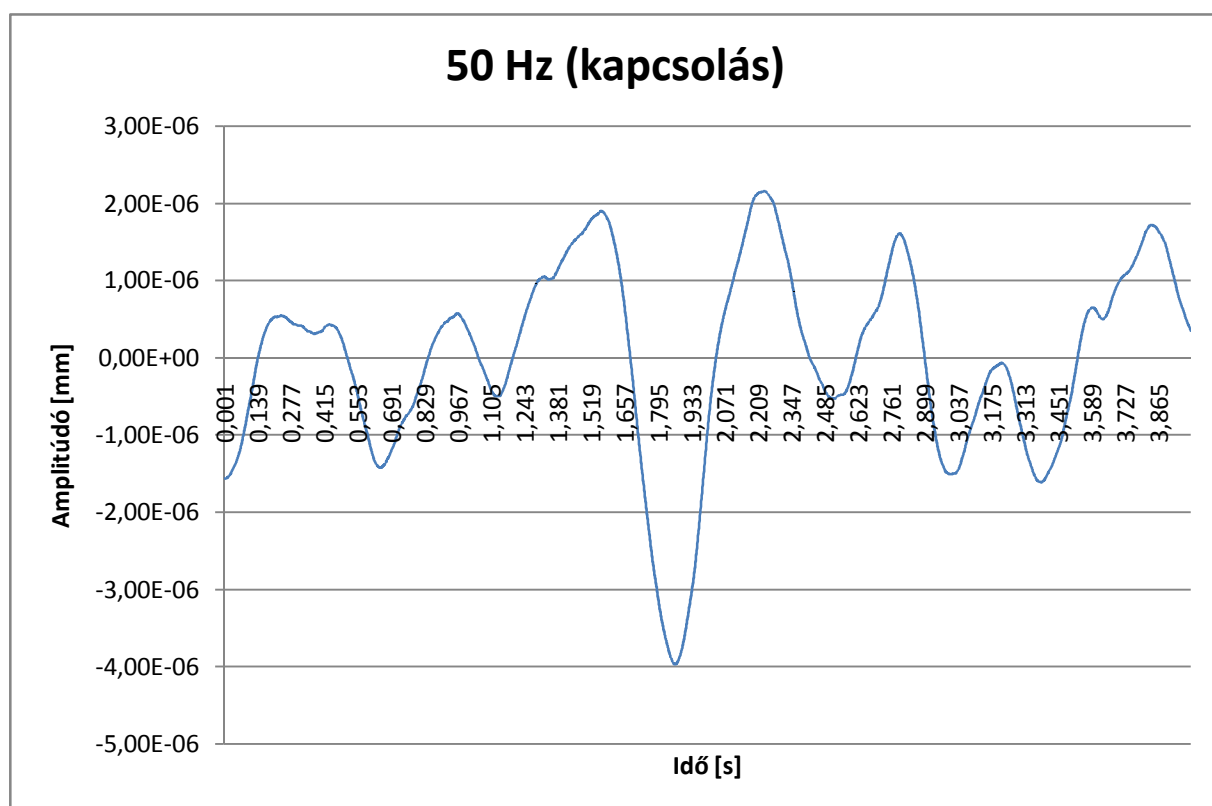
6. diagram 10 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (gyorsulás)



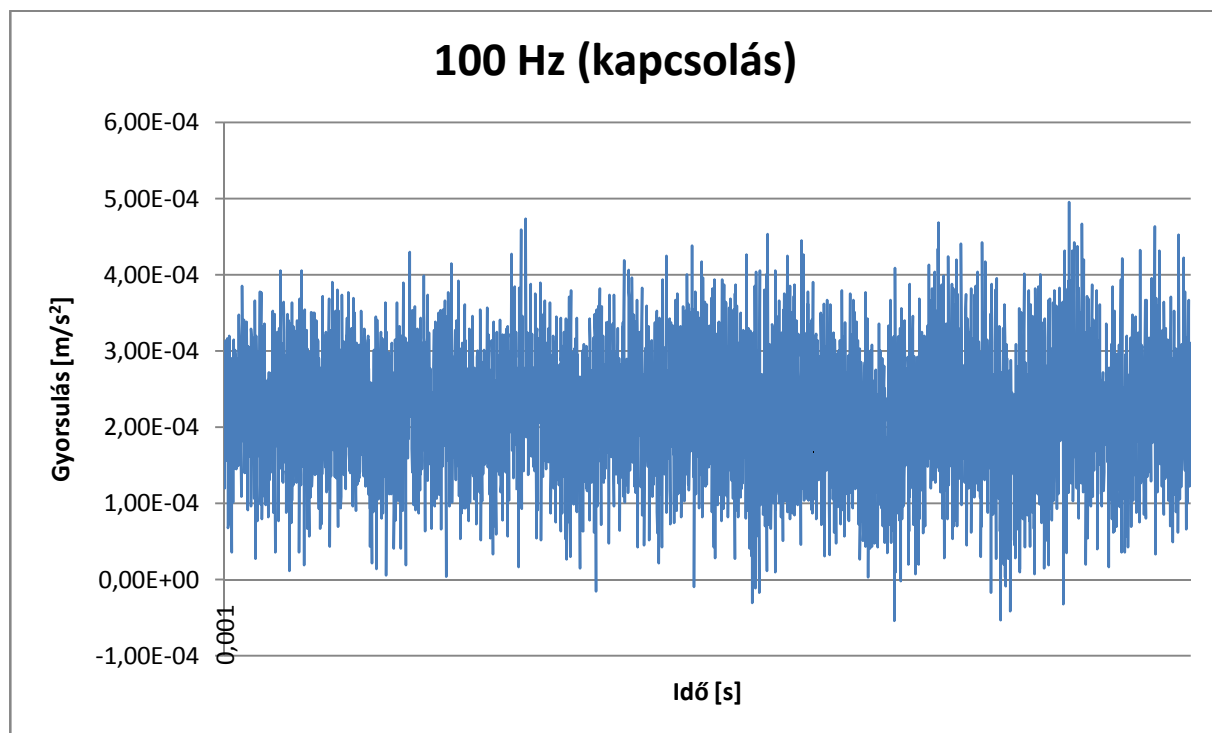
7. diagram 10 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (amplitúdó)



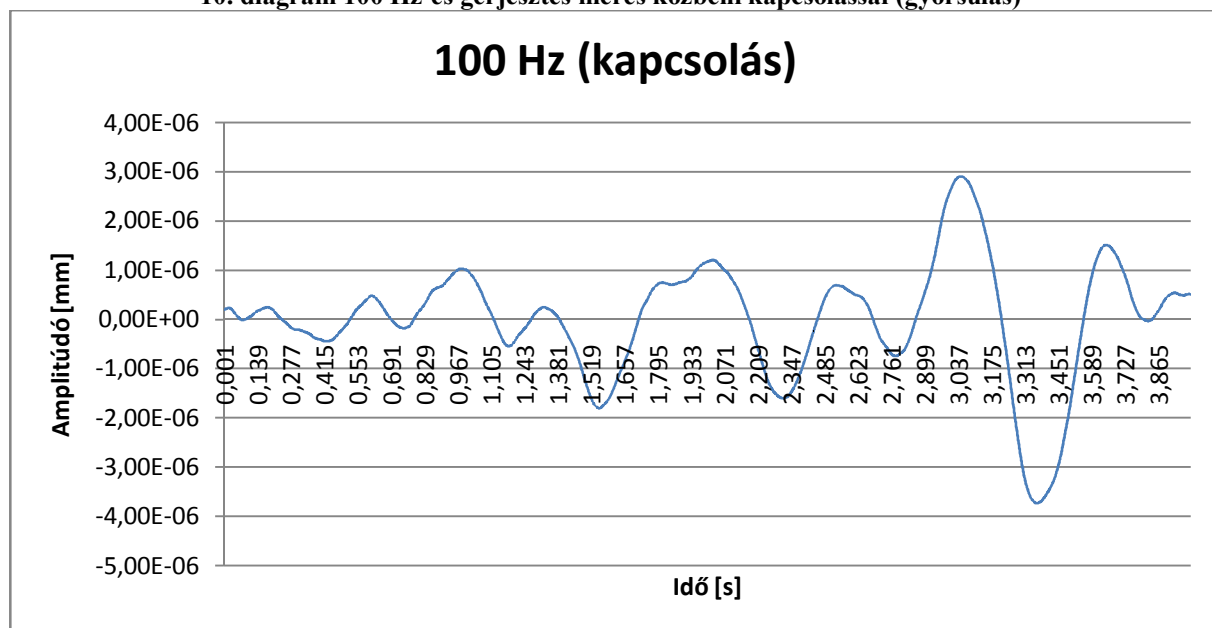
8. diagram 50 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (gyorsulás)



9. diagram 50 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (amplitúdó)



