



XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia

2014



Mérőberendezés tervezése és építése mágneses folyadékok ülepedésének vizsgálatára

Készítette:

Juhász-Nagy Zoltán

Katona Róbert

Kis László Péter

Témavezető:

Szalai István

intézetigazgató

Horváth Barnabás

PhD hallgató

Mechatronikai mérnök MSc.

Fizika és Mechatronika Intézet

Mérnöki Kar

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni Dr. Szalai István és Horváth Barnabás témavezetőknek a sok elméleti és gyakorlati segítséget, valamint a Fizika Intézet oktatóinak tanácsait, amellyel a munkánkat segítették, valamint azt, hogy a dolgozatunkat a Fizika és Mechatronika Intézetben elkészíthettük.

A kutató munka a TAMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0071 és a TAMOP-4.2.2.-B-10/1-2010-0025 jelű projektek részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Tartalmi összefoglaló

A mágneses folyadékok olyan kolloidok, amelyekben mikro vagy nanoméretű ferromágneses részecskék (például magnetit részecskék) vannak diszpergálva. A mágneses folyadékokat a diszpergált szemcseméret alapján két nagy csoportba sorolhatjuk: ferrokolloidok és magnetoreológiai folyadékok. A ferrokolloidok szemcseátmérője jellegzetesen 10-150 nm-es mérettartományba esik. Az ilyen kolloidok több tíz évig stabilak és folyadékfázisban ferromágneses tulajdonságokat mutatnak. A magnetoreológiai folyadékok esetén a diszpergált részecskék jellegzetes átmérője a 0,1-50 μm mérettartományba esik. Az ilyen folyadékok ugyancsak ferromágneses tulajdonsággal rendelkeznek, de a részecskék méreténél fogva gyors ülepedést mutathatnak. Külső mágneses tér hatására a folyadékokban a dipóluspárok láncokba és oszlopokba tömörülnek, amely a folyadék viszkozitás-növekedését eredményezi. Napjainkban a finommechanika és a gépjárműtechnika területén alkalmazzák ezeket a folyadékokat rezgések csillapítására, nyomatékátvitelre és autonóm lengéscsillapítóknál.

A munkánk célja egy olyan mérőberendezés tervezése és építése volt, amely alkalmas magnetoreológiai fluidumok ülepedésének vizsgálatára. A megoldandó feladatok között szerepelt egy kb. 50 cm-es minta ülepedésének detektálása egy üvegcső teljes hossza mentén. A magnetoreológiai folyadékok vizsgálatához egy mágneses elven működő detektort fejlesztettünk ki. A mérési elv megegyezik az LVDT (Linear Variable Differential Transformer) működési elvével. Az LVDT meghajtását és jeleinek feldolgozását egy általunk fejlesztett analóg áramkör végzi. A detektor mozgatása a minta teljes hossza mentén egy léptetőmotoros lineáris egységgel történt.

Készítettünk egy vezérlőelektronikát, amely egy mikrokontroller köré épül, továbbá a panel tartalmaz egy léptetőmotoros meghajtó elektronikát és két jelkondicionáló egységet. A mérőműszer mobilitása érdekében készítettünk egy tápegységet, amely a hálózati 230 V-ból előállítja a berendezés működéséhez szükséges DC feszültségeket. A számítógépes vezéreléshez és méréshez egy LabView környezetben futó programot írtunk.

Tartalom

1. Bevezetés	1
2. Irodalmi áttekintés	2
2.1 Magnetoreológiai folyadékok	2
2.1.1 Magnetoreológiai folyadékok ülepedése	3
2.2 Magnetoreológiai folyadékok alkalmazása	4
2.2.1 Magnetoreológiai lengéscsillapító	4
2.2.2 Magnetoreológiai folyadék fékek	4
2.2.3 Magnetoreológiai tengelykapcsoló	5
3. Magnetoreológiai folyadékok ülepedésének mérési elve	6
3.1 LVDT működése.....	6
4. Mérőműszer felépítése	8
4.1.1 Lépítőmotor vezérlése	10
4.3 Analóg mérőáramkör	15
4.3.1 Primer tekercs meghajtó fokozat	15
4.3.2 Szekunder tekercs jelfeldolgozó fokozat	15
4.4 Számítógéphez illeszthető vezérlőkártya.....	17
5. Mérések.....	20
5.1 Érzékenységvizsgálat modell mintával.....	20
5.2 Különböző magnetoreológiai folyadékok ülepedésének a vizsgálata	21
5.2.1 Mérés magnetit por (Fe_3O_4) és desztillált vizes szuszpenzióval.....	21
6. Összefoglalás	27
Irodalomjegyzék	28
8. Mellékletek	29

1. Bevezetés

A magnetoreológiai (MR) folyadékok olyan fluidumok, amelyek külső mágneses tér hatására gyors viszkozitásváltozást mutatnak. Ezen tulajdonságát a gépipar számos területén használják, például speciális tengelykapcsolók és rezgéscsillapítók dinamikai jellemzőinek megváltoztatására. Az MR fluidumok egy hordozó közegben diszpergált ferromágneses részecskékből állnak. Amennyiben a diszpergált részecskék mérete nem elegendően kicsi ($\sim 1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$) a részecskék az idő múlásával kiülepednek. A kiülepedés az eszköz rendeltetésszerű használatát károsan befolyásolhatja. Ilyen megfontolás alapján merül fel az ötlet, hogy a folyadék gravitációs térben történő vizsgálatával következtetni lehet egy diszperzió stabilitására.

A dolgozatunkban bemutatásra kerül egy általunk épített mérőműszer, amely magnetoreológiai folyadékok ülepedésének vizsgálatára alkalmas. A mérőműszert egy modell mintával kalibráltuk, amelybe rétegesen, jól elkülönülve magnetit (Fe_3O_4) és alumínium-oxid (Al_2O_3) finomszemcsés por volt töltve. Majd méréseket végeztünk egy desztillált víz- és egy szerves alapú magnetoreológiai folyadékkal. A desztillált vizes szuszpenzió gyors ülepedést mutatott (~ 30 perc), míg a szerves bázisú folyadék lassabban (~ 1 nap) ülepedett ki.

A célunk az ülepedés detektálásához egy precíziós laboratóriumi kutatásra szolgáló mérőberendezés építése volt, a magnetoreológiai folyadékok anyag szerkezeti vizsgálatára nem térünk ki a dolgozatunkban.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Magnetoreológiai folyadékok

A mágneses folyadékok olyan kolloidok, amelyekben ferromágneses részecskék vannak diszpergálva. A mágneses fluidumokat a stabilizált részecskeméret alapján két nagy csoportba sorolhatjuk: ferrokolloidok és magnetoreológiai folyadékok.

A ferrokolloidok esetén a gömb alakúnak feltételezett részecskék átmérője általában 10-50 nm-es mérettartományba esik. A részecskék mágneses mono-domének, így permanens mágneses dipólusmomentummal rendelkeznek. A hordozó közeg minősége alapján megkülönböztetünk vizes és szerves bázisú mágneses kolloidokat [1]. A részecskék stabilizálása felületaktív anyagok, polimerek vagy elektrolitok adagolásával történhet. Az ilyen kolloidok több tíz évig stabilak, és folyadékfázisban szuper-paramágneses (ferromágneses) tulajdonságokat mutatnak.

Amennyiben egy μ_f mágneses permeabilitású ferro-fluidumban $\mu_p > \mu_f$ mágneses permeabilitású, 0,1-50 μm átmérőjű ferromágneses részecskéket diszpergálunk, úgy magnetoreológiai folyadékhoz juthatunk [2]. A diszpergált részecskék ferromágneses anyagok, de méretüknél fogva több mágneses domént is tartalmazznak, így külső mágneses tér hiányában nem rendelkeznek eredő mágneses dipólusmomentummal. A nagyobb részecskeméret hatására a magnetoreológiai folyadékok gyors ülepedést mutathatnak, ellenben a ferrokolloidokkal, amelyek akár évekig is stabilak maradnak.

Magnetoreológiai fluidumunkat külső mágneses térbe helyezve a diszpergált részecskéknek mágneses dipólusmomentuma indukálódik [3].

Az elektoreológiai folyadékokhoz hasonlóan külső mágneses térben dipóluspárok, láncok és oszlopokba tömörült láncok alakulnak ki a mágneses folyadékokban is. A tér megszűnésével ezek a hatások gyorsan megszűnnek. A láncosodás eredményeként a mágneses fluidum viszkozitása megnő. Napjainkban a finommechanika és a gépjárműtechnika számos területén alkalmaznak magnetoreológiai folyadékokat rezgések csillapítására, nyomatékátvitelre és autonóm lengéscsillapítóknak [4].

2.1.1 Magnetoreológiai folyadékok ülepedése

A magnetoreológiai folyadékok ülepedést mutatnak, mivel sűrűségkülönbség van a ferromágneses részecskék és a hordozó fázis között. Kormann és társai által publikált tanulmányban bemutatja, hogy a folyadék stabilitását növelni lehet a részecskék méretének csökkentésével. A munkájuk során ~30 nm-es ferromágneses részecskéket diszpergáltak egy olaj bázisba. Ezek a részecskék már elég kicsik ahhoz, hogy a hőmozgás (Brown mozgás) által kialakuló erő kiegyensúlyozza a részecskére ható gravitációs erőből adódó ülepedést [5].

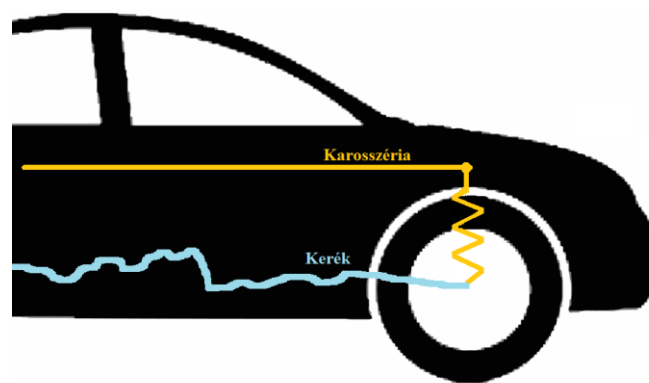
Az ülepedés kedvezőtlen hatása egy MR tengelykapcsolónál a nyomatékátvitelben jelenik meg. D. Güth mérései alapján, kis fordulatszámon az átvitt nyomaték lecsökken a folyadék ülepedését követően. Fordulatszám növelésével elérhető egy olyan állapot, amikor a folyadékban örvényáramok alakulnak ki, amely a folyadék felkeveréséről gondosodik, ezáltal meggátolja az ülepedést [6].

Az ülepedés szintén kiküszöbölhető különböző felületaktív anyagok adagolásával, amely meggátolja a részecskék összetapadását [6].

2.2 Magnetoreológiai folyadékok alkalmazása

2.2.1 Magnetoreológiai lengéscsillapító

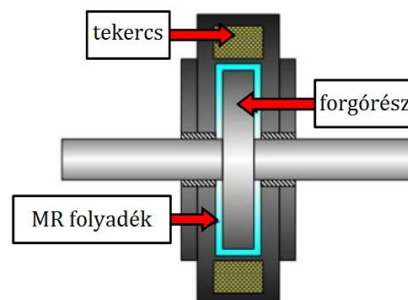
A Magnetoreológiai lengéscsillapító vagy más néven rázkódás elnyelő egy olyan lengéscsillapító amely magnetoreológiai folyadékkal van töltve, így a lengéscsillapító dinamikai tulajdonságát mágneses térrel szabályozni lehet. Ezzel a megoldással kvázi aktív lengéscsillapító valósítható meg a járművekben, amely alkalmazkodik az adott útviszonyokhoz különféle szenzorokra támaszkodva (gyorsulás érzékelő). Így a vezetés során felmerülő zavaró rezgéseket lecsökkenti illetve akár meg is megszüntetheti [7].



1.ábra: Aktív lengés csillapító elve

2.2.2 MR fékek

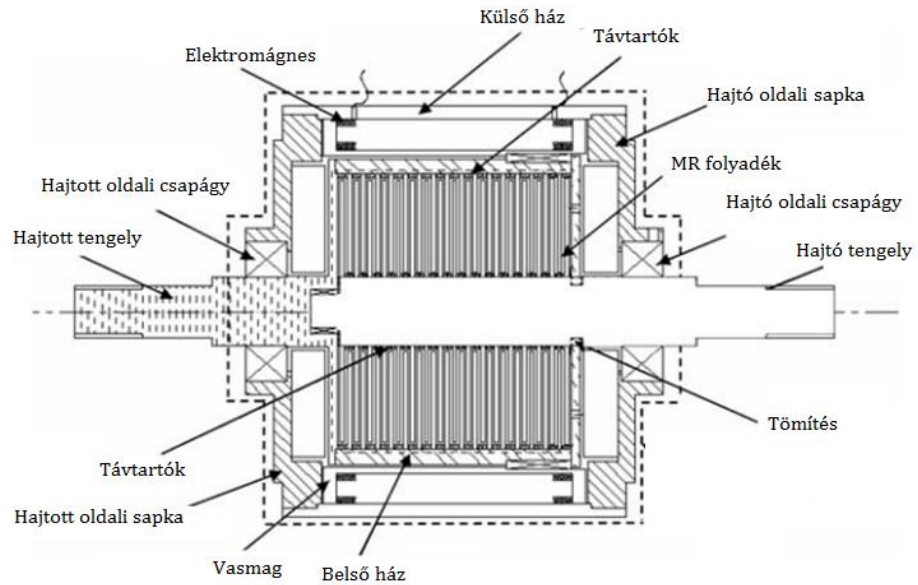
Az MR folyadékkal töltött fékek kompakt, egyenletes működést biztosítanak, és sokkal kevesebb energiát igényelnek, mint a hasonló örvényáramú vagy mágneses hiszterézis fékek. Alacsony sebesség mellett nagy nyomaték átvitelére alkalmasak. Egyszerűségükből eredő költséghatékonyságuk miatt különféle alkalmazási területeken használják, kezdve a szabályozható edzőgépektől, programozható aerobik eszközökig, mint például elektromos lépcsőzők és szobabiciklik [8][13].



