

# **Mozgáselemzés MEMS alapú gyorsulás mérő adatai alapján**

című mérnök informatikus BSc szakdolgozat

Készítette:

Nyers Szabina

Konzulens:

Tihanyi Attila



*Pázmány Péter Katolikus Egyetem*

*Információs Technológiai Kar*

2011

# Nyilatkozat

Alulírott Nyers Szabina, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Karának hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem. Ezt a Szakdolgozatot más szakon még nem nyújtottam be.

Nyers Szabina

## Tartalomjegyzék

Summary:.....	4
Összefoglaló:.....	5
Bevezetés:.....	6
A feladat:.....	7
A teniszező mozgásformái .....	8
A szerva.....	8
A lapos szerva.....	8
A pörgetett (topspin) szerva .....	8
Nyesett adogatás.....	8
Pörgetett-nyesett szerva.....	8
A csavart adogatás.....	8
A tenyeres ütés.....	9
A fonák ütés .....	9
MEMS-ek:.....	11
Magnetometerek, iránytűk:.....	13
G gyorsulás szenzor: .....	14
1, Piezoelektromos érzékelők kvarc illetve kerámiaalapú érzékelőelemmel .....	15
2, Piezorezisztív érzékelők nyúlásmérő alapú érzékelőelemmel .....	15
3, Kapacitív gyorsulásérzékelők.....	15
4, Induktív gyorsulásérzékelők .....	15
Gyro szöggyorsulás szenzor: .....	17
Tervezett mérések:.....	18
Megvalósított mérés: .....	19
Eredmények: .....	22
Feldolgozási eljárások:.....	43
Felhasználhatóság teniszhez: .....	45
Továbbfejlesztés:.....	47
Összefoglalás:.....	48
Köszönetnyilvánítás .....	49
Irodalomjegyzék: .....	50

# Summary:

Nowadays top sportsmen not only have to pay special attention to their diet, physical form or the expected performance by their trainer, but to the development of the science and technological achievements too. This results in many occasions useful outcomes, represents feedback also to the sportsman and their trainer. This is essential as the feedback provides them with an opportunity to improve their techniques. This way they gain the knowledge of when they make a wrong movement what they have to correct, or if the movement was perfect, they can perform well continuously. In case of tennis, we would like to collect data with an instrument which is attached to the head of the tennis racket, and diagnose if it gives useful data to the trainer. So if it gives accurate data regarding the movement of sportsmen who is a beginner or a top sportsman. The main goal of the experiment is to get the closest to this, to get the most accurate data of the movements. Namely to collect data under real circumstances to improve the future tennis player's game. For future analysis it is very important not only to collect, but save the data provided by the attached instrument. In the instrument the installed 3d accelerometer sensor observes continuously the movements of the racket, as well as the manager with microcontroller saves more than a hundred times the checked results of the X, Y, and Z axis every second. During the serve, for example the main movement range is the Z axis. This way we can calculate the force of the blow, in the moment of the hit. In the same time the measured pick-up value (from all three axes) will be saved in the memory of the IC, what can store data of more than fifteen minutes. With help of a computer, from the saved data we can make further analyses. The great advantage of it is that we do not need a specially prepared tennis racket; it can be used with any racket without an external sensor, and can be analysed. The small size and volume of the instrument will never affect the parameters of the hit. Before, the sportsman's game was only analysed by the trainer's opinion and the video recordings, but now this will be an accurate help. With this instrument not only tennis players, squash players but allot more sports could be improved if the adequate analysis has been completed.