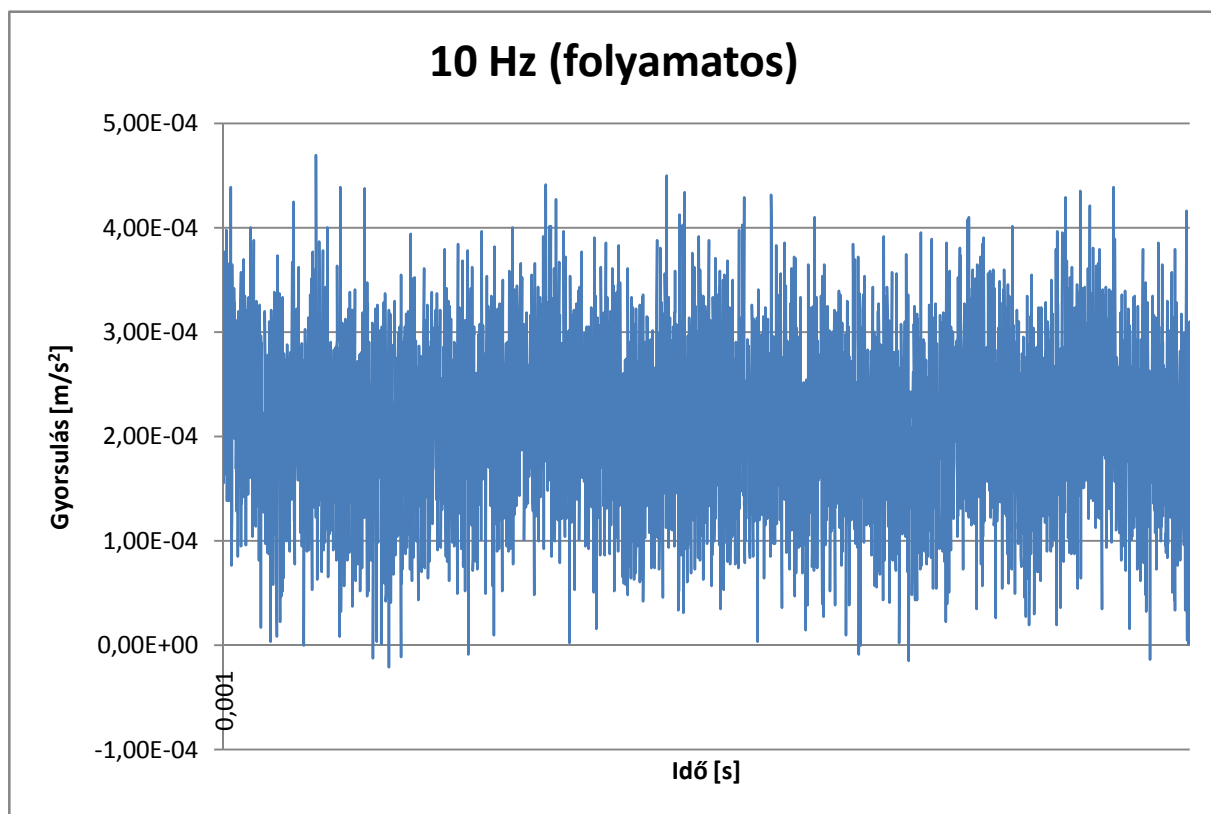
10. diagram 100 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (gyorsulás)



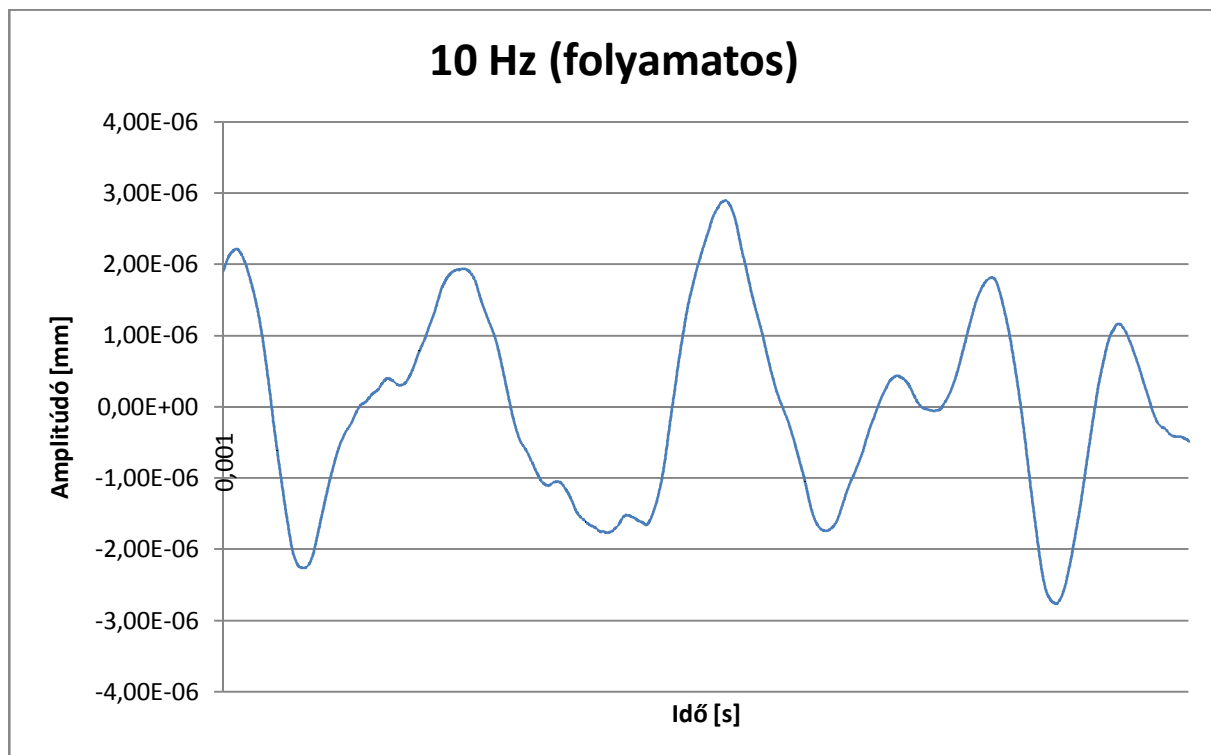
11. diagram 100 Hz-es gerjesztés mérés közbeni kapcsolással (amplitúdó)

A diagramok nem mutatnak kiemelkedő különbségeket a gerjesztés nélküli és a gerjesztett állapotok között, ami egyértelműen mutatja, hogy az adott terhelésnél sem a gyorsulás, sem az amplitúdó nem regisztrálható egyértelműen, a hibától elválasztva.

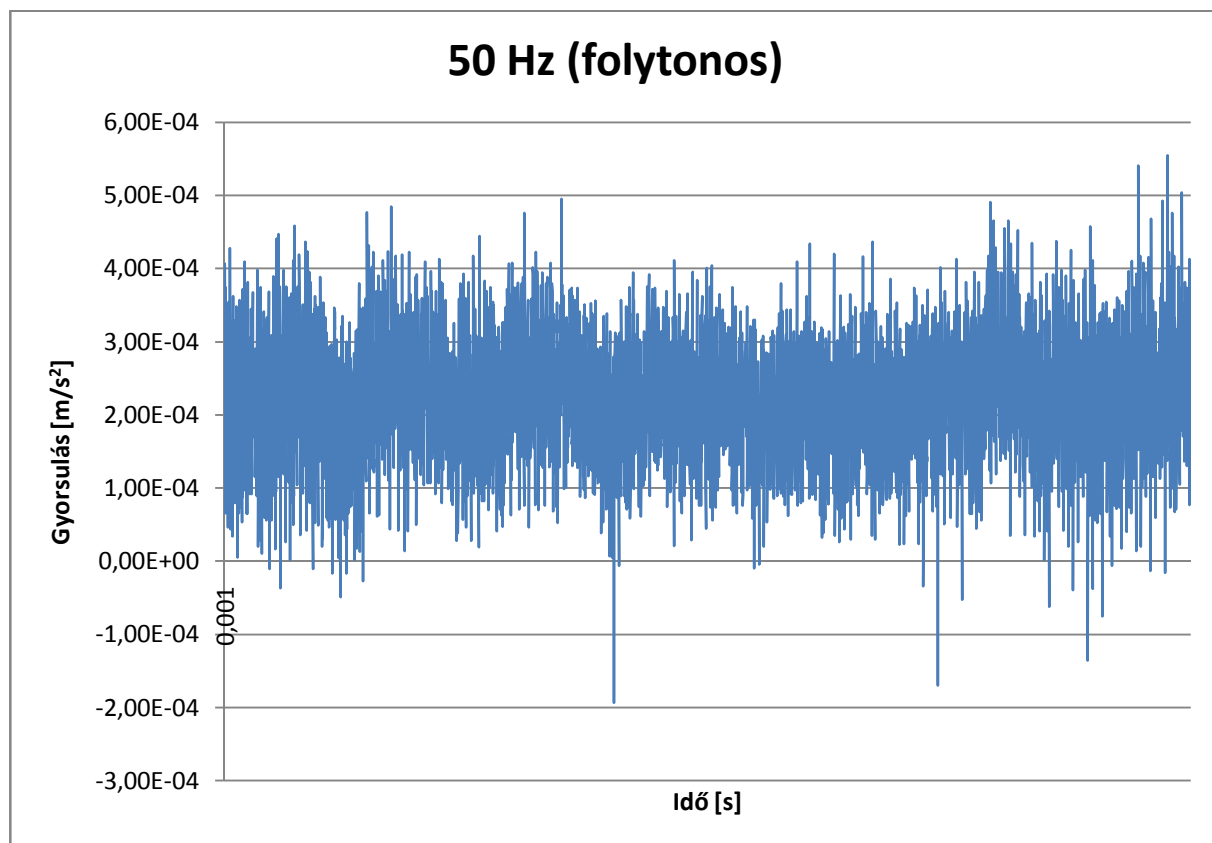
A következő néhány diagram az előbbiekhöz képest annyiban módosult, hogy a gerjesztés fennáll a kezdő időpillanattól.