2.ábra: Magnetoreológiai fék

2.2.3 Magnetoreológiai tengelykapcsoló

A magnetoreológiai folyadékkal töltött tengelykapcsoló elektromos jellel szabályozható forgatónyomaték átvitelt biztosít két tengely között. Nincs mechanikus kapcsolat a két oldal között, így nincs alkatrészkopás. Egy MR tengelykapcsoló felépítése a következő ábrán látható [12].



3.ábra: Magnetoreológiai tengelykapcsoló

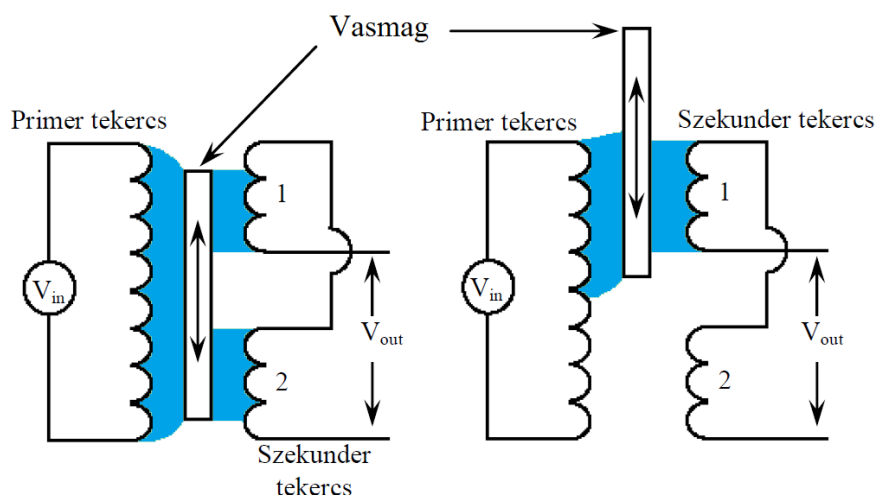
3. Magnetoreológiai folyadékok ülepedésének mérési elve

A dolgozatban bemutatásra kerülő mérőműszer az MR folyadék ülepedését mágneses elven működő detektor segítségével méri. Az MR folyadék ferromágneses tulajdonságot mutat, így ha egy üvegcsőbe töltött magnetoreológiai folyadékot helyezünk egy gerjesztett tekercs középsébe, akkor a folyadék megváltoztatja a tekercs által létrehozott mágneses teret. Ha a folyadék ülepszik, akkor a cső minden pontjában más és más lesz a ferromágneses részecskék sűrűsége, ezáltal a tekercsre gyakorolt hatása (mágneses szuszceptibilitása) is változik. Ezt a hatást mérve kimutatható az MR folyadék ülepedése. A mérési elv megegyezik az LVDT (Linear Variable Differential Transformer) működési elvével.

A detektor mozgátását az üvegcső teljes hossza mentén, egy léptetőmotoros lineáris szánegységgel oldottuk meg.

3.1 LVDT működése

Az LVDT elmozdulás, pozíció mérésére alkalmas elektronikai eszköz. Elmozdulás mérésénél a pontossága mikrométer, századmikrométer is lehet. Felépítését tekintve az LVDT egy primer és két szekunder tekercsből, illetve egy mozgatható vasmagból áll, ahogy az a 4. ábrán látható.



4. ábra: LVDT elvi felépítése

Működése a transzformátor működésére vezethető vissza. A primer tekercset egy váltakozó feszültség gerjeszti, így az egy váltakozó mágneses teret fog létrehozni. A mágneses tér változása feszültséget indukál a két szekunder tekercsben. Ha egy

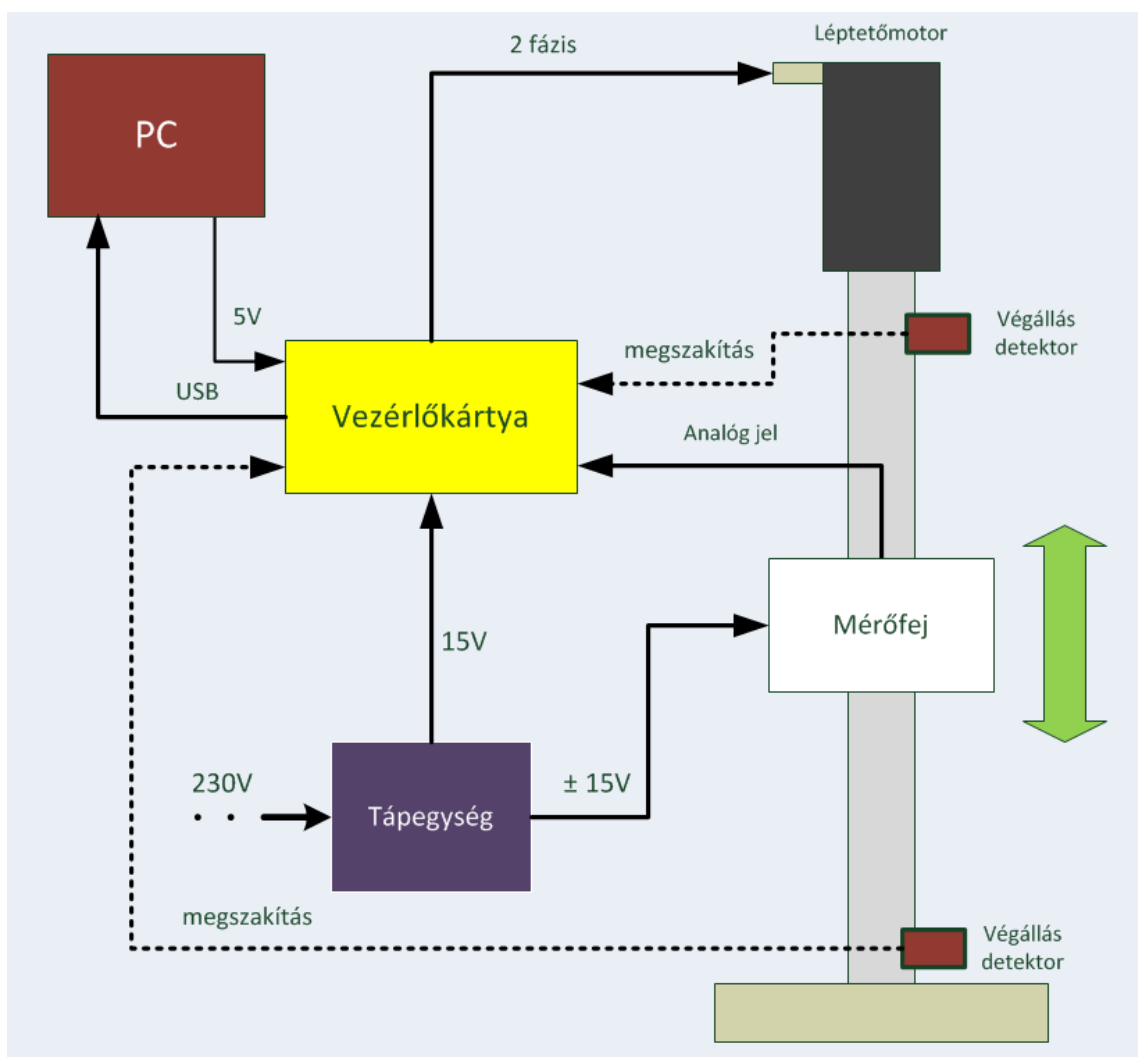
ferromágneses anyagot helyezünk a tekercsbe, akkor megnő a fluxus sűrűség a tekercs közepében, ezáltal a szekunder feszültségek megnőnek. Ha asszimmetrikusan helyezkedik el a vasmag, akkor a két szekunder tekercsen eltérő feszültség fog indukálódni. Tehát a szekunder tekercsekben indukált feszültség nagysága függ a vasmag helyzetétől.

A két szekunder tekercs egymással szembe van kapcsolva, így a feszültségük között 180° -os fázistolás lép fel. Ha az LVDT-ben lévő vasmagot felfelé mozdítjuk, akkor az első szekunder és a primer tekercs közt erősebb elektromágneses csatolás jön létre. Ez azt eredményezi, hogy az első szekunder tekercsen indukálódó feszültség amplitúdója nagyobb lesz a második szekunder tekercséhez képest. Ha pedig a vasmagot lefelé mozdítjuk, akkor a második szekunder és a primer tekercs között lesz erősebb a csatolás. Tehát a szekunder tekercsek amplitúdó változásai egyértelműen meghatározzák a vasmag pozícióját.

Munkánk során a vasmag helyett egy üvegcsőbe töltött magnetoreológiai folyadékot helyezünk az LVDT közepébe. Ennek köszönhetően a magnetoreológiai folyadék vasmag szerepét tölti be, és ez hozza létre a primer és szekunder tekercsek között az elektromágneses csatolást. Ez a hatás nagyon kis mértékű, így egy nagyon érzékeny mérőtekercs és egy precíziós mérőelektronika tervezésére volt szükség.

4. Mérőműszer felépítése

A mérőberendezés egy lineáris szánegységből, egy mérőfejből (mérőtekercs + mérőelektronika), egy vezérlőelektronikából és egy tápegységből épül fel. A lineáris szánegységet egy kétfázisú bipoláris léptetőmotor hajtja. A motor meghajtásáról és a mérés ütemezéséről egy általunk tervezett vezérlőpanel gondoskodik, ami a műszer hátsó részére van felszerelve, illetve a műszer meghajtásához szükséges tápegység is ott található. A mérést egy cserélhető LVDT tekercses mérőelektronika végzi. A mérőtekercs körülölel egy üvegcsövet, amelyben a vizsgálandó minta található. A tekercs meghajtásáért egy analóg mérőelektronika felelős, amely gondoskodik az állandó áramú szinuszos meghajtásról illetve a tekercs kimenetén megjelenő jel feldolgozásáról (az elektronika kimenete DC feszültség változás). A mérőműszer felépítése a következő ábrán látható.



5.ábra: mérőberendezés blokk vázlata

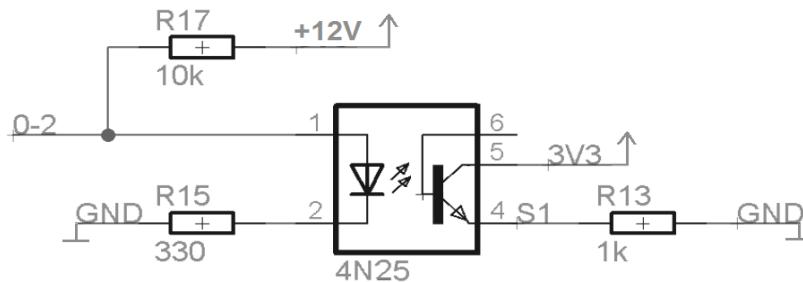
Az általunk épített komplett berendezésről készült kép a következő 6. ábrán látható. A detektor mozgatójáról a lineáris egység gondoskodik, amelyet egy Vexta típusú léptetőmotorral tudunk mozgatni. A végállapotok detektálását két GXL gyártmányú induktív közelségkapcsoló végzi. A felső végálláskapcsoló alapállapotban magas (nyitott) az alsó pedig alapállapotban alacsony (zárt) kimeneti jelszintet ad, így ennek megfelelően írtuk meg a vezérlő szoftvert. A mérést és adatgyűjtést a vezérlőkártya végzi. A mérési eredményeket a LabView környezetben megírt szoftver segítségével dolgozzuk fel. A berendezéshez készült egy analóg tápegység is, így hálózati 230 V-ról működik.



6.ábra: Magnetoreológiai folyadék ülepedését vizsgáló berendezés

A végálláskapcsolók szintillesztésére és galvanikus leválasztására a Vishay Semiconductor által gyártott 4N25-ös optocsatolókat használtuk fel. Esetünkben a végállásokat érzékelő induktív szenzorok kimenetét a mikrovezérlő bemenetétől választja el, mivel a szenzorok 12 V-ról üzemelnek, a mikrokontroller bemenete pedig

maximum 3,3 V-os feszültséget visel el. Az alkalmazott áramköri elrendezést 7. ábra mutatja [9].



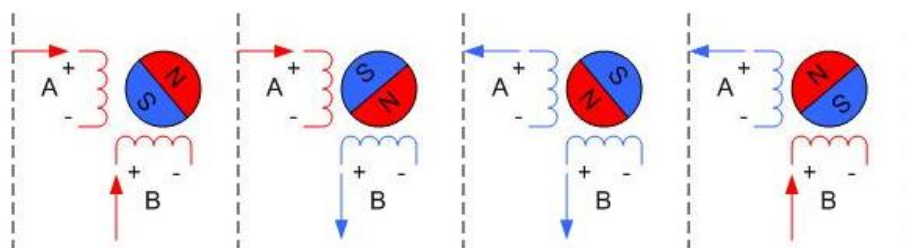
7.ábra: Optocsatolóval megvalósított végállás kapcsoló áramkör

4.1 Léptetőmotor

Léptetőmotor alkalmazása azért volt célszerű számunkra, mivel egyszerűen lehet vele pontos mozgatót és pozícióra állást megvalósítani. A pozícióra álláshoz nincs szükség bonyolult visszacsatolásra, mivel a vezérlőimpulzusok számával arányos a forgórész elfordulása. Másik előnyös tulajdonsága, hogy nincs szükség hajtómű alkalmazására, a motor indításakor szinte a maximális nyomaték levehető a tengelyéről. Legnagyobb hátrányai egy hagyományos DC motorhoz képest, hogy a motor szögsebessége nem egyenletes, fordulatszáma viszonylag alacsony (max. 500-600 fordulat/perc), továbbá nagyobb méret, tömeg és magasabb ár jellemzi.

4.1.1 Léptetőmotor vezérlése

A léptetőmotorok mozgatót az egyes fázisok megfelelő sorrendben és időben történő gerjesztése biztosítja. Kétfázisú léptetőmotor esetén a rotor forgását a 6. ábra szemlélteti. A léptetési ciklus egészlépéses üzemmódban négy művelettel megvalósítható, ahol mindig egy tekercsen változtatjuk az áramirányt.