# Összefoglaló:

Manapság a sportolóknak nem csak a megfelelő étrendre, fizika erőnlétre és az edzőjüktől elvárt teljesítményre kell odafigyelniük, hanem a tudomány és technológiai vívmányok fejlődésére is. Ez sok esetben nagyon hasznos eredményeket, visszajelzéseket reprezentál mind a sportolók, mint pedig felkészítőjük számára is. Ami azért elengedhetetlen, mert így tökéletesíteni tudják technikájukat. Tudomást szereznek arról, hogy mikor végeztek rosszul egy bizonyos mozdulatsort, ezt javítani tudják és persze az is kiderül, ha tökéletes, egyenletes teljesítményt nyújtanak. A tenisz esetében a teniszütő tetejére rögzített mérőműszerrel szeretnénk adatokat gyűjteni, majd megállapítani, hogy ez értékelhető eredményeket ad-e esetlegesen egy teniszedző számára. Tehát akár egy kezdő, akár egy profi sportoló mozgására jellemző adatokat ad-e vissza? A tanulmány egyik fő célja, hogy ehhez a lehető legközelebb tudjunk kerülni. Vagyis valós körülmények között olyan adatgyűjtést végezni, amelyből a jövőben e sportág üzöi profitálhatnak. A későbbi elemzésekhez fontos, hogy az ütő tetejére rögzített eszközünk ne csak mérje az adatokat, hanem tárolja is el. A műszerben elhelyezett 3D-s gyorsulásmérő szenzor folyamatosan figyeli a teniszütő mozgását, a mikrokontrolleres vezérlő rendszer pedig másodpercenként több mint százszor rögzíti az X, Y, Z tengelyeken mért pillanatnyi értékeket. Szerva közben például a fő mozgási iránynak, ami az előre-hátrafelé történő mozgás, a Z tengely felel meg. Így ki tudjuk számolni az ütés gyorsulását, erejét az elütés pillanatában. Mindeközben a mért gyorsulásértékek (mindhárom tengelyről) rögzítésre kerülnek a memória IC-ben, amely több mint negyedórányi adatot képes tárolni. A rögzített adatokból számítógép segítségével további elemzések végezhetőek el. Nagy előnye, hogy nem szükséges hozzá speciálisan előkészített, szenzorokkal szerelt ütő, bármilyen teniszütővel használható, tesztelhető, mivel külső szenzorok beszerelése nélkül működik. Kis méretéből és tömegéből adódóan az ütés paramétereit nem befolyásolja. Segítségével remélhetőleg mérhető, összehasonlítható, javítható a teniszezők technikája, amit eddig csupán az edzők meglátásai és videofelvételek alapján volt lehetőség megítélni. Ezen újszerű mérési módszerrel a valós környezetben történő mozgást lehet vizsgálni, eddig nem mért paraméterek elemzésével. Ezzel a segédeszközzel nem csak a teniszezők, fallabdázók, hanem sok más sportág művelőinek mozgása is elemezhető és jobbá, hatékonyabbá tehető megfelelő kiértékelő eljárások segítségével.

# Bevezetés:

Manapság minden sportban a fizikai teljesítmény növelésén túl fontos szerepe van a sporttechnika fejlesztésének, hogy növelni tudják a sportolók által végzett munka hatékonyságát és ez által a teljesítmény pontosságát. A munka során kidolgoztam egy mérési eljárást mely egy teniszütőre rögzített 3D gyorsulásmérők által szolgáltatott adatokból, illetve azok feldolgozásából származtatott eredményekből elemezhetővé teszi a sportoló, azaz az ütő mozgását. Meg kell határozni a kialakított mérési módszer használhatóságát, valamint, hogy lehetséges-e a sportoló pályán történt mozgásának meghatározása. További vizsgálat és modell bővítés során meg kell határozni mennyire javítható az eljárás gyroscope, vagy más MEMS alapú szenzor alkalmazásával. A mért és feldolgozott adatok vizsgálatával és feldolgozásával levonható-e egy edző számára a megfelelő konzekvencia. A munka célja egy olyan eszköz tervezése, melynek segítségével elemezhető lesz egy teniszező kézmozdulata. Akár a szerva, vagy a fonák ütés illetve a tenyeres ütésnél is fontos, hogy milyen mélyről indítottuk az ütést, vagy mennyire lendült hátra a kezünk, milyen gyorsasággal és ennek következtében milyen erővel tudtuk elütni a labdát. Ezek tökéletes véghezvitele mind elengedhetetlenek egy jó teniszező számára. A munka célja valóban az, hogy megpróbáljunk segíteni a teniszezőknek egy olyan eszköz kifejlesztésével, mellyel mérhetik, rögzíthetik és értékelhetik saját, valós idejű mozgásukat és teljesítményüket. Tökéletesíthetik technikájukat, precizitásukat, valamint fény derülhet az eddigi esetlegesen rosszul rögződött mozdulatokra, így lehetséges azok javítása. Az írásmunkában a rövid összefoglaló és bevezető után olvasható az irodalomkutatás eredménye a MEMS-ekre vonatkozóan, különös tekintettel a sportra. Megtalálhatóak a felhasznált eszközök leírásai, felhasználhatóságuk határai. A tervezés részletes leírása valamint a mért adatok, a hozzá tartozó ábrákkal, grafikonokkal és a mérésből levonható következtetések mind szerepelnek a továbbiakban. Egy összefoglalóval zárul majd a dolgozat, de természetesen a tartalomjegyzék, mellékletek illetve az irodalomjegyzék is fellelhető.