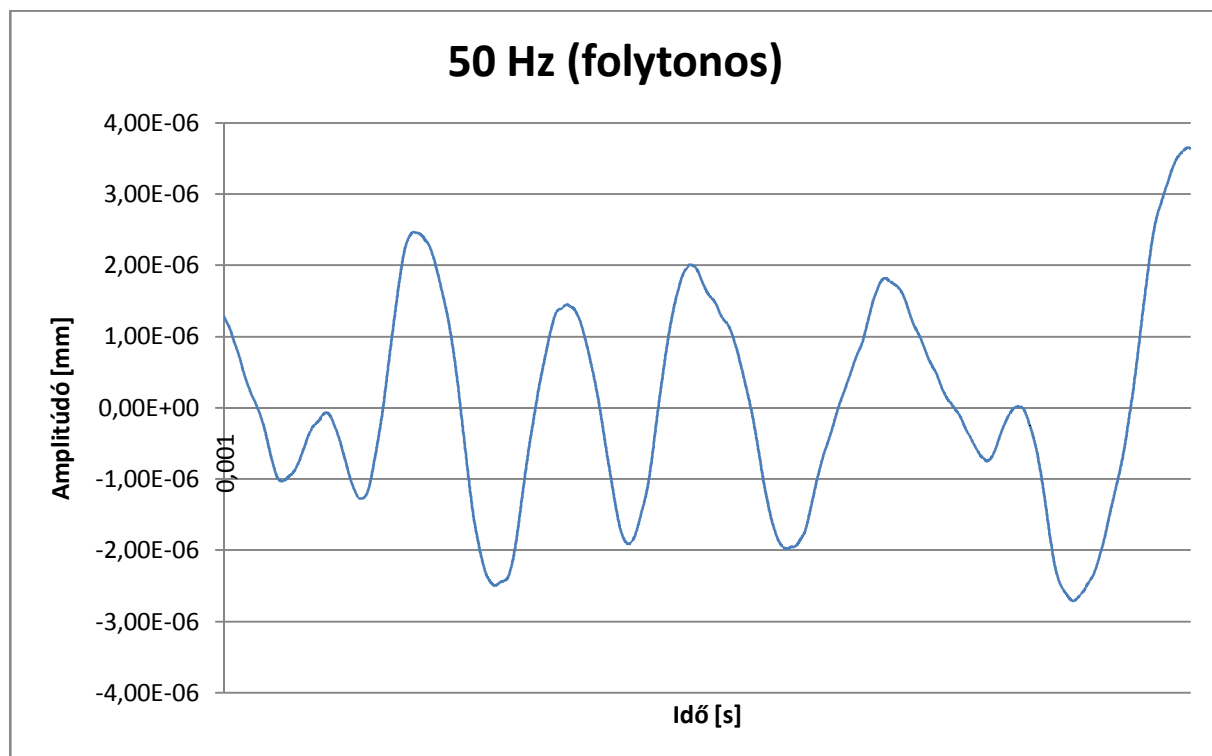
12. diagram 10 Hz-es folyamatos gerjesztés (gyorsulás)



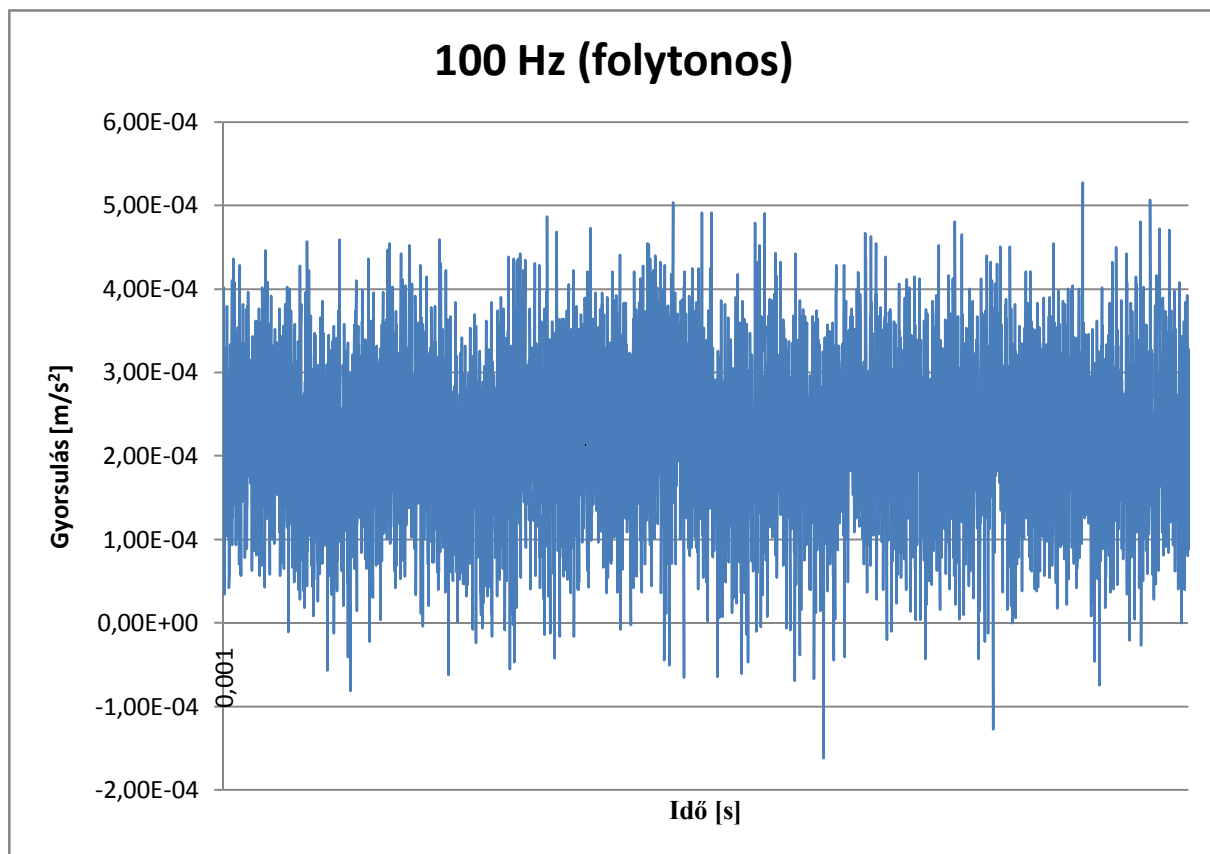
13. diagram 10 Hz-es folyamatos gerjesztés (amplitúdó)



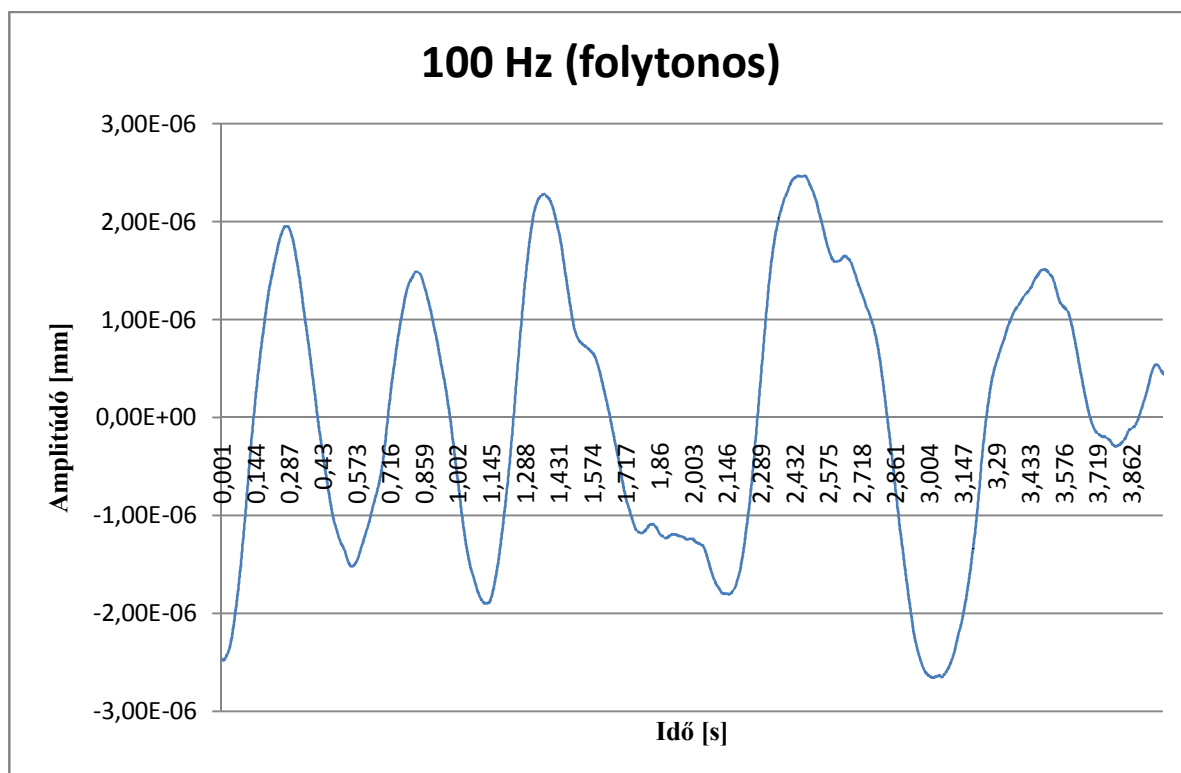
14. diagram 50 Hz-es folyamatos gerjesztés (gyorsulás)



15. diagram 50 Hz-es folyamatos gerjesztés (amplitúdó)



16. diagram 100 Hz-es folyamatos gerjesztés (gyorsulás)



17. diagram 100 Hz-es folyamatos gerjesztés (amplitúdó)

A diagramok legfontosabb tanulsága, hogy a rendszer olyan rezgéscsillapító hatással bír, amely a dinamikus terhelést olyan mértékben befolyásolja, hogy az általa generált jelet egy szintre helyezi a környezet zavarásából származó jellel.

Ilyen szempontból elsődleges feladattá lépett elő egy olyan szűrő előállítása, amely hatékonyan választja el a szenzor kimenő jelét a mérési összeállítás elemeiben és a bővebb értelemben vett környezetben tapasztalható zavarásoktól lehetőség szerint azokat zérushoz tartó értékre redukálva.

A végső célt figyelembe véve ugyanakkor ez kevésbé lényeges feladat. Jól látható az impulzusterhelést vizsgálva, hogy a sajátfrekvencia vagy csillapítás számításához a mérési eredmények használhatóan rendelkezésre állnak.

A jelenleg használt elmozdulásmérő eszközök által nem lehetett elmozdulást regisztrálni normál gerjesztés esetén. A teljesítményerősítő olyan beállításainál volt tapasztalható számottevő elmozdulás, ahol a gerjesztő hibásan működő szerszámgépek keltette rezgésekhez hasonló igénybevételt generált (az összeállítástól körülbelül három méterre is érezhető volt a rezgés nagyobb frekvenciatartományon, tehát nem sajátfrekvencia okozta).