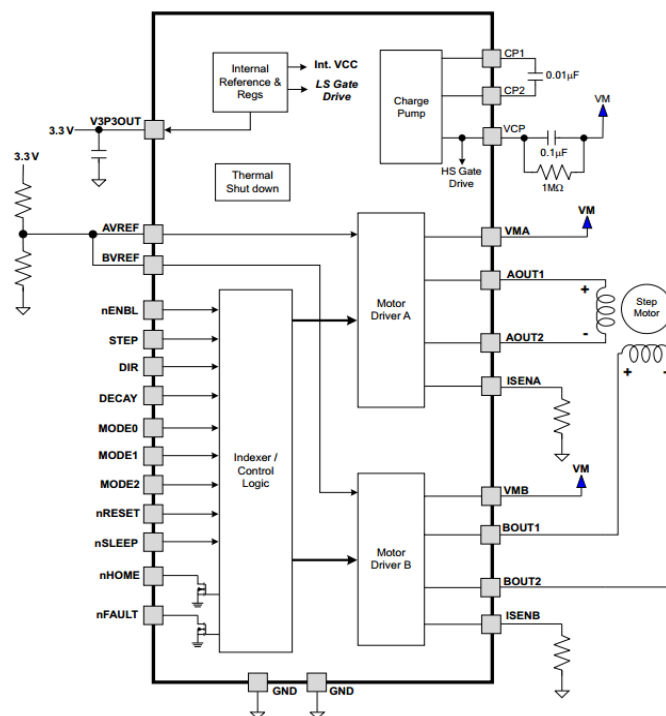


8.ábra: Léptetőmotor vezérlése

A tekercsben folyó áram irányától függően kialakul egy mágneses tér, amely vonzza vagy taszítja a motor állandó mágneses forgó részét. Ha az óramutató járásával megegyező áram folyik a tekercseken, akkor a tekercsek északi pólusként viselkedve vonzzák a motor forgórészének déli pólusát. Ha 'B' tekercsen megfordítjuk az áramirányt, akkor a déli pólust taszítani fogja, így elfordul a motor. Az 'A' tekercsen megfordítva az áramirányt az is taszítja a déli pólust, így a forgórész tovább fordul. A 'B' tekercs áramirányának ismételt megfordításával a tekercs az északi pólust taszítani fogja. Az 'A' áramirányának megfordításával a vezérlési ciklus végéhez értünk. Ahhoz, hogy forgómozgás jöjjön létre, ezeknek a lépéseknek az egymás utáni végrehajtására van szükség.

4.1.2 - Integrált áramköri léptetőmotor meghajtó - DRV8825

A léptetőmotor meghajtásához a Texas Instruments által gyártott 28 lábkiosztású HTSSOP tokozású DRV8825 meghajtó áramkört választottuk. Belső felépítésének funkció blokk diagramját a 9. ábra mutatja [10].



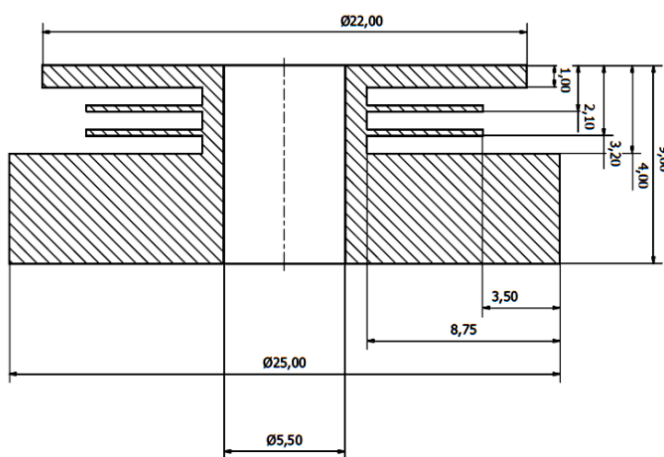
9.ábra: meghajtó elektronika funkció blokk diagramja

Az IC tartalmazza a léptetőmotor meghajtásához szükséges H-hidat illetve egy kontroll logikát, amely egyszerűbb vezérlést tesz lehetővé. A motor forgatása digitálisan

a STEP, DIR lábak vezérlésével valósítható meg. A DIR bemenet logikai értékével lehet beállítani a forgásirányt, a STEP bemeneten egy impulzusra lépteti a motort. Az IC rendelkezik több üzemmóddal is. Egészlépéses, fél-lépéses és mikro-lépéses üzemmód választható ki a MODE0-2 lábak megfelelő konfigurálásával. AVREF, BVREF referencia bemeneteken egy 0-3,3 V DC feszültséggel lehet beállítani a motort hajtó konstans áramot. Az IC nagy előnye, hogy minimális külső alkatrész szükséges hozzá, felületszerelt, így kis helyet foglal és egyszerű vezérlést biztosít [9].

4.2 Az LVDT mérőfej

A mérőtekercsnek nagy pontosság és felbontás mellett, nagy ohmos ellenállással is kell rendelkeznie, a meghajtó áramkör kisebb terhelése végett. A tekercselésre alkalmas csévetestet az Autodesk Inventor szoftver segítségével terveztük meg. A megtervezett csévetest műszaki rajza a 10. ábrán látható. Fontos szempont volt, hogy a csévetest olyan anyagból készüljön, amely nem mágnesezhető és könnyen forgácsolható. Az általunk választott anyag a POM (poli(oxi-metilén)), amelyre igaz mindkét kritérium. A csévetest tervezésénél fontos kritérium volt, hogy a csévetest fala minél vékonyabb legyen, hogy a tekercs minél közelebb legyen a mintához. Másik lényeges szempont a tekercs geometriája. Alacsonynak kellett lennie mivel minél kisebb tartomány hatását akartuk mérni vele.



10.ábra: LVDT csévetest terv

Több mérőszenzor is készült a detektor kiválasztásához. A megfelelő tekercs kiválasztást érzékenységi vizsgálatokkal állapítottuk meg. A legérzékenyebbnek bizonyult LVDT primer tekercsének menetszáma 600, míg a két szekunder menetszáma

300-300 menet volt. A primer és a két szekunder tekercsek aránya, így: 1:2:1 (szekunder, primer, szekunder). A tekercseléshez 0,068 mm átmérőjű rézhuzalt választottunk.

A felcsévelt rézhuzalok közelítő ohmos ellenállását a 4.1-es egyenlet alapján számítottuk ki:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}, \quad (4.1)$$

ahol ρ huzal fajlagos ellenállása, $\rho_{\text{réz}} = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$, A huzal keresztmetszete, l huzal hossza, R – huzal ohmos ellenállása.

Az LVDT tekercselésekor felvitt huzal hossza (l) és keresztmetszete (A) az alábbi két (4.2, 4.3) összefüggés alapján számítható:

$$l = N \cdot D \cdot \pi, \quad (4.2)$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}, \quad (4.3)$$

ahol N a tekercsek menetszáma, D a csévetest belső átmérője, d huzal átmérője.

Az előzőleg ismertetett összefüggések alapján, a primer és szekunder tekercsek huzaljainak közelítő ellenállása a következő képletek (4.4, 4.5, 4.6) alapján számolható ki:

$$R_{\text{tekercs}} \cong \frac{4 \cdot \rho_{\text{réz}} \cdot N \cdot D}{d^2}. \quad (4.4)$$

A primer tekercs ohmos ellenállása:

$$R_{\text{primer}} \cong \frac{4 \cdot 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 600 \cdot 0,0075}{(0,068 \text{ mm})^2} \cong 70,07 \Omega. \quad (4.5)$$

A szekunder tekercs ohmos ellenállása:

$$R_{\text{szekunder}} \cong \frac{4 \cdot 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 300 \cdot 0,0075}{(0,068 \text{ mm})^2} \cong 35,03 \Omega. \quad (4.6)$$

A számításokból látható, hogy a tekercsek elég kis ohmos ellenállással rendelkeznek, amely már kis feszültségű (~ 2 V) szinuszos gerjesztésnél számottevően nagy áramot (~ 30 mA) eredményez. Ez vékony rézhuzal esetén már a tekercsek túlmelegedéséhez vezethet. A melegedés következtében a tekercs ohmos ellenállása nő, ez csökkenti a gerjesztő áramot, vagyis változna az LVDT kimenete. Ha ez egy mérés közben következik be, akkor a mérési eredmények kiértékelhetetlenek lesznek. A melegedés miatt egy olyan LVDT meghajtó áramkörre van szükségünk, amely konstans kimenő áramot képes biztosítani kis ellenállás érték esetén is.

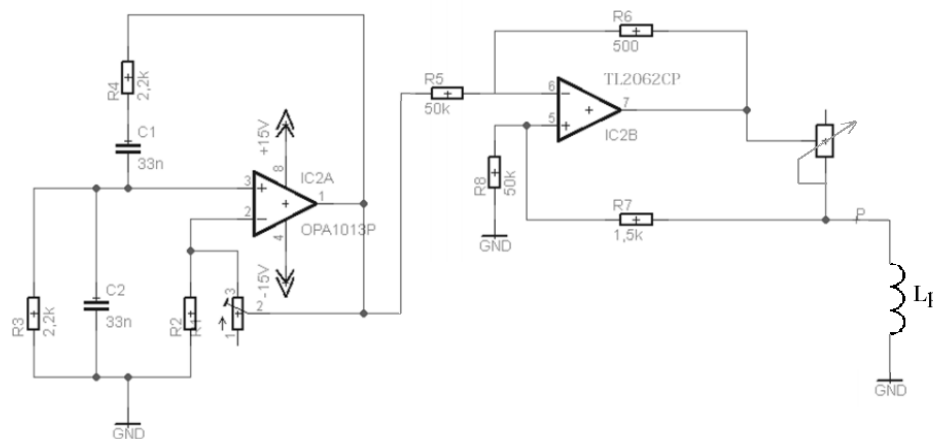
4.3 Analóg mérőáramkör

4.3.1 Primer tekercs meghajtó fokozat

A meghajtó fokozat két áramkörből épül fel. Egy műveleti erősítés Wien-hidas oszcillátorból, illetve egy konstans áramú meghajtó áramkörből. A Wien-hidas áramkör állítja elő a gerjesztő szinuszos rezgést, a meghajtó áramkör meg gondoskodik a tekercs áramgenerátoros meghajtásáról. A Wien híd rezgési frekvenciáját a Thomson formula alapján (4.7) határozhatjuk meg, amely a következő:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (4.7)$$

ahol f a rezgési frekvencia, R a Wien-híd ellenállás értéke és C a Wien-híd kapacitás értéke.



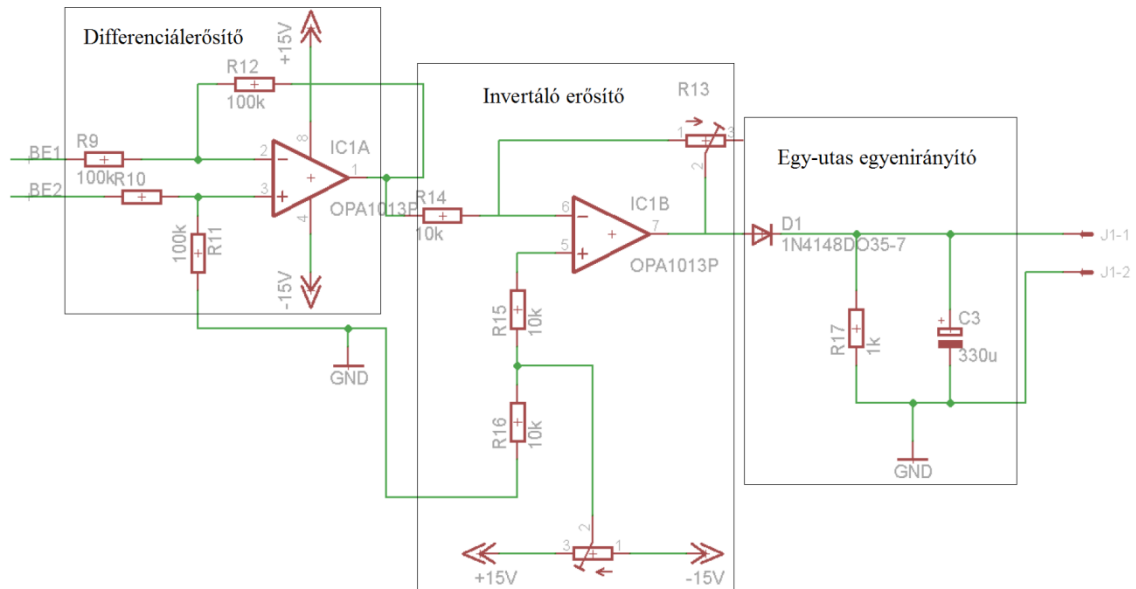
11.ábra: Wien-híd és a meghajtó fokozat áramköri rajza

A meghajtó fokozat egy műveleti erősítés áramköréből áll. Műveleti erősítőnek egy TL2062 teljesítmény műveleti erősítőt választottunk, amely darlington tranzisztoros kimenettel rendelkezik, így nagy áram meghajtásra alkalmas (± 80 mA). Az áramkörben egy potenciométer segítségével lehet beállítani a meghajtó áramot.

4.3.2 Szekunder tekercs jelfeldolgozó fokozat

Az LVDT tekercs kimeneti jele egy szinuszosan változó váltakozó feszültség. A számunkra fontos információ az amplitúdó változásban jelenik meg. Egy szinuszos jel amplitúdó változásának detektálásához szükség van egy jelkondicionáló áramkörre, amely az amplitúdóval arányos egyenfeszültséget állít elő. A jelfeldolgozó analóg

áramkör több részből áll, a kapcsolás legelső részében a két szekunder tekercs jeleit összehasonlítja, majd az így kapott váltakozó feszültségjelet (egy szintillesztés után) a következő fokozat egyenirányítja, és DC feszültségjelként továbbítja az A/D konverternek. Az áramkör felépítését a következő ábra szemlélteti.