## **A feladat:**

Első sorban az irodalomkutatás elvégzése volt fontos, mely tartalmazza a MEMS eszközök működését, és felhasználhatóságát. Az irodalomkutatás kiterjedt a MEMS eszközök sportban történő alkalmazásának eddigi eredményeire is. Majd összefoglalja a különböző mozgások elemzésére használt megoldásokat függetlenül attól, hogy milyen módszerrel történt a mozgás rögzítése. A hasonló témában elért eredmények felhasználásával javaslatot adok a vázolt feladat megoldására. Ezután készítek egy minta rendszert és annak felhasználásával rögzítem a tervezett mozgási adatokat. Az adatrögzítést és előzetes méréseket úgy terveztem, hogy a feladat körülményeit pontosan modellezzék. A tervezett méréseket elvégzem a rendelkezésre álló eszközökkel, és gyűjtök mérési adatokat. A mérési eredményeket megjelenítem, és elemezem annak érdekében, hogy a későbbiekben majd meg tudjam állapítani, hogy mely matematikai módszerekkel, eljárásokkal lehetséges felhasználható eredmény elérése. Végül értékelem az elvégzett munkát, és meghatározom, hogy mennyire használható a kialakított rendszer. Mindezek után, pedig ha lehetséges, akkor javaslatot teszek a módosításra és továbbfejlesztésre.

# A teniszező mozgásformái

**A szerva** vagy más néven adogatás kezdeményezi a labdamenetet. Az adogatójátékos feldobja a labdát, magasan a levegőben megüti az ütőjével: a labda a háló érintése nélkül az ellenfél térfelén található átellenes adogatóudvarban pattan le. A szerva akkor is szabályos, ha az adogató nem fej fölül szervál (nem dobja fel a labdát), hanem lepattintja a földre, és alulról üti át.

**A lapos szerva** a leggyorsabb, ekkor a labda nem pörög a levegőben, hanem gyorsan átszeli azt, egyenes vonalban vágódik az ellenfél adogatóudvarába. A férfi teniszezők szervájának sebessége meghaladhatja a 200 km/h-t is.

**A pörgetett (topspin) szerva** ütésekor a játékos a labda alsó részét érinti a levegőben. Ez a szerva sokkal lassabb. A labda pörgése lehetővé teszi, hogy magasan a háló fölött érkezzen az ellenfél térfelére, majd az adogatóudvarba bukjon. A pörgetett szerva ütéséhez gyakran több erő szükséges, mint a laphoz. A fonákra érkező pörgetett szerva jó előkészítés lehet szerva-röpte játékhoz. Ennek a szervának a technikája nehéz, mivel az adogatójátékosnak egészen a feje fölött, sőt, még hátrébb kell megütnie a labdát. Ez összetett mozdulatsort igényel.

**Nyesett adogatás:** a jobbkezes teniszező labda hátsó részét jobbra tartó mozdulattal üti meg (balkezes játékos ellenkező irányba csavar). A csavart labda a levegőben kissé balra tart, és lepattanáskor megcsúszik, és még kijebb kanyarodik lepattanás után. Ennél a szervánál nagy a hibaszázalék, de ha sikerül, az ellenfél gyakran bele sem tud érní (ász), alkalmas az ellenfél kiszorítására, de pattanhat úgy is, hogy egészen testre érkezik, így a fogadó nem tudja megfelelően fogadni.

**Pörgetett-nyesett szerva:** az előzőek kombinációja, a labda lefele pörög, oldalra tart és magasra pattan.

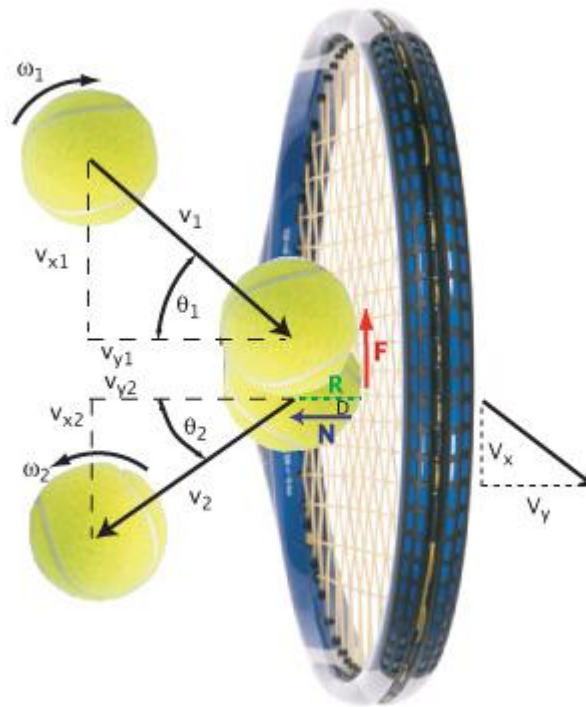
**A csavart adogatás** egy különleges típusú pörgetett-nyesett szerva, ami a lepattanás után máshogy viselkedik, mert sokkal inkább pörög, mint oldalra csavarodik. Ez a legnehezebb szervatípus, az adogatójátékosnak egészen a háta mögött kell megütnie a labdát.