A prizmás pozicionálás végső rendeltetése az előzetes vizsgálatok alapján is a mikronos, mikron alatti tartományokban történő helyzet-meghatározást igénylő folyamatok során történő alkalmazás, ahol minden valószínűség szerint „nem kerül szembe” a fentebb vizsgált nagyságú igénybevételekkel. Ennek ellenére érdemes lesz egy optikai elvű (jelenleginél jobb felbontással rendelkező) elmozdulás-mérési sorozat lefolytatása ellenőrzésre alkalmas adatok szerzése céljából.

#### 4. Összegzés

A rezgésnek, mint a folyamatok zavaró tényezőjének vizsgálata, megismerése, lehetőségek szerinti megszüntetése egyre komolyabb hangsúlyt kap napjainkban más területek mellett a megmunkáláshoz kapcsolódóan is.

A fentebb ismertetett munka eredménye egy olyan, komplex mérési összeállítás kialakítása lett, amely alkalmas egy új kísérleti státuszban lévő finompozicionáló berendezés vizsgálatára a valódi körülmények modell szintű megvalósulása mellett. Az mérési regisztrátumok világosan mutatják, hogy a jelenlegi szerkezet már merevségével képes számottevően kompenzálni viszonylag rövid távon a dinamikus igénybevételből származó pontatlanságot. Sem az század, sem az ezredmilliméteres felbontással rendelkező mérőórákon nem jelentkezett észlelhető elmozdulás.

A közeljövőben a létrehozott mérési összeállítás teljes értékű használata során elérni kívánt eredmények a berendezés egy vagy több sajátfrekvenciájának megállapítása a valós körülményekre vonatkoztatott alkalmazhatóság megállapítására. Szintén a következő időszakban elvégzendő feladat lesz a különböző jellemzőkkel (elsősorban frekvencia, amplitúdó) bíró rezgések okozta pozícióhibák mérése és azok kompenzációja lehetőségeinek vizsgálata.

Szükség lesz a statikus terhelés okozta elmozdulások minőségi és mennyiségi jellemzőinek megállapítására, ugyanis itt megoldástól függően több irányból és változó intenzitással érheti terhelés a munkadarabot.

Távlati cél a pozicionáló berendezés teljes kidolgozása, mely magában foglalja a prizmageometria optimalizálását a feladathoz kapcsolódó igényeknek (merevség-rugalmasság) megfelelően, a leszorítás megoldását (teljes helyzet-meghatározás), egy jól szabályozható szorítóerő létrehozására alkalmas berendezés (hidraulikus satu) és jó felbontású automatizáláshoz alkalmas elmozdulásmérő (optikai elvű, lézeres) illesztését a környezetbe.

Nem az eszközállomány tulajdonságainak javítása oldaláról, hanem inkább elvi elgondolást tekintve adhat okot aggodalomra az oldalirányú szorítás egy mozgó pofával rendelkező satuval történő előállítás. Precíziós megoldás esetén nem engedhető meg az esetleg így előforduló oldalirányú helyzethiba. Ennek vizsgálata szintén későbbi mérések tárgya.

A prizmás pozicionálás megvalósítását tekintve felmerülhet a kérdés, hogy miért a prizma deformációját kell kihasználni a munkadarab helyzet-változtatásához és miért nem egy olyan eszközt vizsgáltam, ahol mintegy kettéválasztva a prizmát annak két támasztósíkját

valamilyen precíziós aktuátorral az asztal síkjában közelítve vagy távolítva lehet megoldani ugyanezt a feladatot. Egyrészt berendezés létrehozása során az elsődleges szempontok között volt az alacsony költség, amit a lehetőleg minél általánosabban alkalmazott vagy szabványos elemekből történő felépítésnek kellett szavatolnia, másrészt az aktuátort alkalmazó megoldás sem lenne mentes bizonyos fokú deformációtól, így logikusnak tűnhet az aktuátor kihagyása és az amúgy is fennálló deformáció kihasználása helyzet-meghatározás céljából.

Létrehozható lenne vezeték nélküli technológiát használó eszközökkel távolsági adatgyűjtésen és –szolgáltatáson alapuló automatizálás is.

Végeredményben létrejöhet egy automatizált, nagy pontosságú, jól beállítható pozicionáló készülék, amely köszönhetően viszonylagos (ld. egyéb eszközök a bevezetőben) egyszerűségének és kisebb költségigényének (nem tartalmaz speciális alkatrészt vagy nehezen beszerezhető, gyártható elemeket) jó alternatívája lehet a többi ilyen célú eszköznek. Mindemellett felhasználható lenne távolról irányított szerszámgépeken is.

## 5. Irodalomjegyzék

- [1] Martin L. Culpepper, Gordon Anderson and Patrick Petri: Hexflex: A planar mechanism for six-axis manipulation and alignment, 2008. június
- [2] Nicholas G. Dagalakis, Edward Amatucci: Kinematic Modeling of a 6 Degree of Freedom Tri-Stage Micro-Positioner, 2001. november 10.,  
  
International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 (1999) 823–837
- [4] V. Portman, B.Z. Sandler: High-stiffness precision actuator for small displacements, 1998. február 09.,  
  
Precision Engineering 29 (2005) 411–422
- [6] Yung-Tien Liu, Rong-Fong Fung, Chun-Chao Wang: Precision position control using combined piezo-VCM actuators, 2004. december 3.  
  
<http://www.equipsolutions.com/products/vcs-1010-voice-coil-stage.html>
- [7] Letöltés dátuma: 2010. december 4.
- [8] Boros A. Dr.: Villamos mérések a gépészetben  
Műszaki könyvkiadó, 1978

## Melléklet

### 1. sz. melléklet

A diagramok elkészítéséhez a fel és leterhelési sorozatok során tapasztalt elmozdulás-értékek átlagát használtam fel (prizmánként három-három sorozat). A mérési pontokat összekötő görbe jellege a várakozások szerint jó közelítéssel lineáris lesz.

Három-három fel és leterhelési sorozatból megkapott elmozdulások átlagos értékét mutatják. A minimális és maximális elmozdulások átlagához viszonyított értékei hibasávokkal jól szemléltethetők.

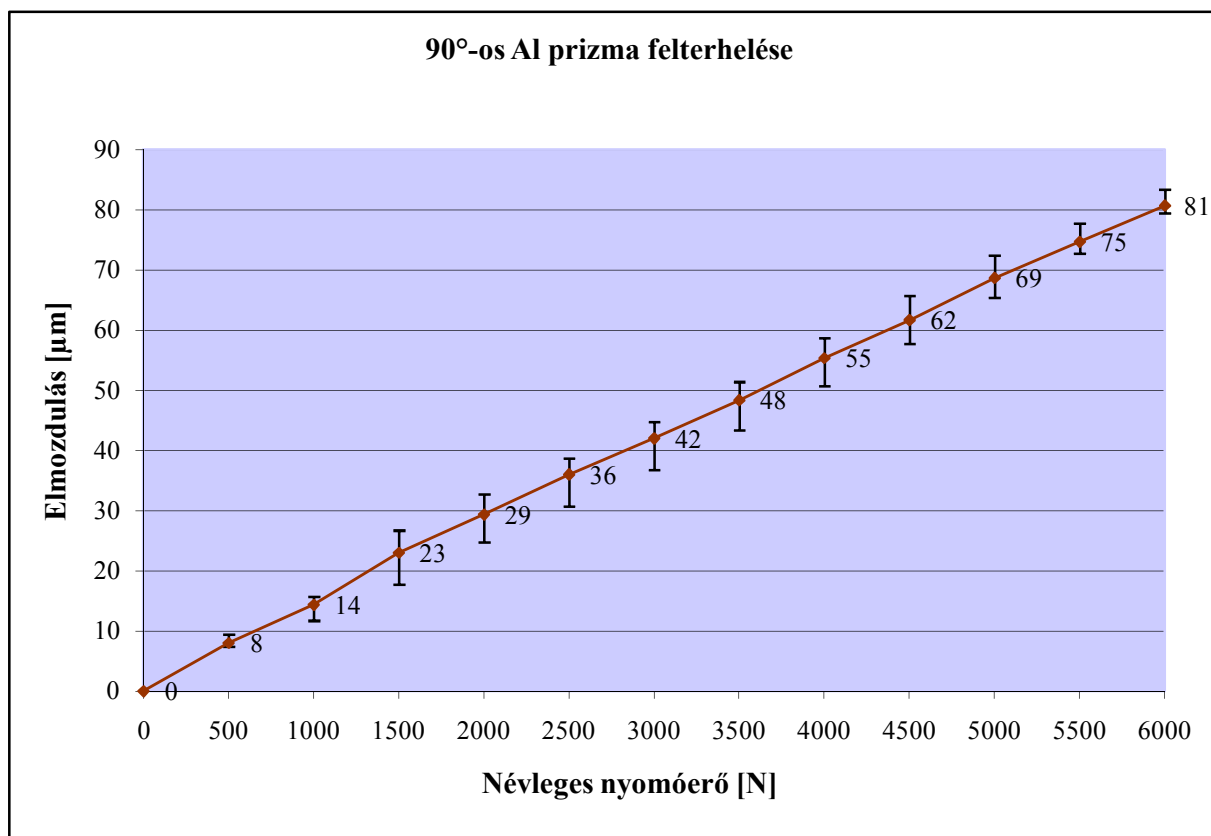
A diagramokon az erőket a névleges beállítási értékekkel jellemeztem, ez jobban közelíti a valós összefüggést a két mennyiség között, mintha az erők átlagát szerepeltettem volna.

A 120°-os nagyobb méretű alumínium prizma diagramján látható, hogy a kisebb terhelésekkel jellemezhető tartományban a hiszterézis befolyásolta ugyan a mérési eredményeket, de általánosságban nem volt forrása jelentős hibáknak.