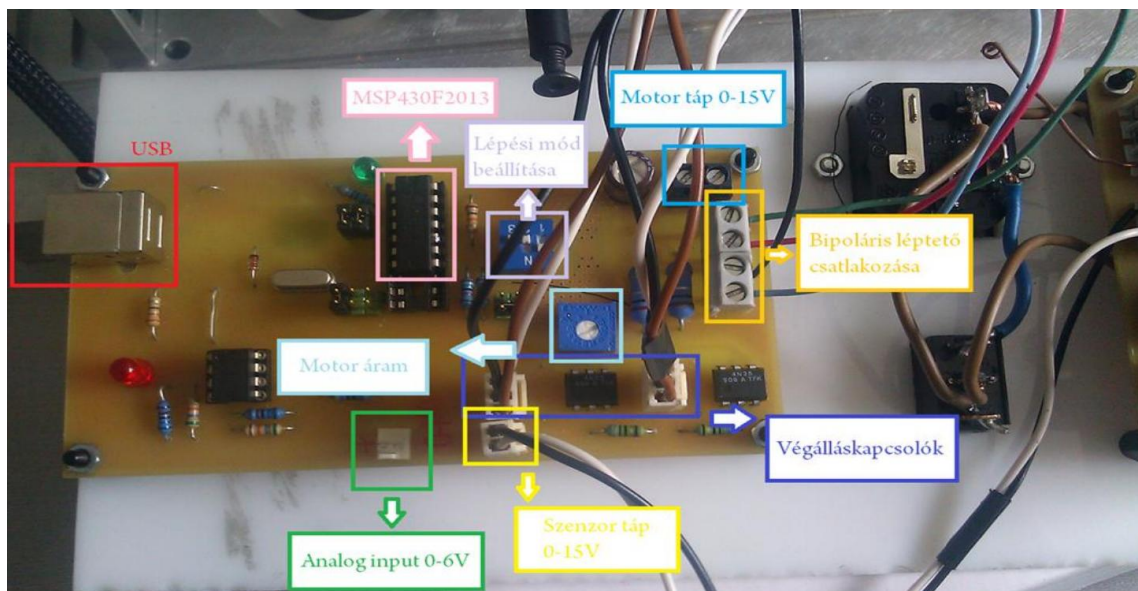
12.ábra: LVDT szekunder tekercs jelfeldolgozó elektronika

A szekunder tekercsek feszültségjeleinek összehasonlítását egy differenciálerősítő kapcsolás végzi, amely egy kivonó áramkörnek tekinthető. Mivel a két jel ellentétes fázisban van egymáshoz képest, így a differenciálerősítő kimenetén a bemenő szinuszok összege fog megjelenni. Ezt követően egy fázisfordító műveleti erősítés kapcsolás a kivonó áramkör jelét erősíti és a negatív tápfeszültség felé tolja el. Az ofszet eltolással a szinusz maximuma lecsökkenthető a dióda nyitófeszültsége alá (0,6 V). Ekkor a kimeneti feszültség 0 V lesz. Viszont, ha a bemeneti jel megnő, akkor a szinusz feszültség maximuma is megnő, és ha a jel nagysága meghaladja a 0,6 V-ot akkor az egyenirányító kimenetén is nőni fog a feszültség. Megfelelő ofszet eltolásnál, nagy erősítést alkalmazva a bemeneti jel negatív irányba telítésbe mehet, de a számunkra fontos információt hordozó szinusz csúcsa 0,6 V körül lesz. Így a szinusz csúcs detektálással elég nagy felbontás érhető el. Az invertáló erősítő a bemenő jel fázisát is megfordítja, viszont a szimmetrikus jel miatt nem okoz mérési problémát. Az invertáló kapcsolás erősítését egy, a visszacsatoló ágba kötött potenciométerrel lehet szabályozni, az ofszet feszültségének hangolására pedig egy, a műveleti erősítő pozitív

ágába kapcsolt potenciométer szolgál. Az áramkörhöz felhasznált műveleti erősítő a Texas Instruments által gyártott OPA1013.

4.4 Számítógéphez illeszthető vezérlőkártya

A vezérlőkártyán helyeztünk el minden olyan áramkört, amely a jelfeldolgozáshoz és a vezérléshez köthető. A panel egy MSP430F2013-as mikrokontroller köré épül, amely egy USB-UART átalakító segítségével, USB kábellel a számítógéphez csatlakoztatható. A panel tartalmaz egy léptetőmotoros meghajtó elektronikát és két jelkondicionáló áramkört. A mikrovezérlő feladata a mérőfej jelének feldolgozása, a léptetőmotor meghajtó áramkör vezérlése, a végállás érzékelők jeleinek detektálása és a számítógéppel való kommunikáció megvalósítása. Az elkészített áramkör a következő ábrán látható, amelyen bejelölésre kerültek a panelen elhelyezett csatlakozók.

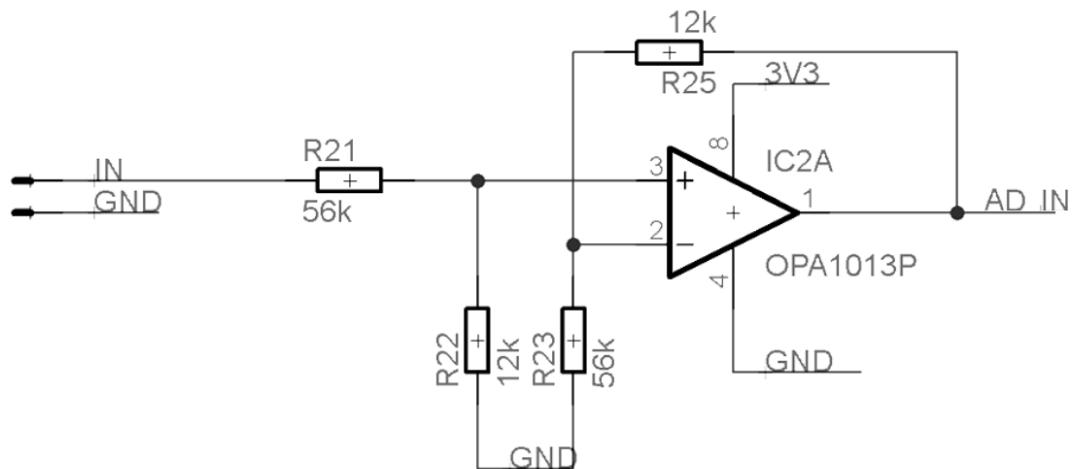


13.ábra: Vezérlőkártya felépítése

A mikrokontroller működtetéséhez 3,3 V tápellátás szükséges, így a panelon egy 3,3V-os stabilizátor IC lett elhelyezve, amely USB-ről kapja a működéshez szükséges 5V-ot. Mivel a jelkondicionáló áramkörök kimenete (OPA1013 és 4N25) a mikrokontrollerre kapcsolódik, így azok is 3,3V tápellátást kaptak, hogy véletlenül se kerüljön nagyobb feszültség a kimenetükre, mint 3,3V. A végállás kapcsolók működtetéséhez és a léptetőmotor meghajtásához nagyobb feszültség szükséges, amelyet egy külső analóg táp biztosít. A léptetőmotor meghajtóhoz egy potenciométer

is rákerült a panelra, amellyel a motoron folyó áramot lehet beállítani, illetve egy 3 soros DIP kapcsoló is, amellyel a léptetési üzemmódot lehet kiválasztani.

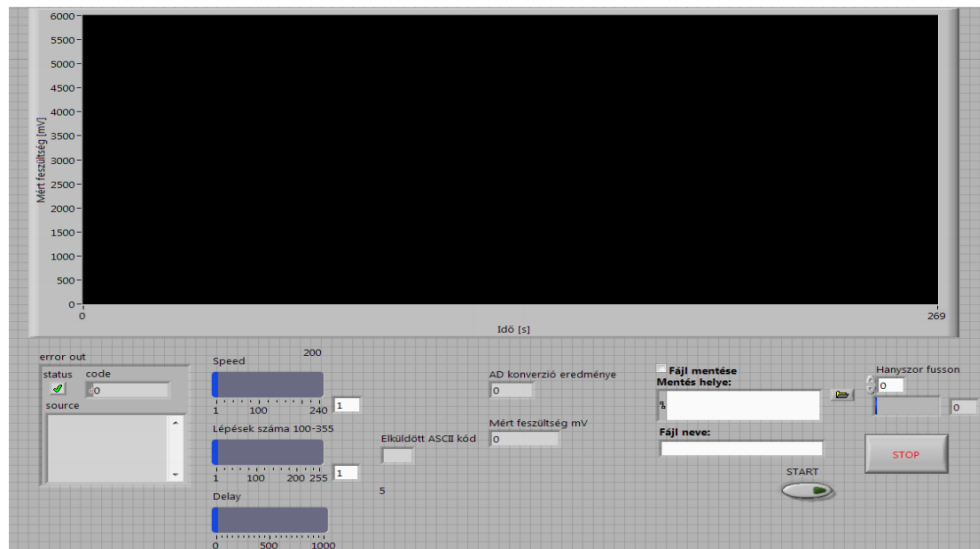
A mikrokontroller 16 bit-es AD konvertere 0,6V-os méréshatárral mér, így a mérőfej analóg kimenete egy szintillesztő áramkörön keresztül csatlakozik az AD konverter bemenetére. A műveleti erősítő egyoldali tápellátással rendelkezik (Single Supply), így egy nem invertáló feszültségerősítő alapkapsolással oldottuk meg a szintillesztést [11].



14.ábra: AD szintillesztő kapcsolás

4.5 LabVIEW kezelőfelület

A mérés és adatgyűjtés megvalósításához, illetve az adatok kiértékeléséhez egy LabVIEW környezetben kialakított szoftver készült. A szoftver kezelőfelülete a 15. ábrán látható.



15.ábra: LabVIEW kezelő felület

A program soros vonalon kommunikál a vezérlőkártyával. A kezelőfelületen beállítható a motor léptetési sebessége, illetve megadható a léptetések száma is. Ez a két paraméter megadja a mérés sebességét illetve a felbontását is. A program indítása előtt beállítható többszöri futás is, azaz, ha a szán végállapotba ér, akkor fordított irányba elkezdi újra a mérést. Lehetőség van a mérési adatokat TXT fájlba menteni. A szenzor kimeneti jele valós időben egy grafikonon végig követhető a mérés során. A mérőfej kalibrációja során előfordulhat, hogy nincs szükség a szán léptetésére, így egy nyomógomb átkapcsolásával lehetőség van a motor meghajtása nélküli mérésre is.

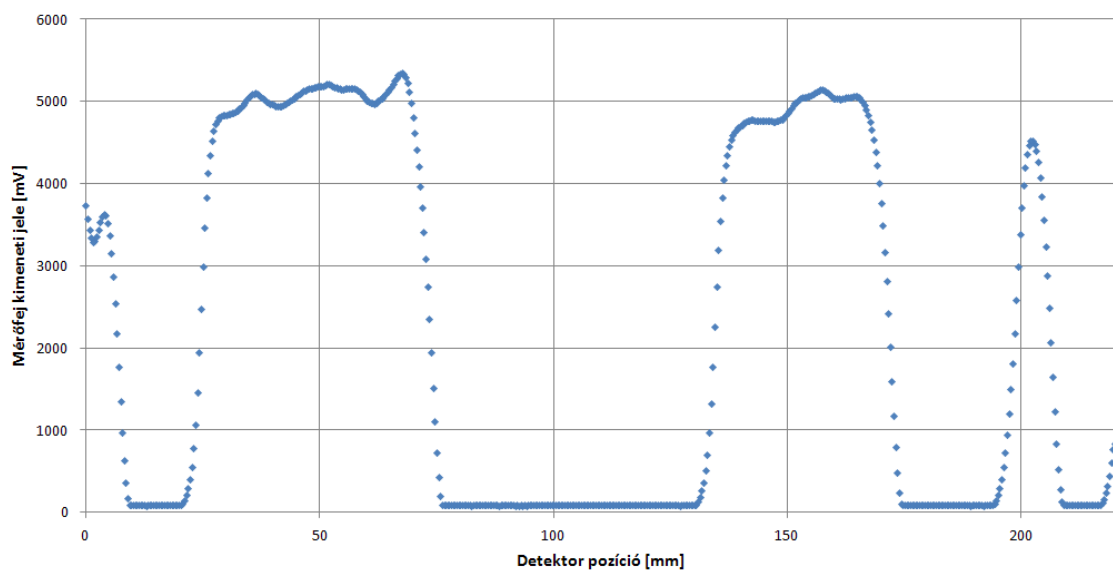
5. Mérések

5.1 Érzékenységvizsgálat modell mintával



Készítettünk egy mintát, amelybe rétegesen, jól elkülönülve magnetit (Fe_3O_4) és alumínium-oxid (Al_2O_3) finomszemcsés port volt töltve. A magnetit por "vasmagnként" viselkedett, azaz a detektornak érzékenynek kellett lennie rá, az alumínium-oxid por pedig nem mágnesezhető, így a detektornak erre érzéketlennek kellett lennie. A mérőszenzorral végigmértük a minta teljes hosszát és a mérési eredményen jól láthatóan a magnetit rétegek elkülönülnek az alumínium-oxid rétegektől. Ezzel a vizsgálattal a detektorunk érzékenységét tudtuk megállapítani, illetve a jelkondicionáló elektronika offset eltolását és erősítését tudtuk behangolni.

modell minta A mérési eredmény a következő grafikonon látható.