**A tenyeres ütés** a test jobb oldalán indul (egy jobbkezes játékos esetében), a labda érintése után elhalad a test előtt, majd a baloldalon befejeződik. Ehhez különféle ütőfogásokat használnak, melyek az idők folyamán rendre változnak. A legfontosabbak: a kontinentális, a keleti, a közép-nyugati és a nyugati. Labdamenet közben sok játékos változtatja meg az ütőfogást attól függően, hogy milyen ütést szeretne ütni: pl. a nyesést és a szervát kontinentális fogással ütik.

**A fonák ütés** a test bal oldalán indul (jobbkezes játékos esetén), a test előtt keresztben folytatódik, miközben érinti a labdát, majd a test jobb oldalán fejeződik be. Ütés közben lehet egy kézzel vagy két kézzel fogni az ütőt. Általánosan elfogadott, hogy sokkal bonyolultabb, mint a tenyeres ütés. [1]

Ezek a mozgásformák úgy írhatók le és jellemezhetők a legjobban, hogy ha ismerjük a labda pályáját és az ütő helyzetét az ütés pillanatában. A mérés során arra kell gondot fordítani, hogy meg tudjuk határozni az ütő függőlegeshez viszonyított helyzetét, valamint a labdával való találkozáskor az elmozdulását és az ütés végén az ütő helyzetét. Ez a különböző ütőfajtáknál vagy szervatípusoknál természetesen mind eltérő lesz. A labda továbbhaladása az ütővel való találkozás után függ mind a becsapódás erejétől, a beesési szögtől, a sebességtől. És ezek is más-más értékűek az ütközés után, hiszen mind a merőleges, mind pedig a párhuzamos húrok befolyásolják a labda továbbhaladását. [2]



1. ábra  
Az ütő és a labda egymáshoz viszonyított pozíciója

Az 1. ábrán jól látható, amit fent említettem

$\Theta$ : a beesési szög

$\omega$ : a szögsebesség

$v$ : a sebesség

$v_{x,y}$ : a sebesség vektor összetevőkre bontása, merőleges és párhuzamos komponensek [8]

# MEMS-ek:

A MEMS mikro-elektro mechanikai rendszerek angol rövidítése. Elektronika, mechanikai elemek, szenzorok, szelepek integrációja egy közös szilícium felületen, amely mikrogyártási technológiát alkalmaz. Használják a Bio-Memseket az orvosi és egészségügyi technológiákban is, tintasugaras nyomtatókban, a modern autók irányváltóztatásának kimutatásánál, légszák vezérlésénél, szilícium nyomásérzékelőknél, DMD chipeknél a projektorokba és számos más példát is említhetnék. A DMD rövidítés az angol digital micromirror device kifejezésnek a rövidítése. Magyarul egy digitális mikrotükör eszköz, egy optikai félvezető és egy vetítési technológia alapját képezi. [12] A MEMS-ek több okból kifolyólag is hasznosak és megbízhatóak. Egyrészt nincsenek összeszerelési lépései a mechanikának, mikroelektronika szempontjából egyszerű a gyártása, a tervezési folyamat hasonlít a klasszikus mikroelektronika terveihez, nem bonyolult, főként mechanikai elemek, rugók, karok vannak benne. Ezen túl a nyersanyagok is megbízhatóak és könnyen elérhetőek, amik a szilícium, kvarc, üveg, polimerek. A leggyakrabban használt anyag a szilícium. A szilícium megmunkálása ismert. Rendkívül jó tulajdonságokkal bír, tiszta, rugalmas, jól súrlódik és ez által nincs kitéve nagy kopásnak. A hőhatást akár 500 Celsius fokig is bírja. Szakítószilárdsága nagyon jó, szerkezete mechanikailag stabil, nincsenek rejtett hibák. És nagy a piezo ellenállása. [13] A két fő vonala a MEMS-eknek a Bulk és a Surface micromachining vagyis a tömbi és a felületi mikromechanika. A tömbi mikromechanika esetében a szilícium szeletben alakítjuk ki a kívánt struktúrát anizotróp marás segítségével. Ezzel a nedves maratással szabályos és akár nanométer pontosságú mikromechanikai szerkezetek készíthetők. A felületet többnyire kémiai marással alakítják, de ez nem kizárólagos. A maszkolás után a felesleget eltávolítják. Membránok, szelepek és cantileverek megmunkálásánál alkalmazzák például a tömbi mikromechanikát. Ezek nem forognak, nem mozognak, csak megfeszülnek és maximum elmozdíthatók valamelyik irányba. Előállítása olcsó, nyomásérzékelőket, gázszenzorokat készítenek felhasználásukkal. [14] Ezzel szemben a felületi mikroelektronikánál alapjait tekintve nem bele marunk, hanem ráépítünk. Rétegek egymás utáni sorozata. Szerkezeti anyagok -ami lehet például szilícium is- és az áldozati réteg ( $\text{SiO}_2$ ) jönnek létre. Az áldozati réteget szelektív marással távolítjuk el. A struktúra kialakítása a szelet felületén, litográfiai úton keletkezik. A fő különbség a tömbi mikroelektronikától, hogy ezzel a módszerrel mozgatható részeket gyárthatunk. A sport területén rengeteg olyan terület van, ahol a MEMS eszközök segítséget nyújtottak már. Számtalan típusú, méretű és fajtájú órát lehet vásárolni, amiben vagy gyorsulásmérő található, ami ugye a futók számára rendkívül hasznos lehet, vagy légnyomásmérő van benne, ami pedig egy hegymászó ember