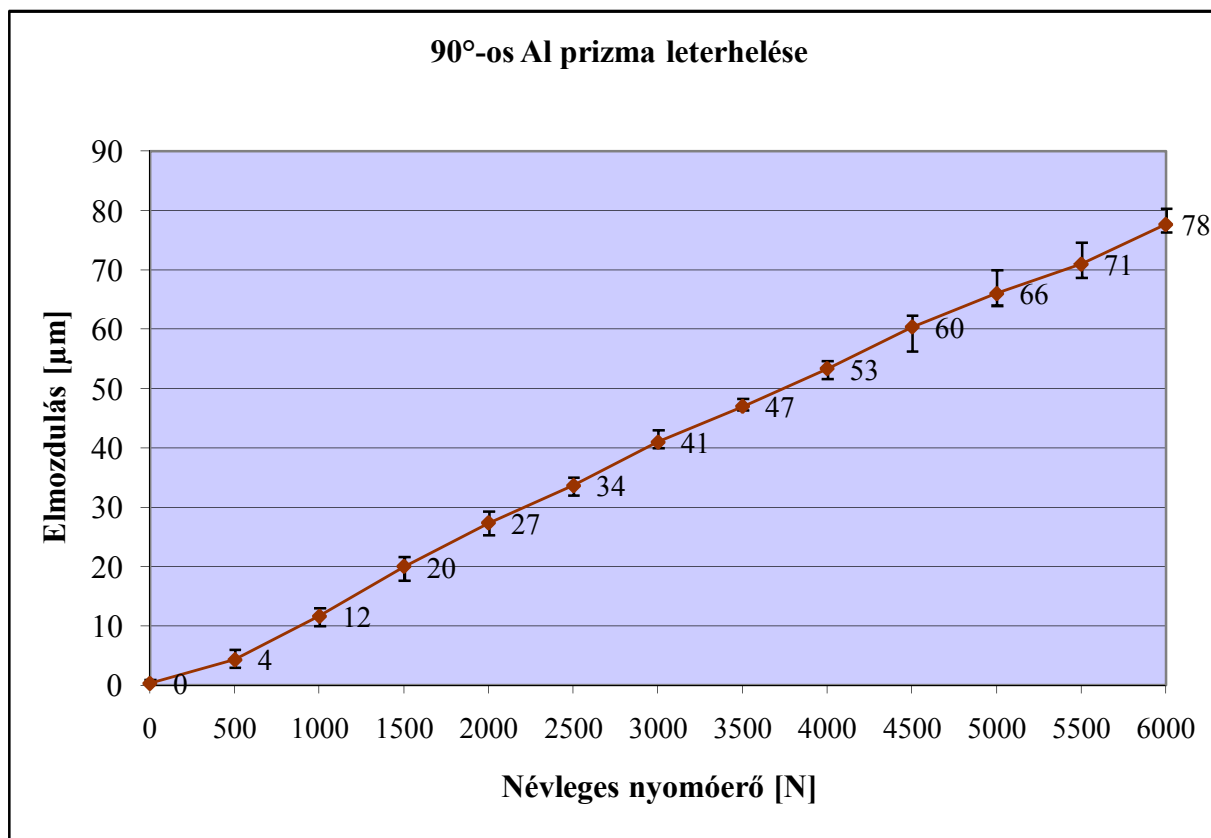
Ez a szemléltetési mód jól megfigyelhetővé teszi az egyes prizmák pozicionálásra különösen alkalmas erőtartományainak felmérésére. A kisebb nyílásszögű (90°) prizmák jobb linearitást mutatnak alacsonyabb erőtartományokban, míg például a 120°-os nagyobb méretű prizmáknak itt van nagyobb, valószínűleg az előbbieken említett okból fakadó bizonytalansága.

Mindkét anyag esetén volt olyan próbaülék, amelynél a mért értékek alig tértek el az átlagtól. A magas ismétlési pontosság szintén a jó beállíthatóság ismérve, akárcsak az erő és elmozdulás közötti lineáris összefüggés.

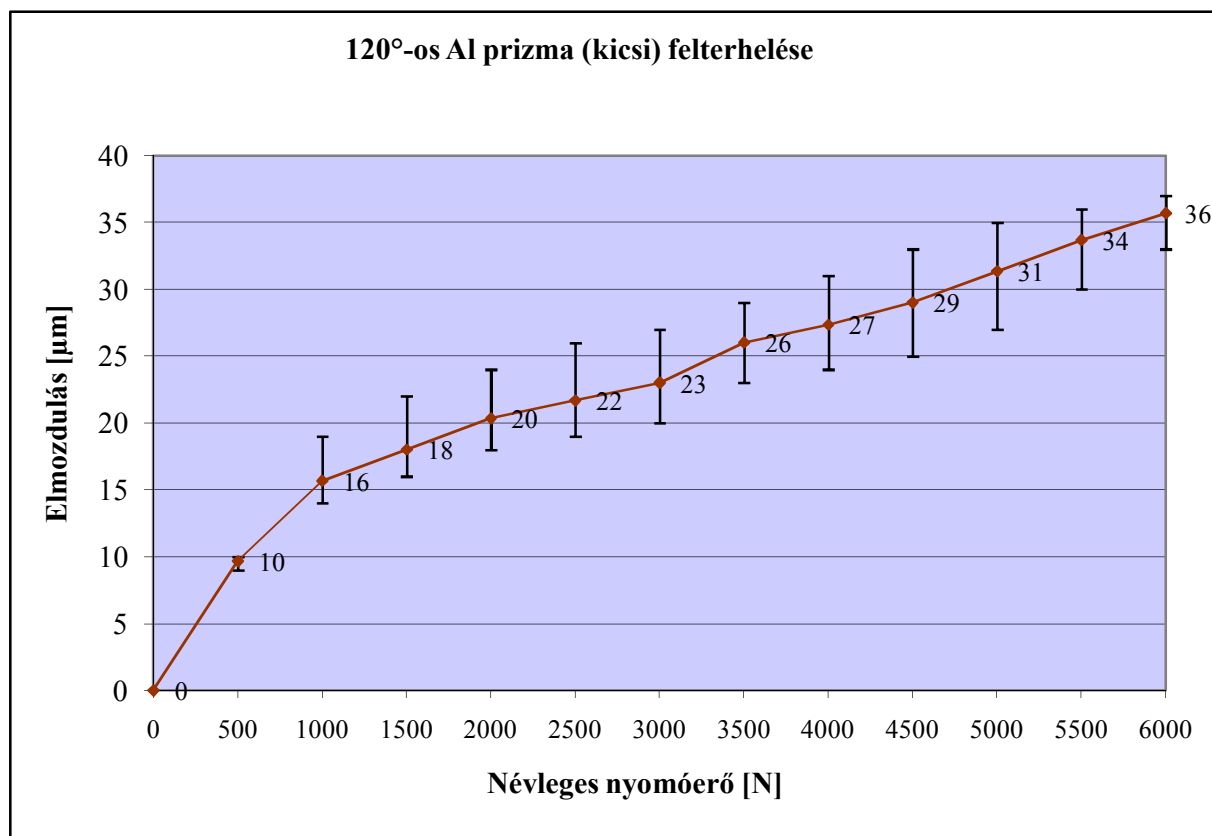
Amennyiben a terhelés beállítása nem kézi úton (ami 15 kN-nál már viszonylag körülményes volt), hanem valamilyen jól szabályozható berendezéssel, például pneumatikus vagy hidraulikus satuval történt volna, valószínűleg a néhány szembetűnő, a diagramokra való első ránézésre felállítható törvényszerűségeknek ellentmondó eredmény (120°-os kisebb alumínium prizma nulla terhelésnél vagy a 90°-os gyorsacél készülék 9500 N-nál) sem született volna meg. Ezért is feladat a jövőre nézve egy ilyen szabályozható terheléselőállító elem alkalmazása.



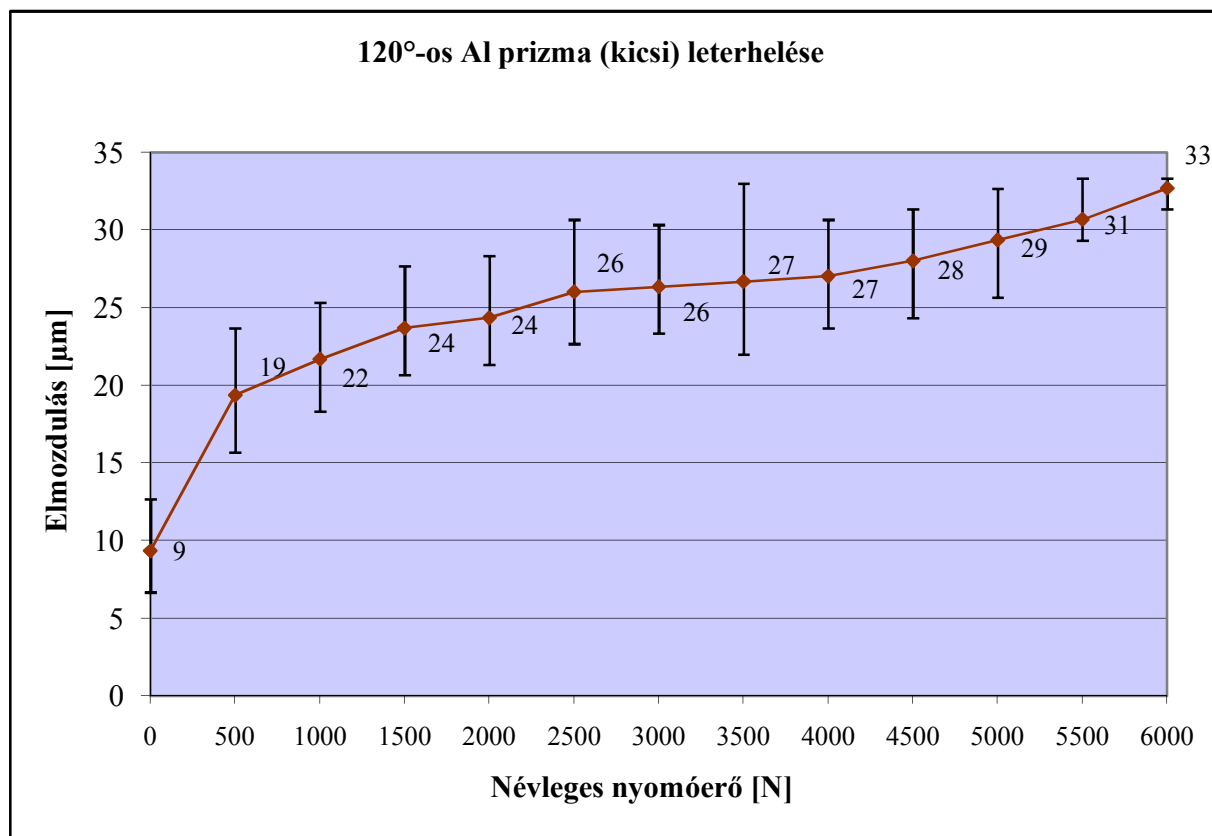
12. ábra 90°-os alumínium ötvözet prizma felterhelési diagramja