16. ábra: Modell minta és a mérés eredménye

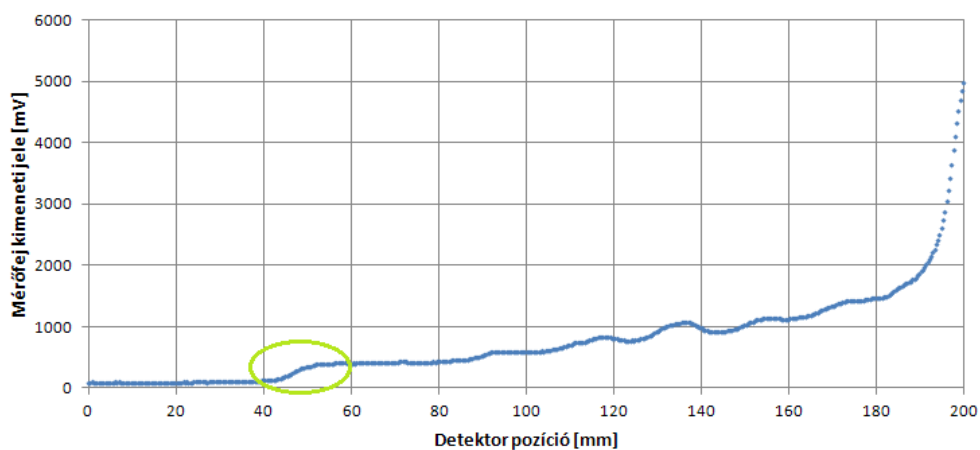
A mérési eredményen látszik, hogy az általunk tervezett berendezés nagy érzékenységgel akár 5V-os kimeneti jelváltozással detektálja a ferromágneses részecskéket (mérés határ 0-6V között), azaz a kísérlet során megbizonyosodtunk róla, hogy a mérőberendezés alkalmas ferromágneses részecskék detektálására.

5.2 Különböző magnetoreológiai folyadékok ülepedésének a vizsgálata

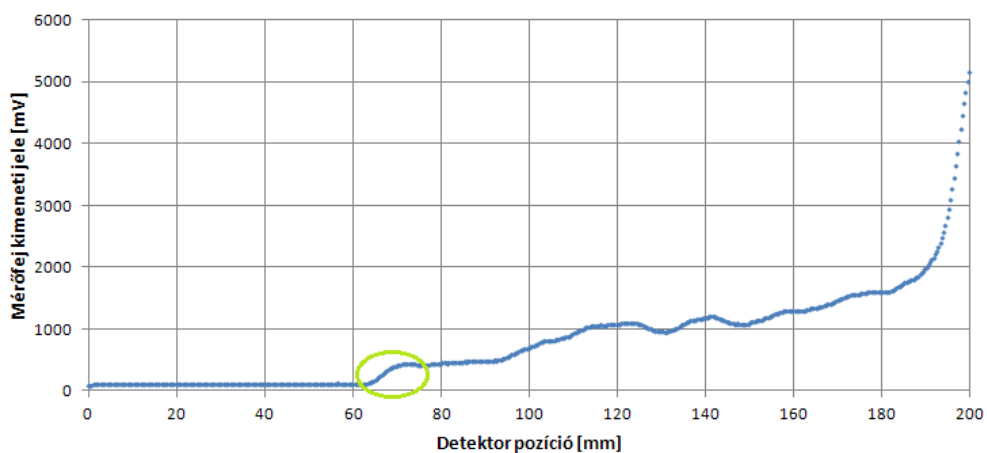
5.2.1 Mérés magnetit por (Fe_3O_4) és desztillált vizes szuszpenzióval



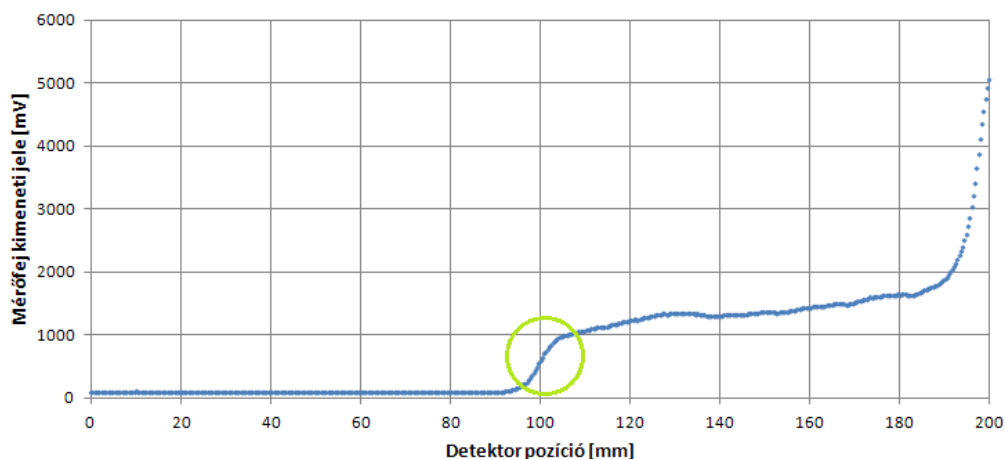
A mérés elvégzéséhez készítettünk egy desztillált víz bázisú magnetit poros szuszpenziót. A folyadékot egy 4,2 mm külső és 2 mm belső átmérőjű csőbe töltöttük. Mivel felületaktív anyag nem került a szuszpenzióba az összetapadás ellen, így a minta felrázása után elég gyors ülepedés mutatkozott. A mérést az összerázás után kezdtük. Egy mérés 61 mp-ig tartott, amelyet 1, 3, 5 és 20 perc elteltével megismételtünk. Az így kapott eredmények a következő grafikonokon láthatók illetve a kimaradt görbék a mellékletben megtalálhatók. Nulla detektor pozíció jelzi a detektor felső végállapotát, 200 mm pedig az alsó végállapotát.



17.ábra: Minta behelyezése után mért értékek

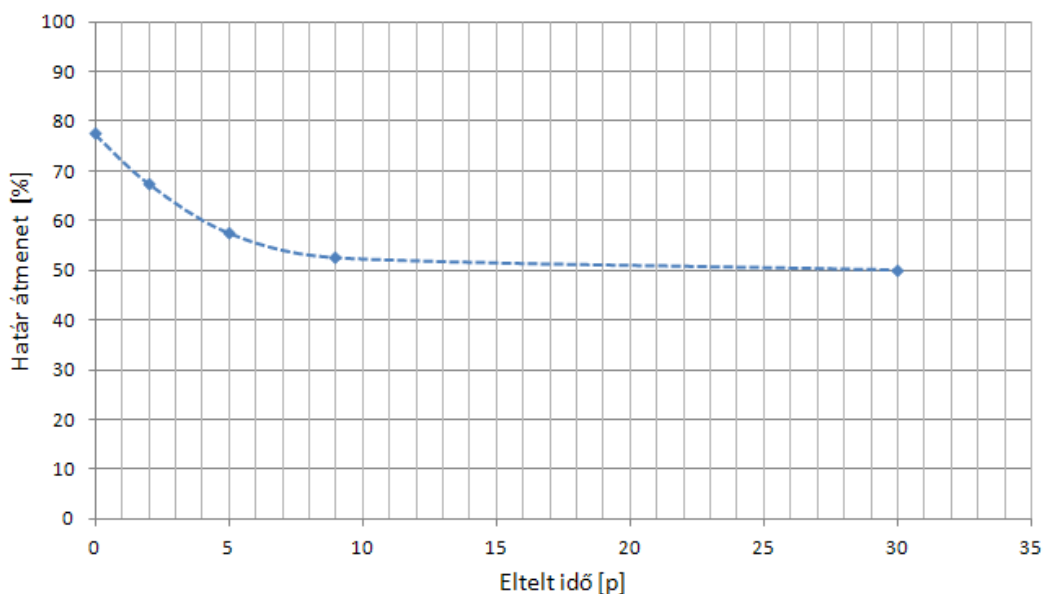


18.ábra: 2 perc elteltével mért értékek



19.ábra: 30 perc elteltével mért értékek és a szuszpenzió fotója

A mérési eredményeken megfigyelhető egy törés, amely a szuszpenzió teljesen kitisztult és a még kiülepedett (tömörödött) rétegek közötti éles határmenetet mutatja (ezt zöld színnel jelöltük a grafikonokon). Látható, hogy az egymás után következő méréseknél ez a határátmenet egyre jobban közelít a minta aljához, de megfigyelhető, hogy a minta közepe táján már alig változik. Ennek szemléltetésére készítettünk egy diagramot, amely a következő ábrán látható. A 100 % jelenti a határátmenet hiányát, amikor a teljes minta homogén. Az y tengely a kitisztult és a tömörödött rétegek magasságának a százalékos aránya.



20.ábra: Desztillált víz bázisú magnetit poros szuszpenzió ülepedése

Az utolsó mérésnél (~30 perc elteltével) a folyadék már nagyon lassú ülepedést mutatott, így ezt tekinthetjük egy beállt stacioner állapotnak. Az ülepedő szakaszt vizsgálva azt vettük észre, hogy a részecskék eloszlása a csőben egy exponenciális görbével közelíthető. Ez a barometrikus magasság formulával magyarázható, ahol a sűrűség a magasság növelésével exponenciálisan csökken (5.1).

$$\rho = \rho_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \quad (5.1)$$

ahol ρ_0 a $h = 0$ magassághoz tartozó sűrűség, m a részecskék tömege, g a nehézségi gyorsulás, T a hőmérséklet (K) és k az ún. Boltzmann-fél állandó.

A Microsoft Excelbe beépített Solver toolbox-ot használtuk az illesztéshez és a következő egyenlettel (5.2) közelítettük a mérési adatsort:

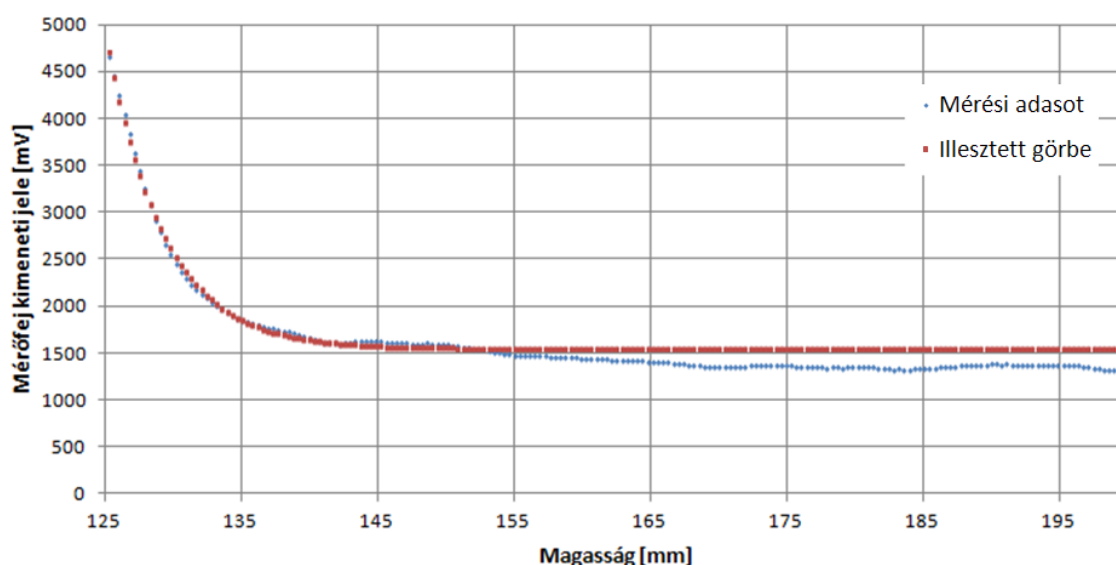
$$U(h) = U_0 + a * e^{-b*h}, \quad (5.2)$$

ahol, U a számolt feszültség, U_0 a mérési offset feszültség, h a magasság (0 a cső teteje), a, b pedig illesztési paraméterek.

Az illesztés során az alábbi paraméter értékeket kaptuk (5.3):

$$U_0 = 1550,782; \quad a = 3159,038; \quad b = 0,090052. \quad (5.3)$$

Az illesztett görbe és a mérési adatsor a következő 21. ábrán látható. Az ülepedés az (5.2) exponenciális törvénnyel jól közelíthető.



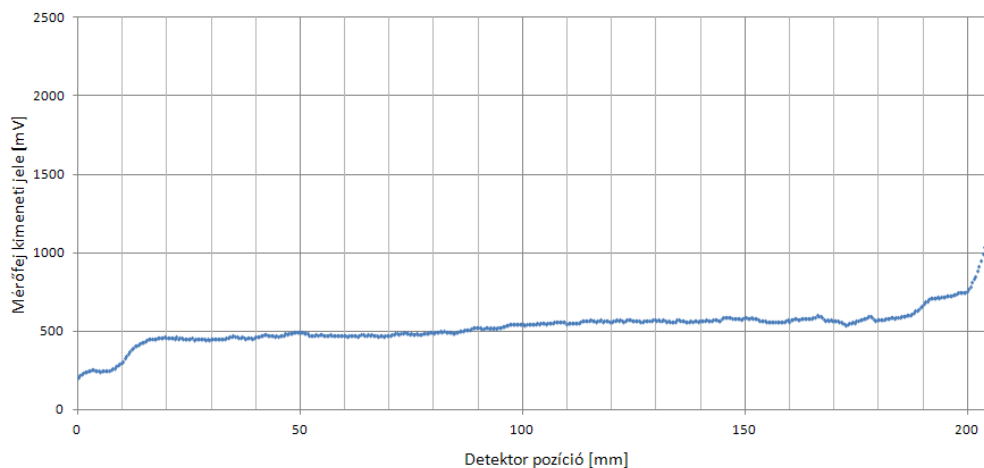
21.ábra: függvényillesztés a mért adatsorra 125 - 200 mm közötti magasságban

5.2.2 Mérés polidiszperz magnetoreológiai folyadékkal

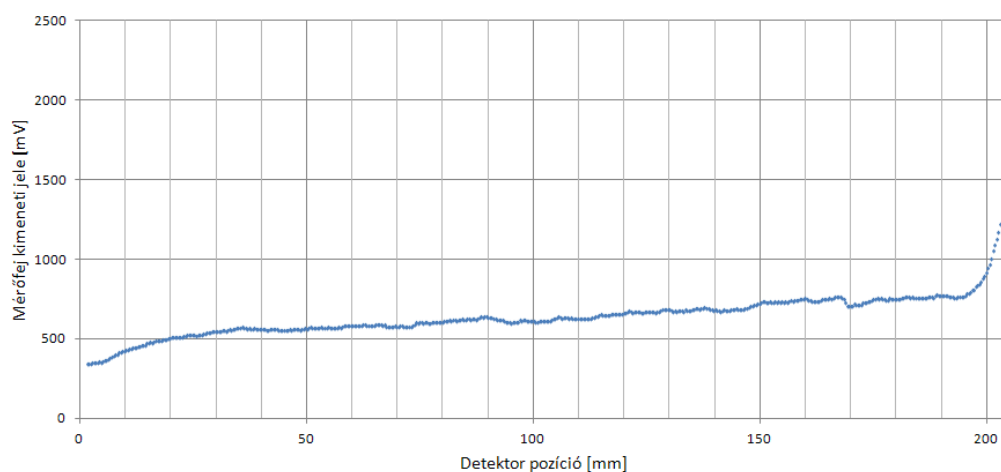


Végeztünk egy mérési sorozatot egy szerves bázisú magnetoreológiai folyadékkal is, amelynél a folyadékfázisban szintén ferromágneses részecskék vannak diszpergálva. A folyadék a Fizika és Mechatronika Intézetben lett szintetizálva, felületaktív anyagot is tartalmaz. A mintát egy 4,2 mm külső és 2 mm belső átmérőjű 350 mm hosszú csőbe töltöttük. Idővel, szemmel láthatóan leülepednek a ferromágneses részecskék az üveg aljára, megfelelő mintát alkotva az ülepedés vizsgálatához. Az ülepedés itt hosszabb ideig tart, mint az előző keverék esetén.