elengedhetetlen kelléke. Vagy ha a száguldó cirkusz, azaz a Forma 1-es versenyautóknak csak a kormányára gondolunk, ott is rengeteg MEMS technológiát találunk. Vagy a kajak-kenu sportágban is ismert egy hajóra rögzíthető eszköz, melynek működési elve rendkívül hasonlít az általam elképzeltre. Igaz, hogy ott a hajó fő mozgási iránya legfőképpen egy tengelyre összpontosul, a Z tengelyre, mivel ott ugye a legfontosabb a hajó mozgása a vízen. Ellenben ott is mérnek különböző adatokat, mint például gyorsulás és csapás/perc. A gyorsulás adataiból meghatározható a csapásszám. Egy megfelelően méretezett és a mikrokontrollerben megvalósított IIR szűrő kiszűri a nemkívánatos jeleket, majd ezután megkeresi a gyorsulásgörbe maximumait. Két egymást követő maximális érték között eltelt időből számítható a csapásszám. Több egymást követő csapásszám értékének figyelembevételével a műszer kijelzi az adatot, amit a sportoló a húzásonként frissülő kijelzőről le tud olvasni. Ezért véleményem szerint ez a technológiai megoldás áll a legközelebb az általam elképzelt megvalósításhoz. Itt is egy gyorsulásmérő szenzor folyamatosan figyeli a kajak mozgását, a mikrokontrolleres vezérlő rendszer pedig másodpercenként több mint százszor rögzíti az X, Y, Z tengelyeken mért pillanatnyi értékeket. A mért értékek rögzítésre kerülnek a memória IC-ben. A rögzített adatokból számítógép segítségével további elemzések végezhetők el. A gyorsulás-grafikonok fontos információval szolgálnak a kajakos technikájáról: melyik karral húz erősebbet, mennyire egyenletesen adja bele a húzásba az erőt mennyire billegtetni oldalra a hajót, mennyire változik a húzás-technika az edzés során, és még számos egyéb apróság megállapítható, amelyek segíthetik a sportolót technikája javításában. Igaz ugyan, hogy itt a legfőbb hangsúly a Z tengely menti elmozduláson, vagyis az előre és hátrafelé haladáson volt. A teniszezéskor mindhárom tengelyen történő elmozdulás éppolyan fontos.