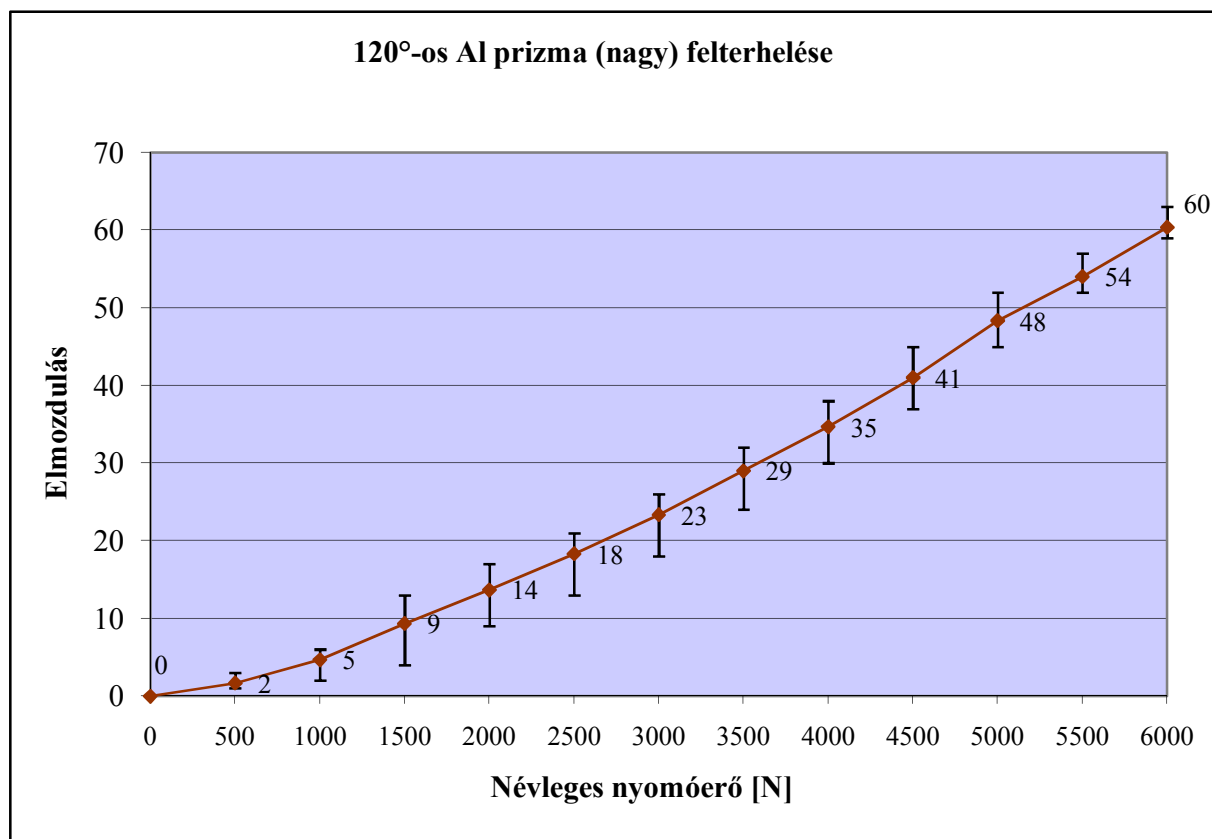
13. ábra 90°-os alumínium ötvözet prizma leterhelési diagramja



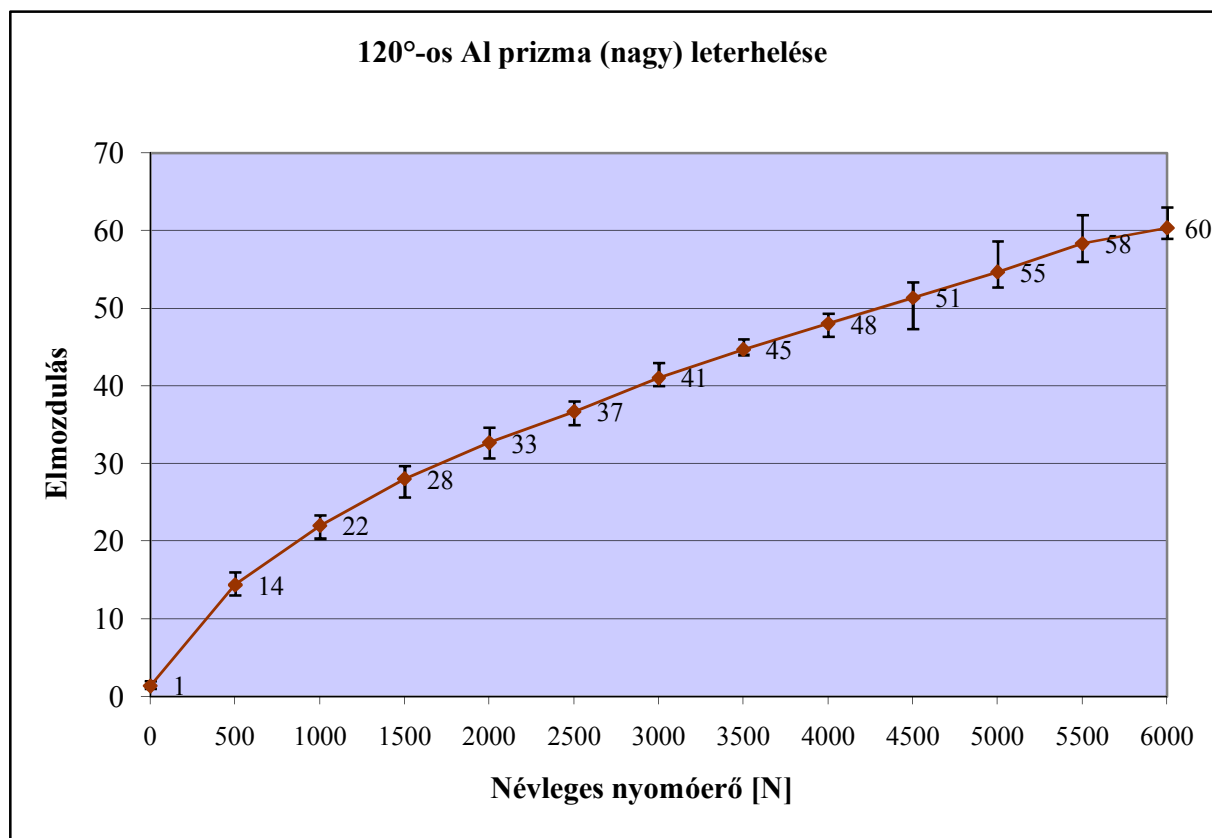
14. ábra 120°-os alumínium ötvözet prizma felterhelési diagramja



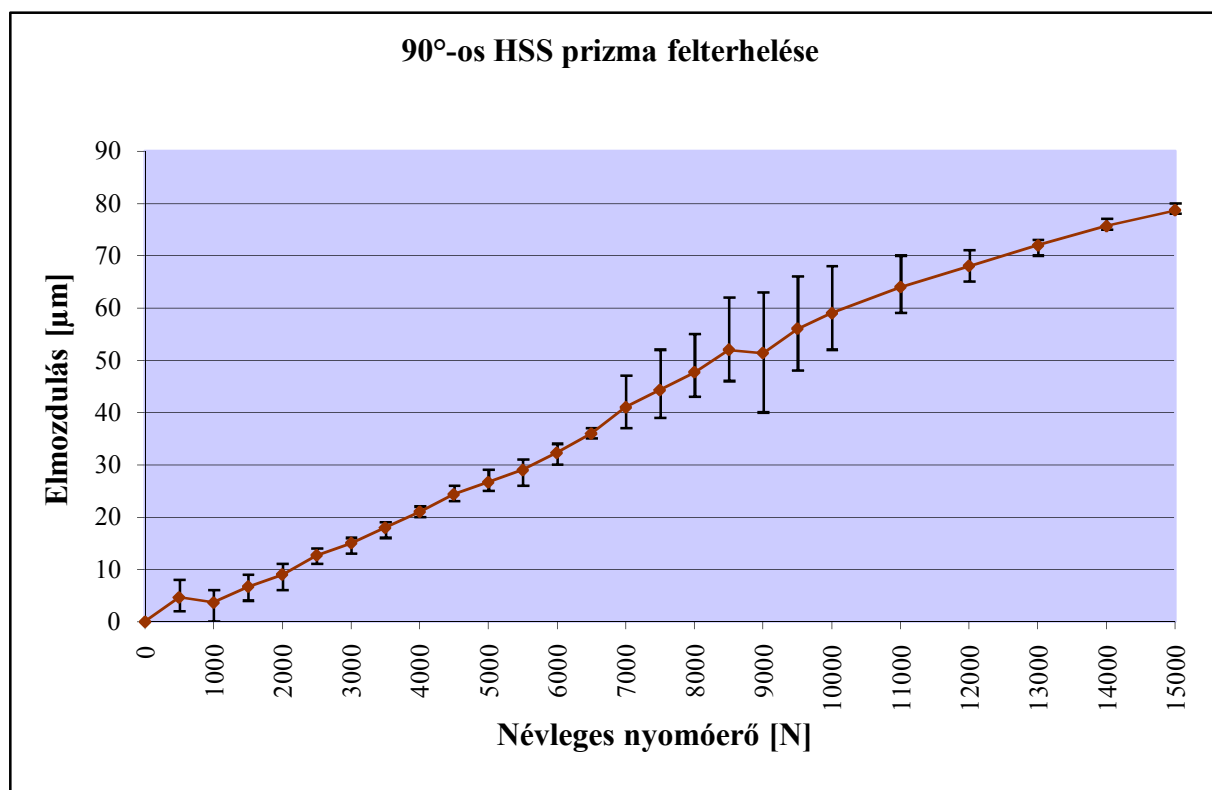
15. ábra 120°-os alumínium ötvözet prizma leterhelési diagramja