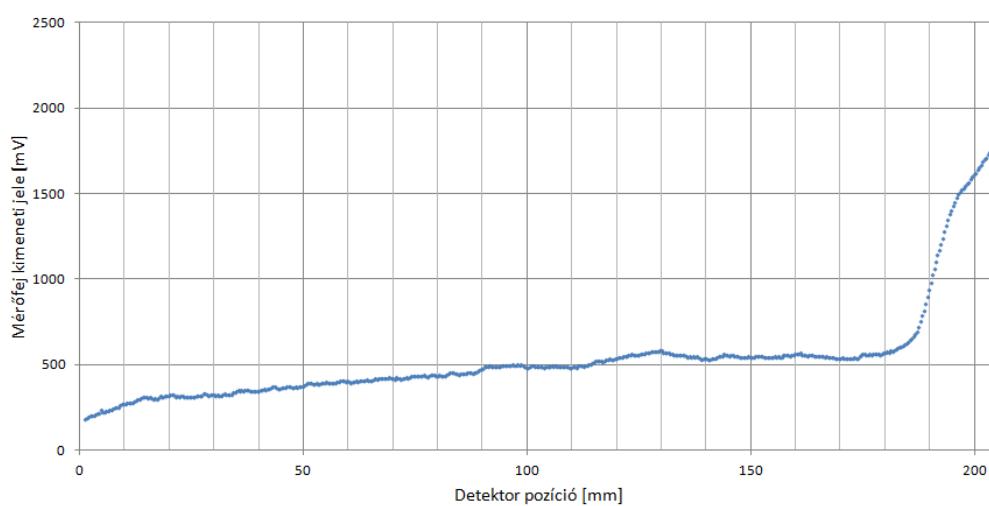
A mérések előtt a magnetoreológiai folyadékot felkevertük egy vékony huzallal. A keverés körülbelül 5 percig tartott, de sajnos a cső aljáról a nagyobb szemcséket nem sikerült felkeverni, így a mérések előtt nem lett homogén a minta. A minta behelyezése után 5 percenként végeztünk egy mérést 1 órán keresztül, majd 10 percenként még 3 mérést. Végezetül hagytuk ülepedni a folyadékot egy hétvégén át, és utána is készítettünk egy mérést. Egy mérés ~2 percig tartott. Az így kapott grafikonok a következő ábrákon láthatók, illetve a kimaradt görbék a mellékletben találhatók.



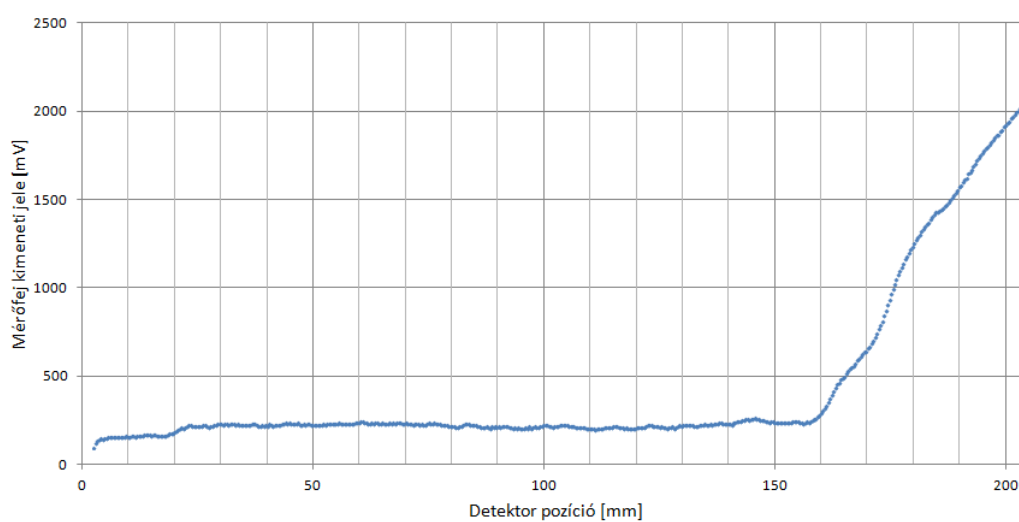
22.ábra: Minta behelyezése után mért értékek



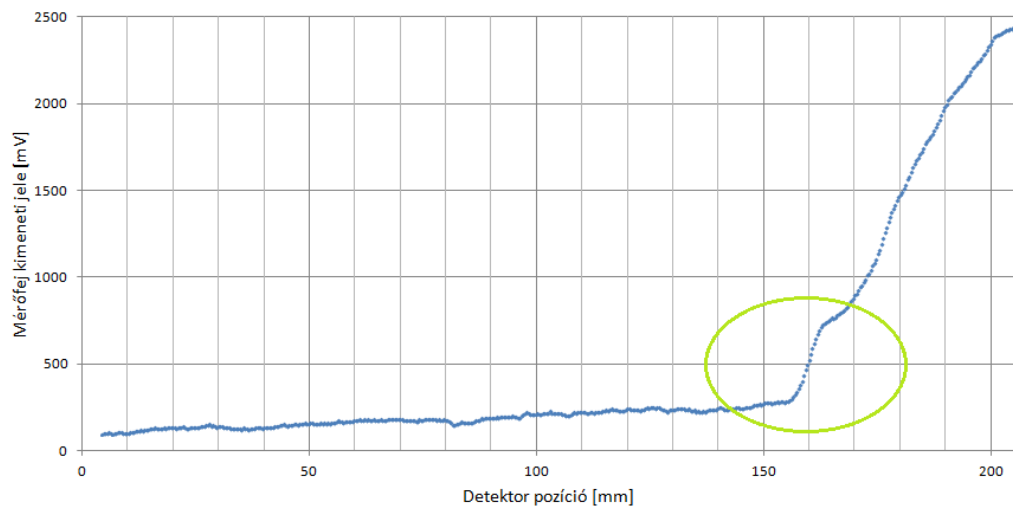
23.ábra: ~5 perc eltelte után mért értékek



24.ábra: ~20 perc eltelte után mért értékek



25.ábra: ~110 perc eltelte után mért értékek



26.ábra: 2 nap eltelte után mért értékek és a magnetoreológiai folyadék

A vizsgált folyadék polidiszperz, azaz a diszpregált részecskék mérete különböző. Ez a mérési eredményeken is látszik, a nagyobb szemcsék gyorsabban leülepedtek a cső aljára, míg a kisebb szemcsék lassabban, illetve volt olyan részecske is, amely nem ülepedett ki ezen az időskálán. A mintában a részecskék összetapadása jóval kisebb, mint a vízbázisúnál, így szemmel látható éles határátmenet szinte csak a teljesen kiülepedett folyadéknál jelentkezett. A további kiértékelésekre nem térünk ki a dolgozatban.

6. Összefoglalás

A magnetoreológiai folyadékok ülepedésének a vizsgálatára készítettünk egy mérőberendezést. A magnetoreológiai folyadékok vizsgálatához egy mágneses elven működő detektort készítettünk. A detektor meghajtásához és jeleinek feldolgozásához egy analóg áramkört fejlesztettünk. A detektor mozgását egy léptetőmotoros lineáris egységgel valósítottuk meg. A léptetőmotorhoz egy meghajtó áramkört készítettünk. Terveztünk egy tápegységet és egy vezérlő elektronikát is a berendezéshez, ezáltal a készülék egy kompakt egységet alkot.

Egy vizes és egy szerves alapú magnetit szemcséket tartalmazó magnetoreológiai folyadékkal vizsgálva megbizonyosodtunk róla, hogy a berendezés alkalmas az ülepedés vizsgálatára.

A jövőbeli feladatok között szerepel a mérőelektronika továbbfejlesztése, ahol az ofszet és az érzékenység beállítást digitálisan lehetne megvalósítani.

Reméljük, hogy a TDK dolgozatunkban bemutatott mérési módszer a jövőben is használható lesz, és alapjául szolgál a Fizika és Mechatronika Intézetben folyó kutatásoknak.

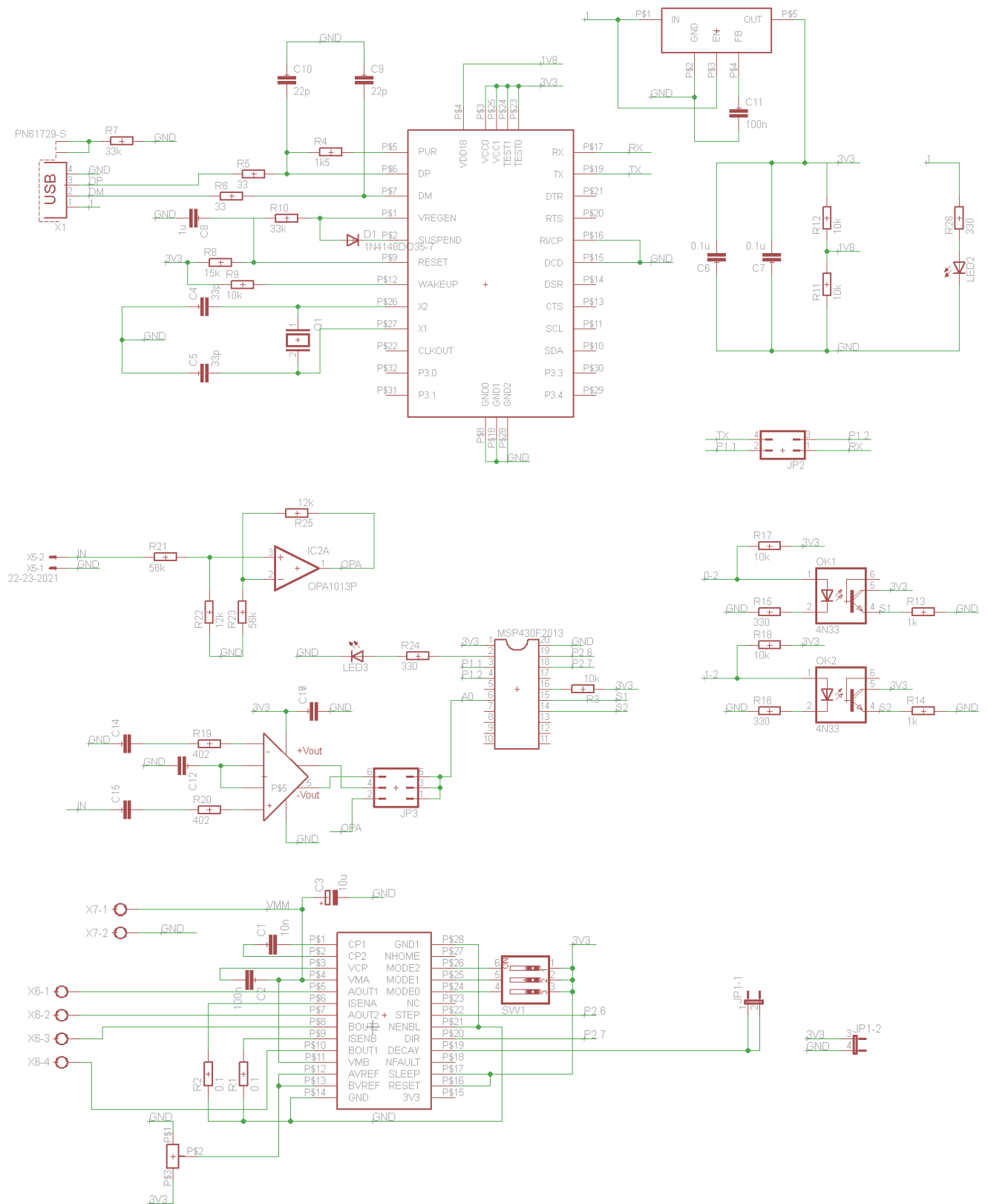
Irodalomjegyzék

- [1] Rosensweig, R. E. (1985): Ferrohydrodynamics. Cambridge University Press, Cambridge
- [2] Odenbach, S. (2002): Magnetoviscous Effects in Ferrofluids. Springer, Berlin
- [3] de Vincente, J. – Klingenberg, D. J. – Hidalgo et al. (2011): Magnetorheological Fluids: A Review. *Soft Matter*. 7, 3701–3709.
- [4] Ohno, K. – Shimoda, M. – Sawada, T. (2008): Optimal Design of a Tuned Liquid Damper Using a Magnetic Fluid With An Electromagnet. *Journal of Physics D: Condensed Matter*. 20, 204146, 1–5.
- [5] Kormann C., Laun HM, Richter HJ: MRfluids with nano sized particiant
- [6] D. Güth, J. Maas (2012): Design of Shear Gaps for High-Speed an High-Load MRF Brakes and Clutches. *Journal of Physics: Conference Series* 412
- [7] George Achorn (2006): Audi R8 Features Delphi's Revolutionary MagneRide Semi- Active Suspension. *Industry News* 2006
- [8] J.D. Carlson, D.M. Catanzarite, K.A.St. Clair (1995): Commercial Magneto-Rheological Fluid Devices. 5th Int. Conf. on Electro-Rheological, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology Sheffield 1995
- [9] www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf
- [10] www.ti.com/product/drv8825
- [11] www.ti.com/product/msp430f2013
- [12] Barkan M. K., Faramarz G., Cahit A. E., Yanming L., Nigar K., Alan F.(2011): Heating of a High-torque Magnetorheological Fluid Limited Slip Differential Clutch, University of Nevada, 2011
- [13] T. Majima, S. Nagai, H. Tomori, T. Nakaruma: Development of 1-DOF manipulator with variable rheological joint for instatntaneous force, 2013