# Magnetometerek, iránytűk:

A mágneses tér erősségét, egyes esetekben az irányát is mérő műszer. Az abszolút magnetometerek önmagukban mérik a mágneses mezőt, anélkül, hogy referenciaként standard mágneses eszköz használnának. A leggyakrabban használt magnetometerek a vibrációs magnetométer, az elfordulás-galvanométer és a modernebb nukleáris magnetométer. Vibrációs eszközt Gauss készített elsőként 1832-ben, amely egy vízszintesen felfüggesztett kis mágnesrúd (vagy -tű) rezgési idejére támaszkodik. Ugyanezt a mágneset ezt követően rögzítették és egy másik hasonlóan felfüggesztett mágnes kitérítését vizsgálták az előző mágnes terében. A kitérés-galvanométer ismert méretű Helmholtz-tekercekre épül, amelynek középebe egy kis mágnes függesztenek fel. A kis mágnes elfordul, és a nyugalmi helyzetét a Föld mágneses tere, a tekercsek mágneses tere és az a szög határozza meg, amellyel a tekercsüket el kell fordítani ahhoz, hogy a mágnes iránya a tekercsek tengelyébe essen. Az érzékeny nukleáris magnetometerek egy vízmintában precesszáló protonok által valamely tekercsben keltett audiófrekvenciás feszültségjelek mérésére épülnek. Használatosak még különböző relatív magnetometerek, a Föld mágneses terének mérésére, továbbá egyéb berendezések kalibrálására. Ezzel az eszközzel már meghatározható a föld mágneses terének erőssége és iránya is.

Az iránytű egyszerű irány meghatározó műszer, amelyben egy függőleges tengelyen elhelyezett szabadon lengő mágneses acéltű a földmágnesesség hatására közel az észak-déli irányba áll be.

Létezik olyan speciálisan kialakított giroszkópot tartalmazó műszer, amivel ténylegesen megtalálható a Föld északi és déli sarka. Ez az eszköz a giroszkopikus iránytű, amely a Föld forgástengelye által kijelölt valódi északra mutat, nem pedig a mágneses észak felé, tehát a kijelzés nem tartalmazza a mágneses deklinációt. Ebből következik, hogy a giroszkopikus iránytűre sincs hatással a földmágnesesség, így érzéketlen a fémtestek és elektromos alkatrészek mágneses zavaróhatásaira is. A többnyire hajókon használatos „gyrocompass” neve ellenére tehát más műszert takar, mint a repülőgépeken használatos pörgettyűs iránytű, de az közös bennük, hogy mindkettőben giroszkóp található és egyik sem a Föld mágneses mezejét használja ki működése során. A Föld forgásából adódó erő fordítja a giroszkópot észak-déli irányba, mivel a giroszkóp forgástengelyén ekkor lesz a Coriolis-erő forgatónyomatéka nulla, amire a szabadon felfüggesztett forgó testek törekednek. [16]

# G gyorsulás szenzor:

A mérések pontosságával szemben támasztott egyre nagyobb követelményeket a modern analóg és digitális mérőeszközök kielégítik, de csak akkor, ha a mérőlánc többi eleme is teljesíti azokat a követelményeket. A mérés pontossága gyakran a helyes mérési elrendezésen, a megfelelő kábelezésen és az érzékelő kiválasztásán múlik. Nagyon gyakori a rezgés illetve a gyorsulás mérése, melynek pontossága elsősorban a mérési elvtől, tehát az érzékelő típus kiválasztásától függ. Minden rezgésmérés gyorsulásérzékelésen alapul, melynek ugye matematikai összefüggéseit ismerjük:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

a: gyorsulás

v: sebesség

t: idő

s: út

Méréstechnikai szempontból alapvetően három gyorsulástípust különböztetünk meg [18]:

1, Lineáris gyorsulás:  $a = \frac{dv}{dt}$  állandó

2, Rezgés gyorsulás:  $a = \frac{dv}{dt}$  állandó,  $a(t) = x \sin \omega(t)$

3, Sokk:  $a = \frac{dv}{dt}$  ahol  $a(t < t_0) = 0$ ,  $a(t_0) \ll 0$  vagy  $a(t_0) \gg 0$ ,  $a(t > t_0) = 0$

Alapvetően mindegyik gyorsulástípus egy bizonyos érzékelő típust illetve érzékelési elvet kíván. A hagyományos érzékelők működése a Newton-törvényen alapul. ahol köztudottan:

$$F = ma$$

a: gyorsulás

m: tömeg

F: erő [9]

Ebből az egyenletből a hagyományos gyorsulásérzékelők funkcionális elemei levezethetők. A mérendő egység a gyorsulás. Ez a gyorsulás egy szeizmikus tömegre hat, amely erőhatást fejt ki az érzékelőelemre. Az érzékelőelem ezt az erőt villamos jellé alakítja át. Működési elve alapján többféle érzékelő típus létezik. [17]

### **1, Piezoelektromos érzékelők kvarc illetve kerámiaalapú érzékelőelemmel**

Az érzékelők a kvarc illetve kerámiaalapú érzékelőelem töltésgeneráló tulajdonságát használják ki. Az érzékelőelem véges ellenállása miatt ezek az érzékelők csak dinamikus gyorsulások és sok mérésére alkalmazhatóak. A kimeneti jel villamos töltés illetve feszültség. Mindkét típusú kivitelnek különleges, egymást részben átfedő alkalmazási területei vannak.