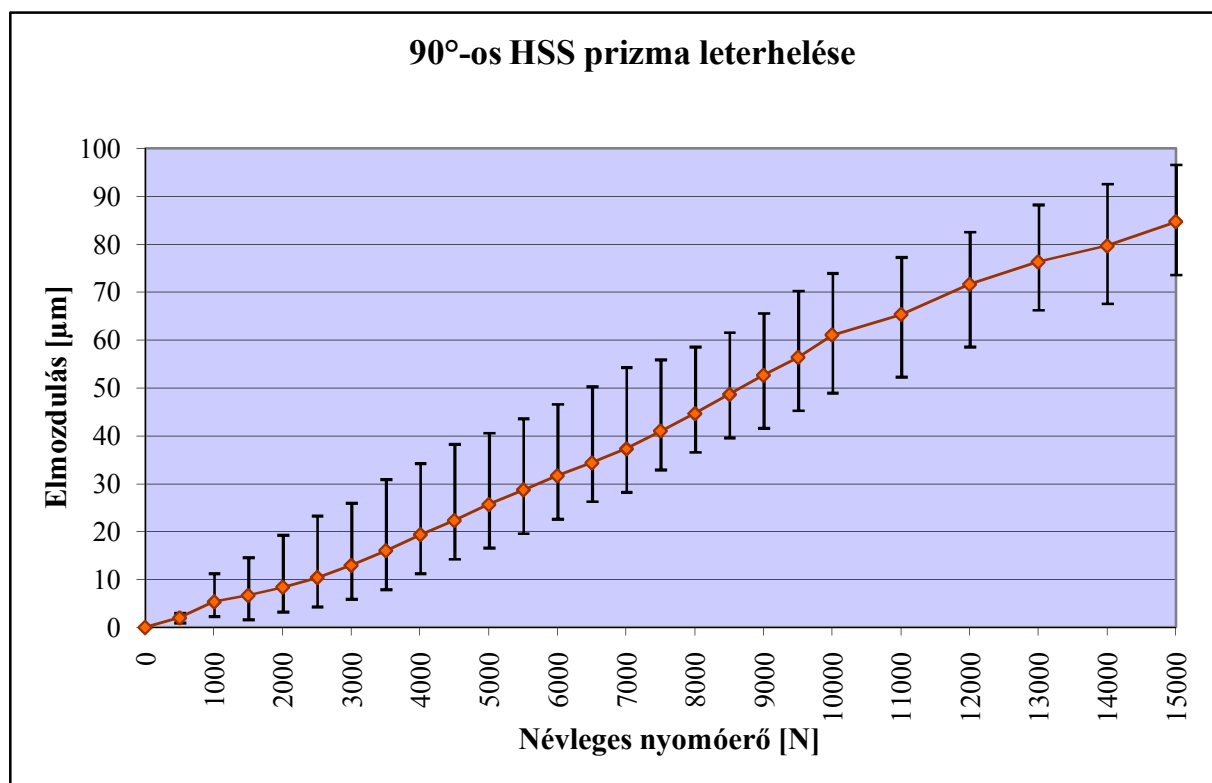
16. ábra 120°-os nagyobb alumínium ötvözet prizma felterhelési diagramja



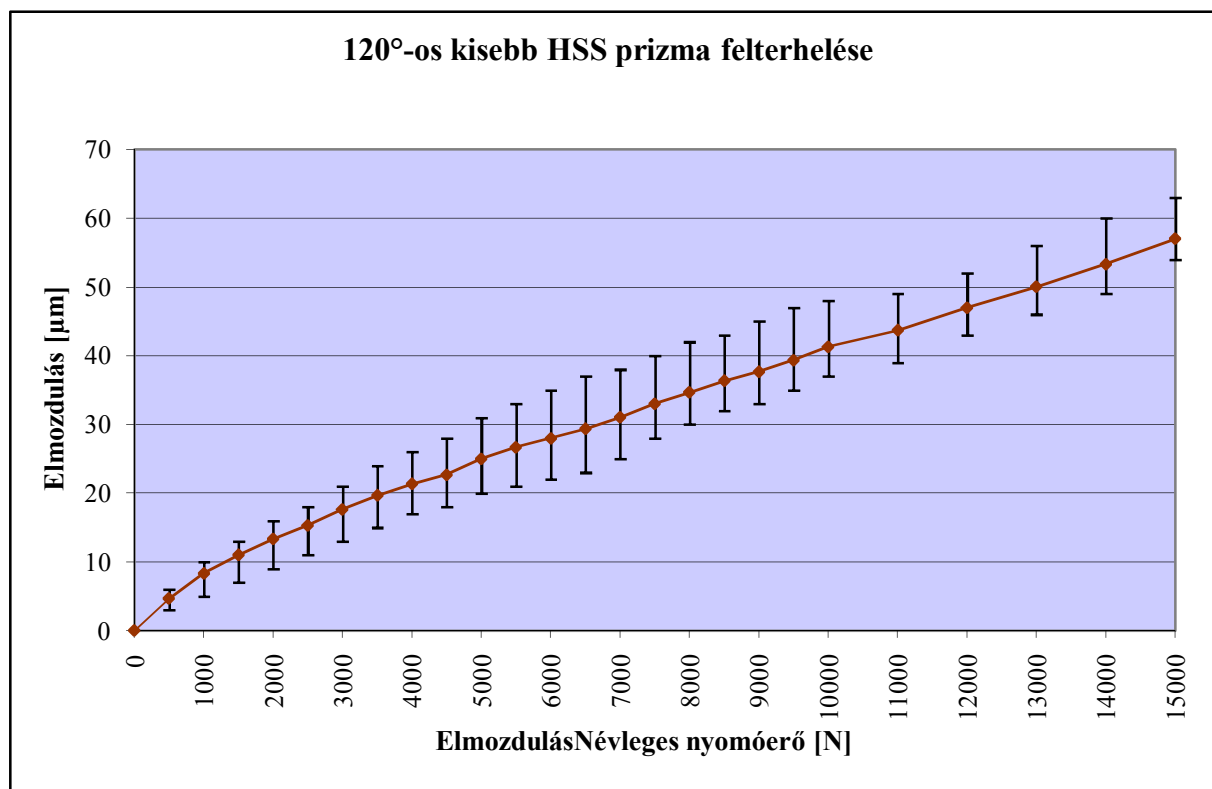
17. ábra 120°-os nagyobb alumínium ötvözet prizma leterhelési diagramja



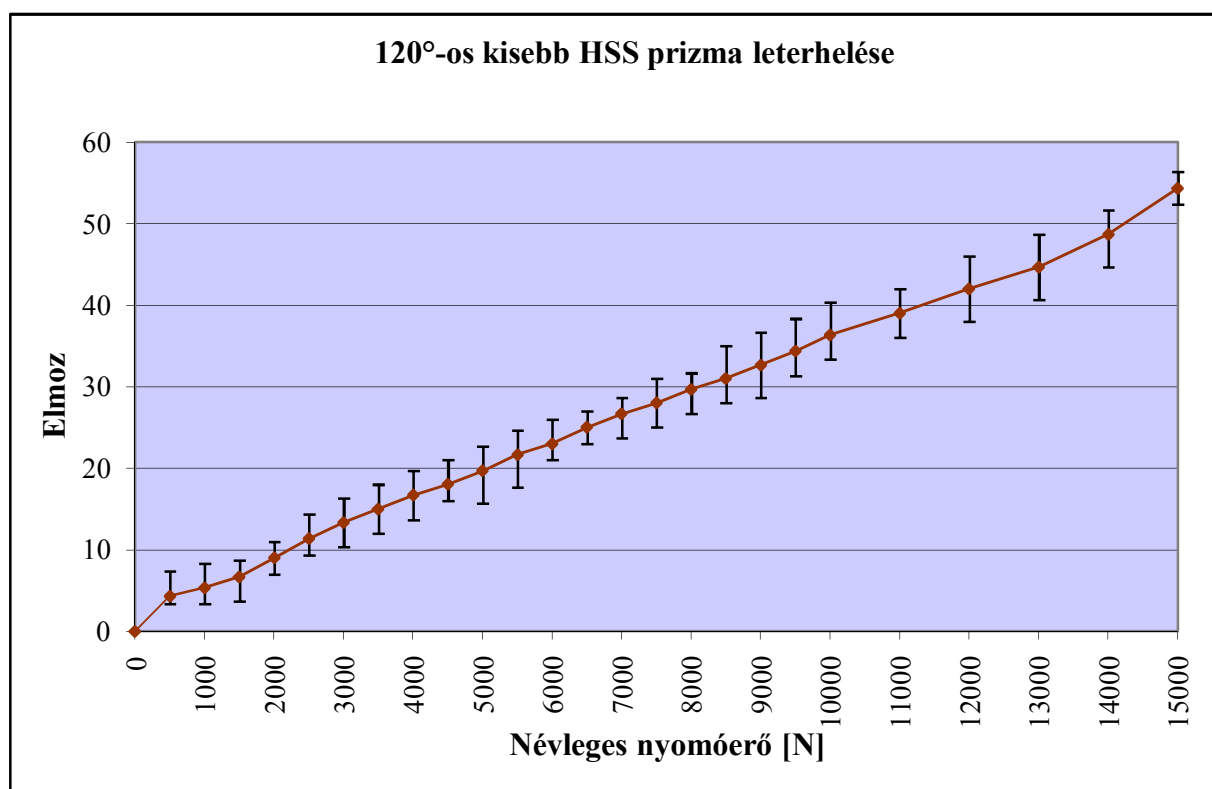
18. ábra 90°-os gyorsacél prizma felterhelési diagramja