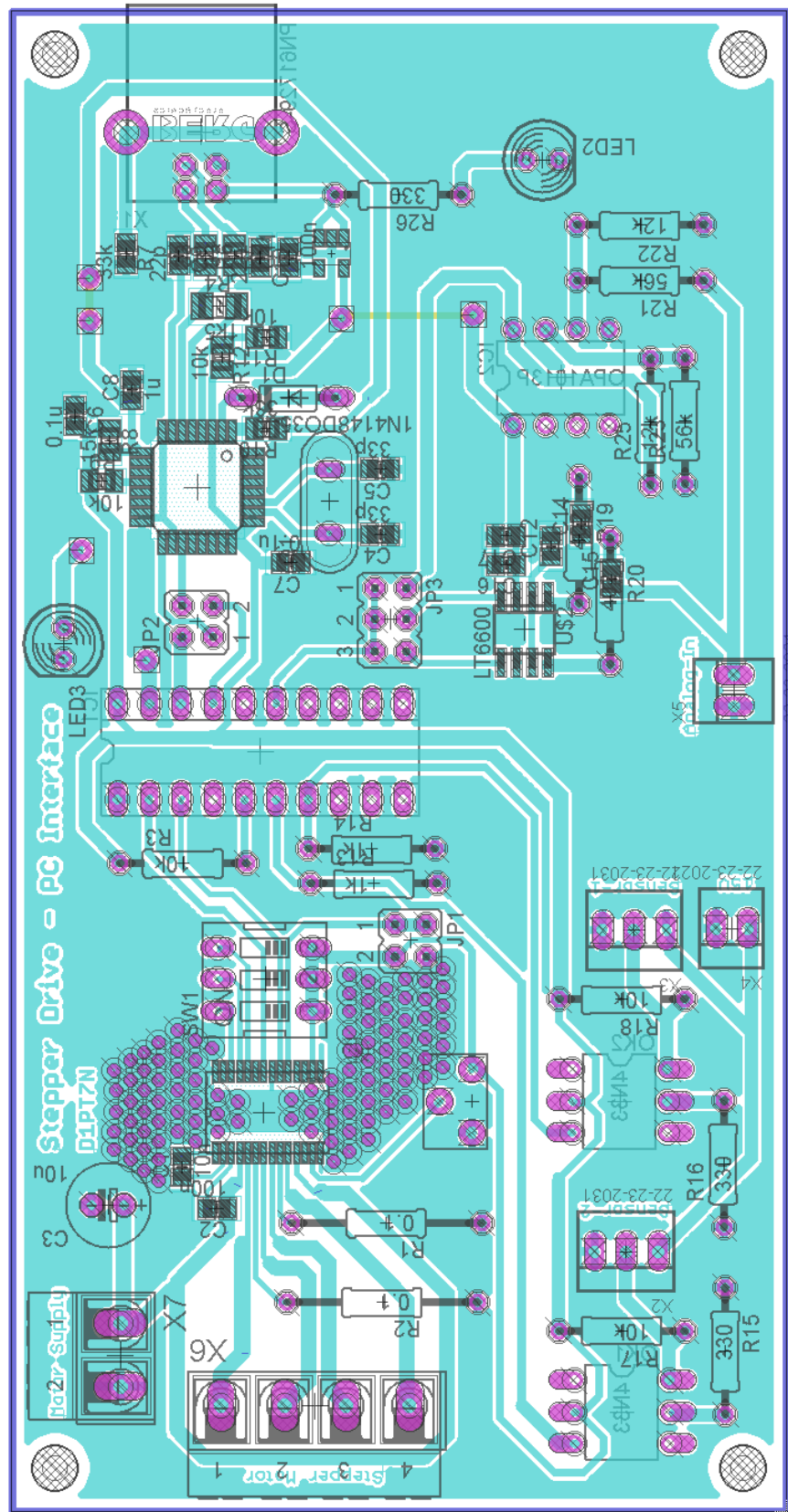
Mellékletek

1. Vezérlőkártya kapcsolási rajz
2. Vezérlőkártya nyákterv
3. Vízbázisú magnetit poros szuszpenzió ülepedése
4. Szerves alapú magnetit poros szuszpenzió ülepedése

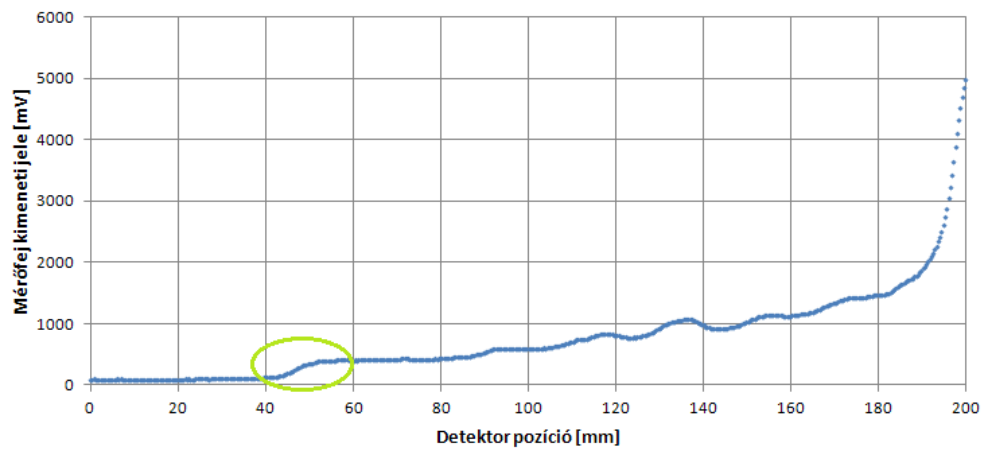
1. Vezérlőkártya kapcsolási rajz



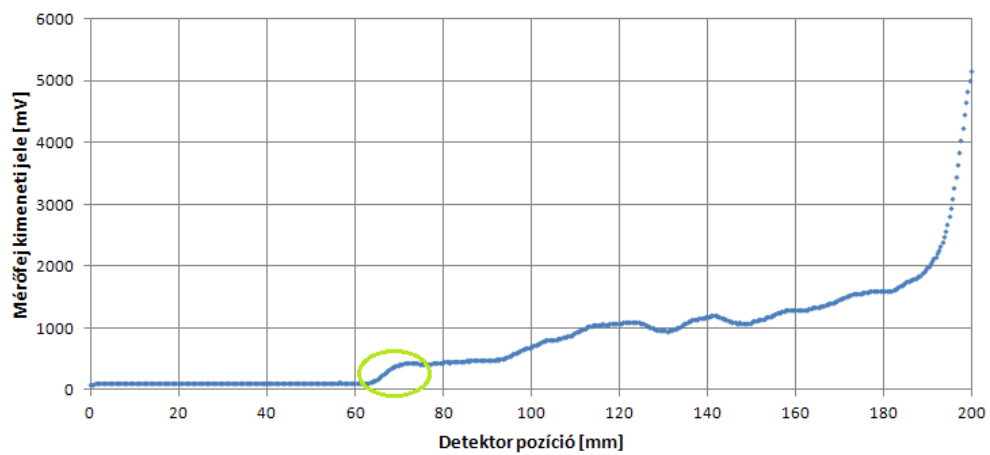
2. Vezérlőkártya nyákterv



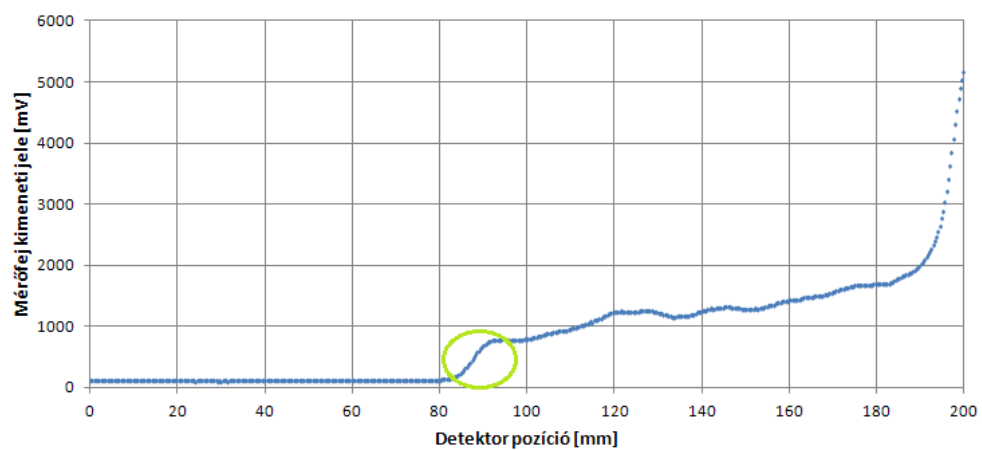
3. Vízbázisú magnetit poros szuszpenzió ülepedése