### **2, Piezorezisztív érzékelők nyúlásmérő alapú érzékelőelemmel**

Ennél a típusnál az érzékelőelemet párhuzamosan rögzítik egy az érzékelőben lévő rugós rendszerrel. Mechanikus terhelés esetén megváltozik az ellenállása. Megfelelő táplálás esetén a kimeneti jel feszültség. A piezorezisztív érzékelők lineárisgyorsulás, rezgés és sok mérésére egyaránt alkalmazhatóak.

### **3, Kapacitív gyorsulásérzékelők**

Itt a szeizmikus tömeg egy rugóként szolgáló kondenzátorra hat, melynek kapacitása az erőhatás nyomán változik. Az érzékelőbe beépített kapacitásmérő híd szolgálja a gyorsulással arányos kimeneti feszültségjelet. Az ezen az elven felépített érzékelők lineáris gyorsulások és viszonylag lassú, alacsonyfrekvenciás rezgések mérésére kiválóan alkalmazható.

### **4, Induktív gyorsulásérzékelők**

Az érzékelők egy differenciáltranszformátorra épülnek, melynek magja szeizmikus tömegként szerepel és gyorsulás hatására az induktivitást megváltoztatja. Az így felépített érzékelők lineáris gyorsulások és lassú, alacsonyfrekvenciás rezgések mérésére alkalmazhatóak. [11]

A méréshez alkalmazható érzékelő illetve érzékelő típus kiválasztása természetesen elsősorban a mérendő gyorsulástípus alapján történik. Ezen kívül ugyanolyan fontos a környezeti hatások figyelembe vétele és az érzékelő maximális méretének és súlyának betartása a rezgésértékek illetve a rezgőrendszer saját frekvenciája megváltozásának kikerülése érdekében. Továbbá a várható mérési tartományt figyelembe kell venni mind a gyorsulás értékek, mind pedig a frekvencia tartomány szempontjából. A mérés pontossági követelményeinek megfelelően a következő paramétereket is figyelembe kell venni:

- az érzékelő linearitása és felbontás

- az érzékenység frekvenciamenete
- az érzékenység hőmérséklet függése
- az oldalirányú gyorsulásérzékenység
- mérési hiba hajlítás miatt
- mérési hiba ugrásszerű hőmérsékletváltozások miatt [15]



# Gyro szöggyorsulás szenzor:

Az utóbbi időben egyre nagyobb teret hódítanak maguknak az inerciális szenzortechnikában a mikro-elektromechanikai MEMS szenzorok. A fejlesztéseknek köszönhetően egyre pontosabb giroszkópok és gyorsulásmérők jelennek meg a piacon. Az extrém kis méret, az alacsony ár, és az hogy egyszerű alkatrészként beferraszthatók a feldolgozó elektronika mellé, lehetővé teszi alkalmazásukat az olcsóbb, kisebb pontosságot igénylő navigációs alkalmazásokban. A mikromechanikai giroszkópok működési elve azon a dinamikai törvényszerűségeen alapszik, hogy egy forgó koordináta rendszerben mozgó testre a szögsebességgel arányos Coriolis erő hat. [5] Egy MEMS giroszkóp esetén a mozgó test egy mikroelektronikai technológiával szilíciumhordozón kialakított rezgő tömeg. Amikor a hordozó és a hozzá rögzített rezgő mechanikai rendszer forog arra a szögsebességgel arányos a rezgés irányára merőleges erő hat így a tömeg a rezgés irányára merőlegesen elmozdul. Ez az elmozdulás kapacitív módon mérhető. Giroszkópokat gyakran alkalmaznak iránytűk helyett vagy azok kiegészítéseként. Ha ugyanis az eszközt további két tengellyel látjuk el úgy, hogy a három tengely egymásra kölcsönösen merőleges legyen, hogy a giroszkóp tetszőleges irányba szabadon el tudjon fordulni, akkor a pörgő kerék megőrzi forgási tengelyének eredeti irányát, függetlenül attól, hogy a kerete hogyan fordul el. A giroszkóp használható a stabilitás fokozására is. A legközismertebb ilyen előfordulása a kerékpár kereke, amelynek forgása megakadályozza, hogy a bicikli feldőljön. Minél gyorsabban forog a kerék, annál stabilabb a jármű. [6] A giroszkóp viselkedését leíró alapegyenlet a következő:

$$\tau = \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d(I\boldsymbol{\omega})}{dt} = I\boldsymbol{\alpha}$$

ahol  $\tau$  a kifejtett külső erőhatás forgatónyomatéka,  $\mathbf{L}$  a perdület vektora,  $\boldsymbol{\omega}$  a szögsebesség vektora,  $\boldsymbol{\alpha}$  pedig a szöggyorsulás. A skaláris/érték a tehetetlenségi nyomaték. [10]