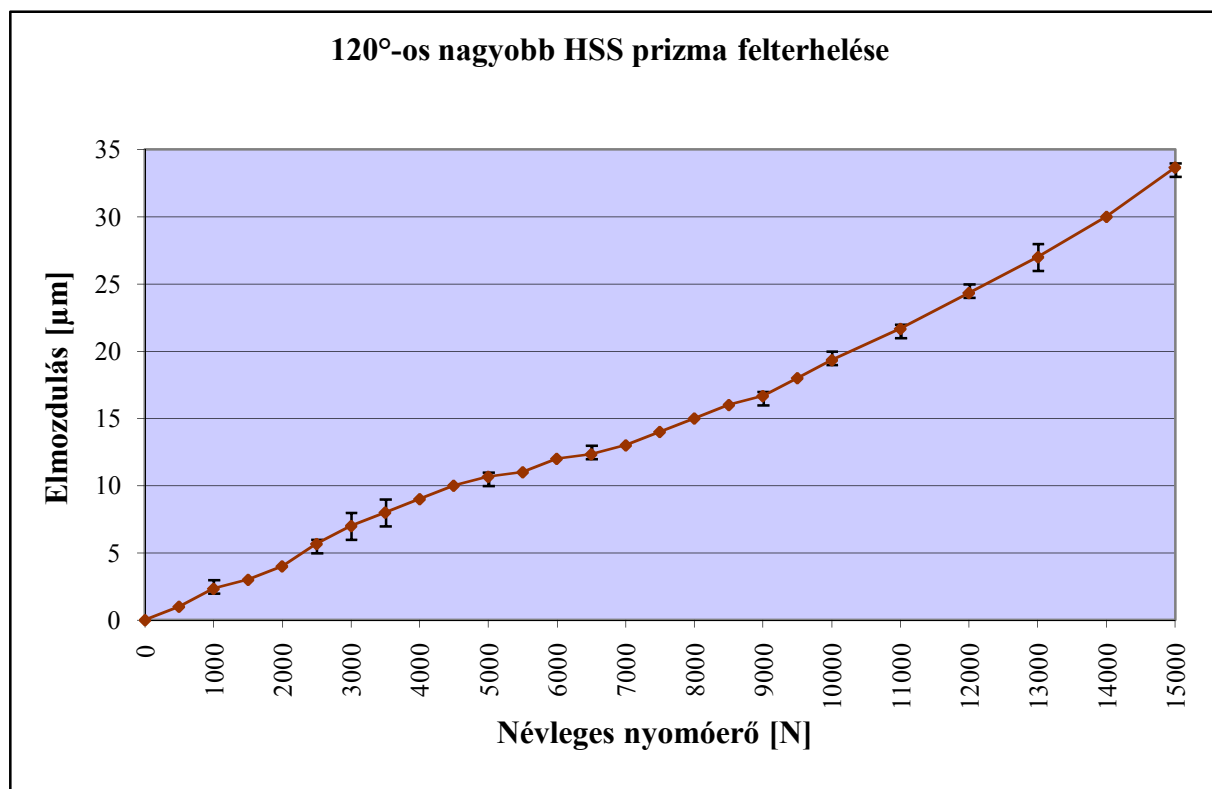
19. ábra 90°-os gyorsacél prizma leterhelési diagramja



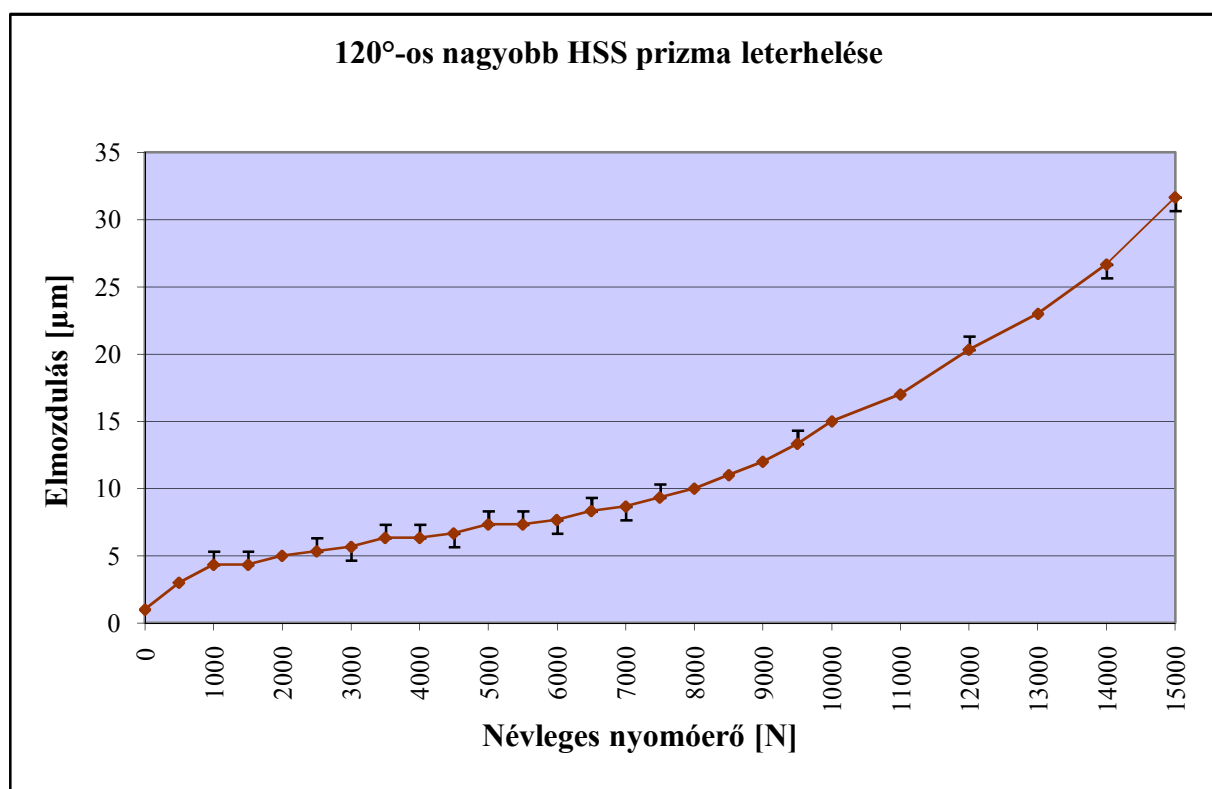
20. ábra 120°-os gyorsacél prizma felterhelési diagramja



21. ábra 120°-os gyorsacél prizma leterhelési diagramja



22. ábra 120°-os nagyobb gyorsacél prizma felterhelési diagramja



23. ábra 120°-os nagyobb gyorsacél prizma leterhelési diagramja

## 2. sz. melléklet

A régebbi mérőösszeállításban is szereplő műszerek adatai:

Kistler piezoelektromos erőmérő szenzor:

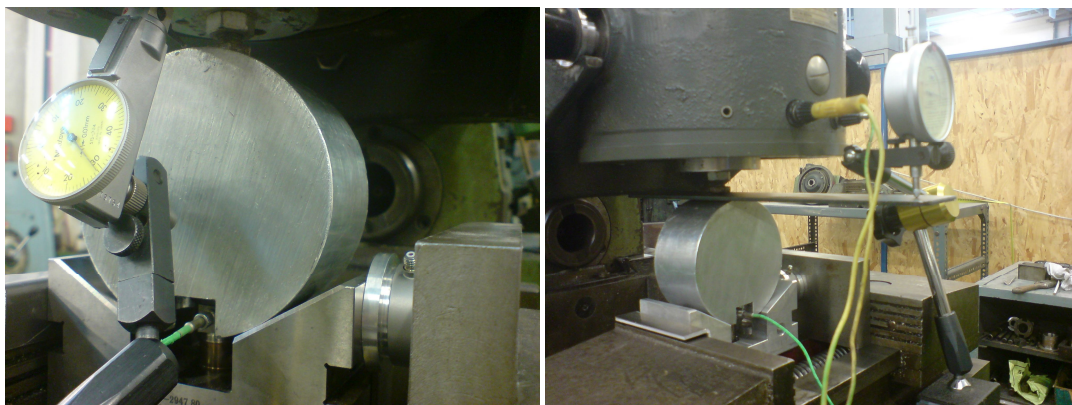
- Típus: 9041
- Gyári szám: 322698
- Mérési tartomány: 0-90 kN
- Érzékenység: -4,35 pC/N
- Linearitás:  $\pm 6\%$  FSO
- Hőmérséklettartomány: -196-200 °C
- Befoglaló méretek: Ø34,5x12 mm, Ø 17 mm-es furat

Kistler erősítő:

- Gyártmány: Kistler
- Típus: 5007
- Gyártási szám: 48057
- Leltári szám: BME 123-33260

## 3. sz. melléklet

Képek a mérési összeállításról:



**24. ábra Százados tapintóóra (balra) és ezredes mérőóra (jobbra) lemez segítségével kivezetett elmozdulással - rezgéssel**



25. ábra A teljes mérőösszeállítás