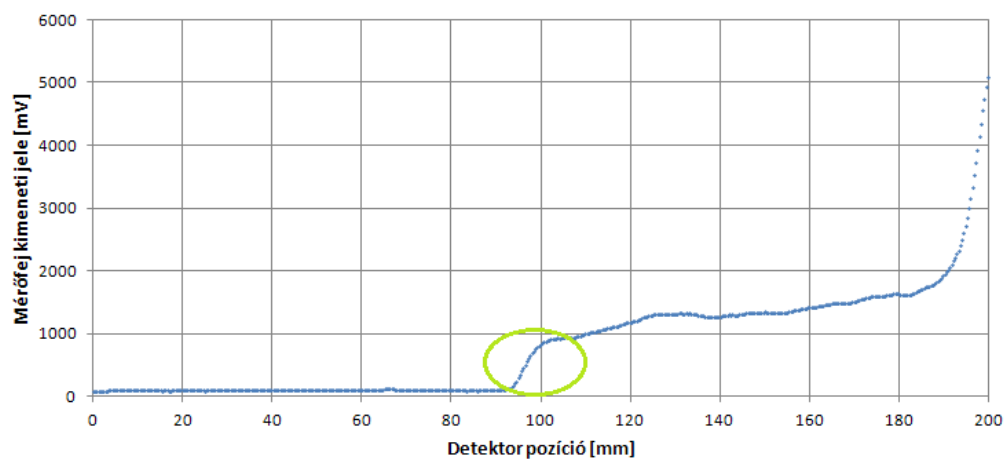
Minta behelyezése után mért értékek



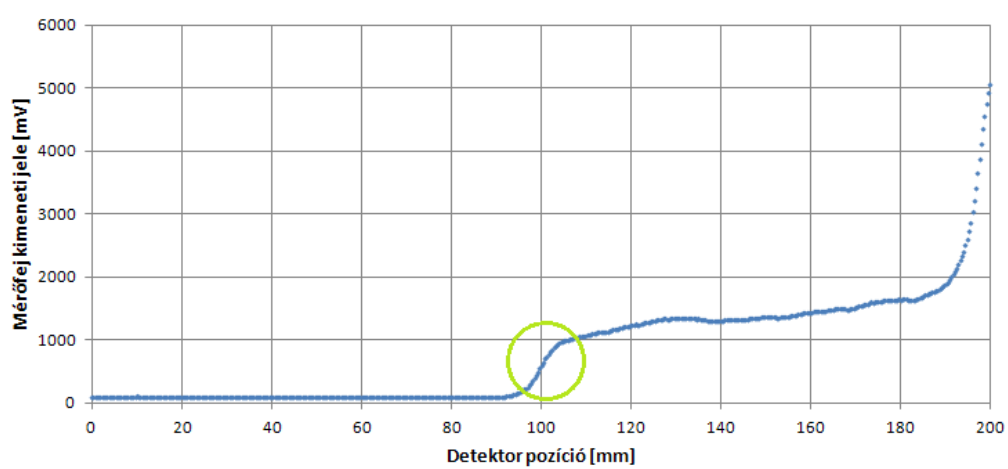
2 perc elteltével mért értékek



5 perc elteltével mért értékek

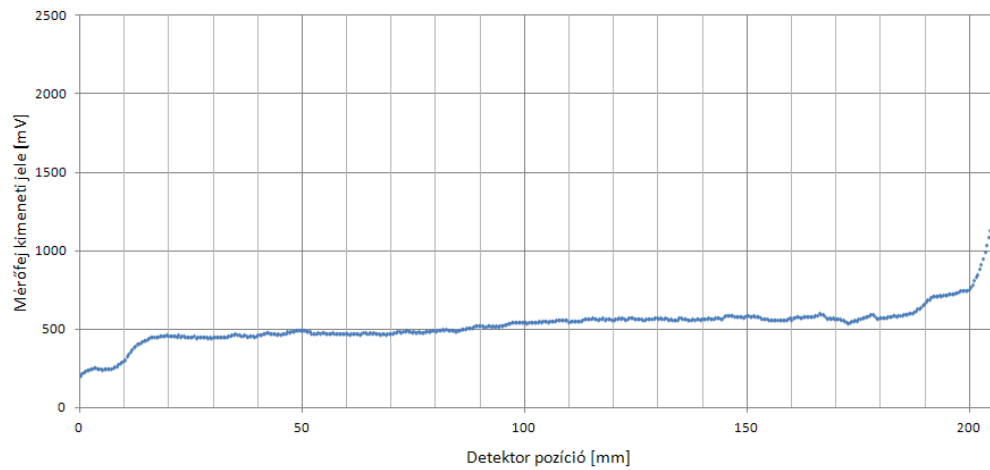


9 perc elteltével mért értékek

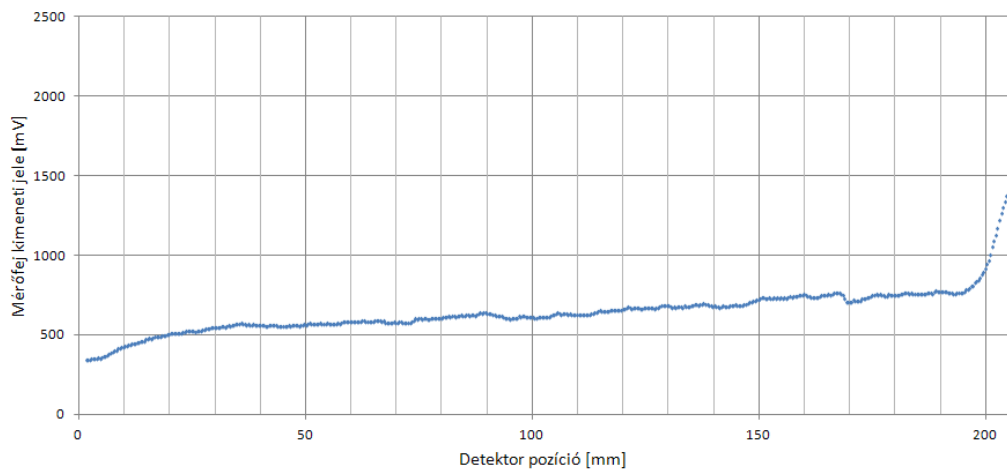


30 perc elteltével mért értékek és a szuszpenzió fotója

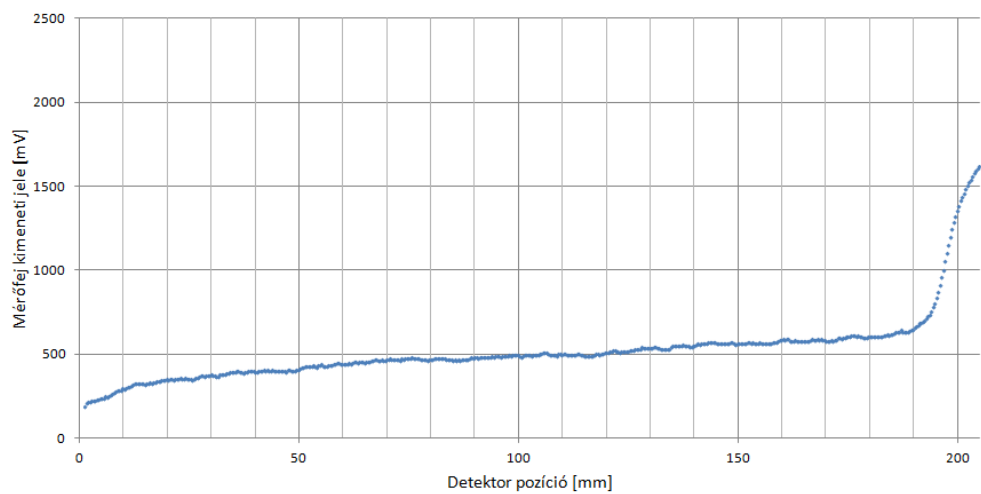
3. Szerves alapú magnetit poros szuszpenzió ülepedése



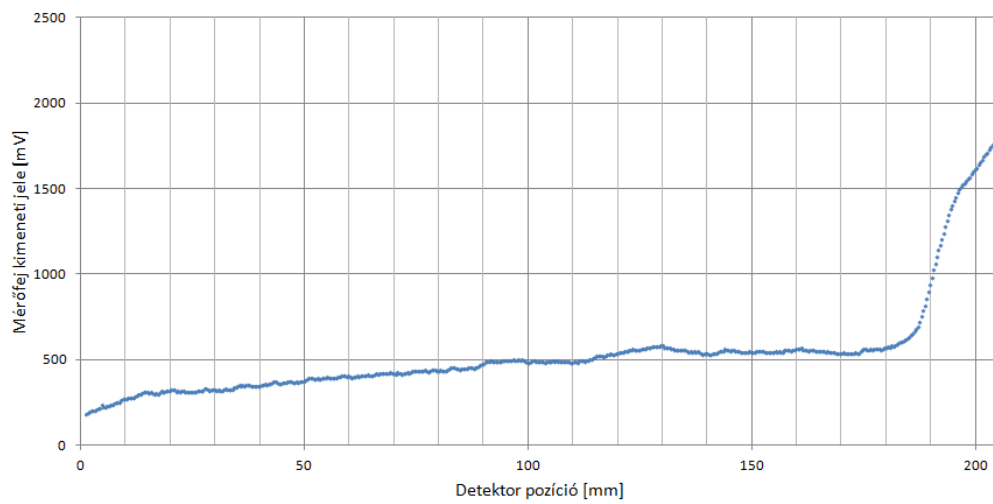
Minta behelyezése után mért értékek



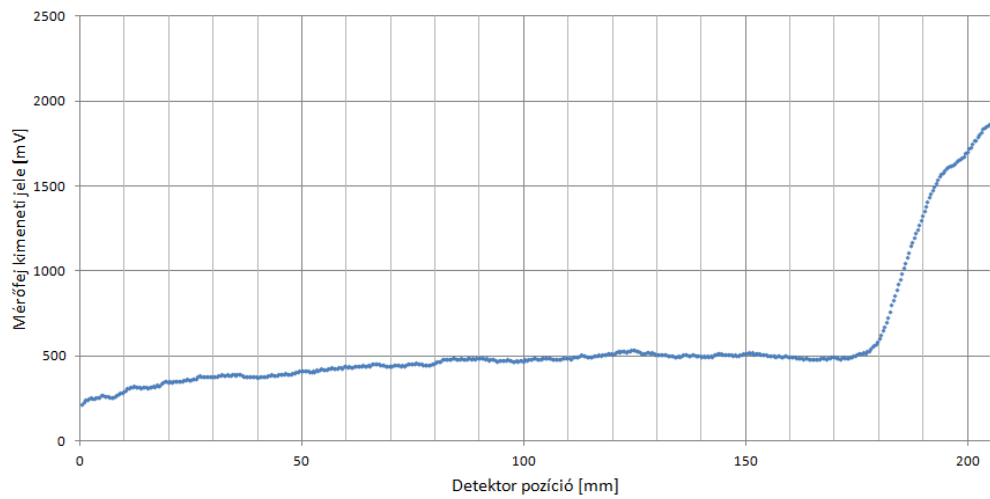
~5 perc eltelte után mért értékek



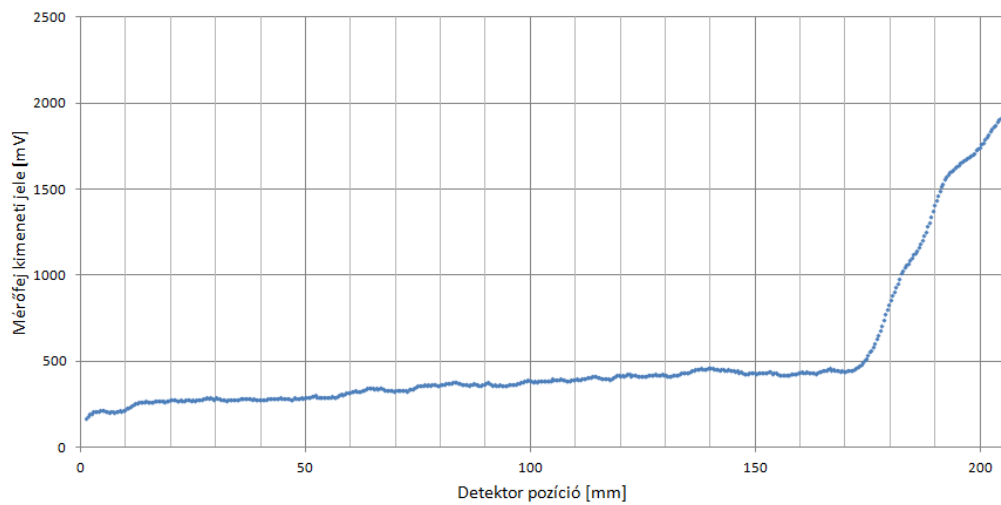
~10 perc eltelte után mért értékek



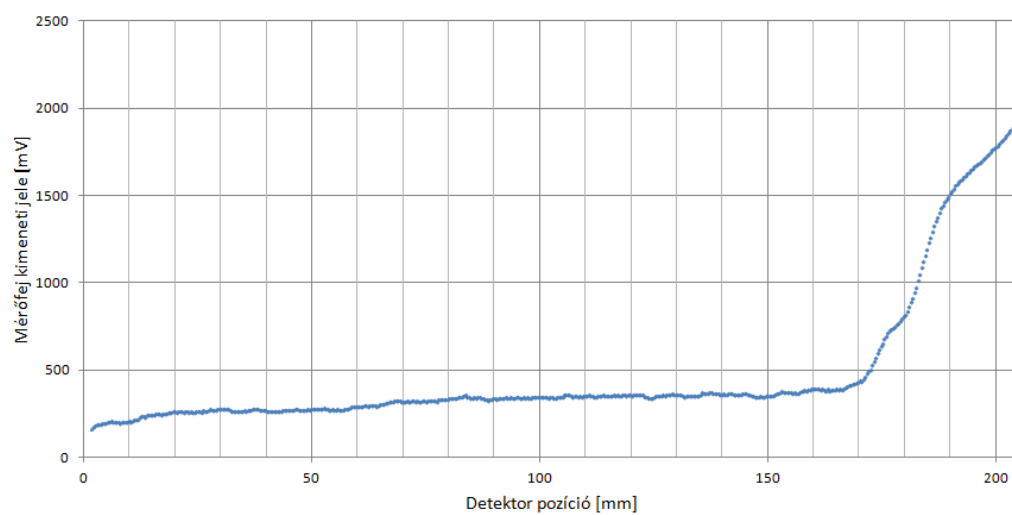
~20 perc eltelté után mért értékek



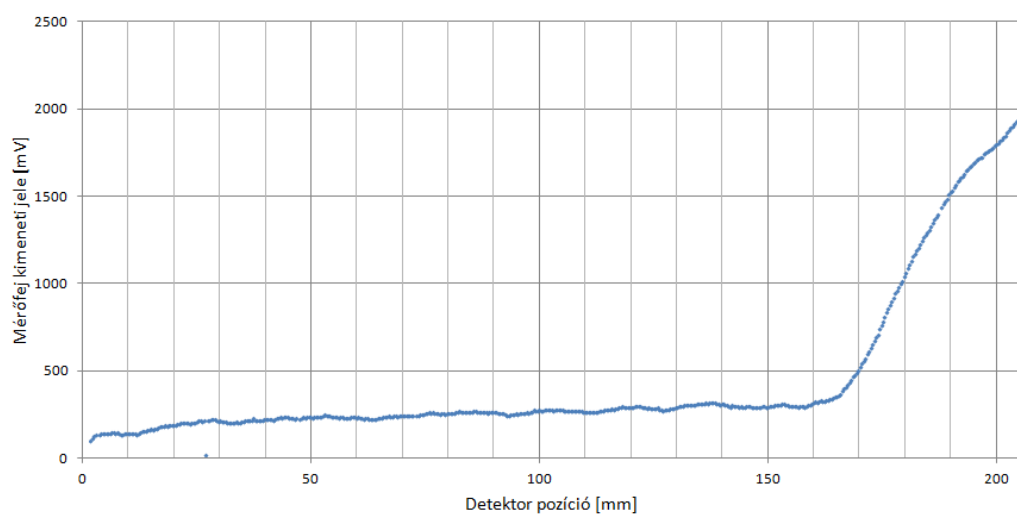
~30 perc eltelté után mért értékek



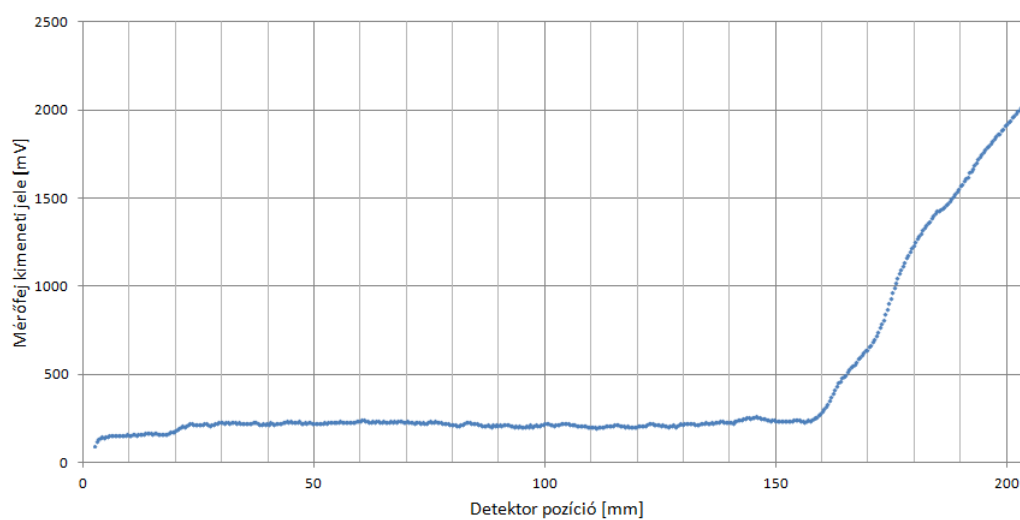
~40 perc eltelté után mért értékek



~50 perc eltelté után mért értékek



~70 perc eltelté után mért értékek



~110 perc eltelté után mért értékek