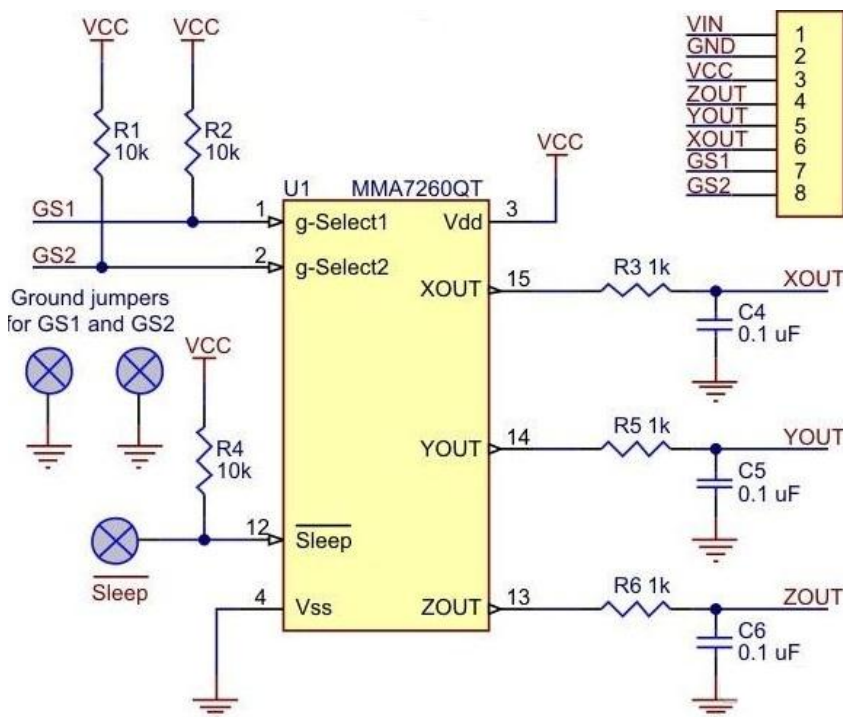
Az egyik leggyakoribb gyro MEMS gyártó az úgynevezett SDI ami a Systron Donner Inertial rövidítése. Ez egy olyan szenzor, mely az előbb említett kvarc kerámia alapú érzékelők családjába tartozik. A legtöbb fejlesztést katonai célból vagy repülőgépekhez, navigációs vagy irányítási célból végzik. [7]

## Tervezett mérések:

A korábban említett mozgásformáknak megfelelően próbáltam megtervezni a minimál megoldást G szenzor segítségével. Ennek alapján arra jutottam, hogy szükség lesz statikus állapotban történő mérések elvégzésére. Ami az X, Y és Z koordináták irányait foglalja magába. Tehát ismernünk kell akkor a mérések eredményeit, amikor az ütő nem mozdul, csak valamelyik irányba mutat. Ez után megnézzük azt is, hogy mit tapasztalunk akkor, hogy ha az előbbi statikus állapotból úgy mozdítom ki, hogy a tengelye körül forgatom. Ugye gyakran előfordul a teniszesezőknél, hogy miközben koncentrálnak, forgatják a kezükben az ütőt. Így ennek a típusú mozgásnak is ismerhetjük a jellemzőit. Majd megnéztem mi történik akkor, amikor csak suhintok az ütővel. Ez a mozgás lesz jellemző minden ütésnél a labdával való találkozás előtti pillanatig. Vizsgáltam azt a lehetőséget is, amikor az ütő mozdulatlan, illetve azt is amikor a labda van mozdulatlan állapotban. Az ütő mereven rögzítése azért volt fontos, mert szerettem volna különbséget tenni egy merőlegesen az ütőre érkező labda és egy bármilyen oldal irányból érkező labda között. A labda mozdulatlan állapota egy szervát próbál reprezentálni, hiszen ha feldobjuk a labdát, akkor azt többnyire úgy próbáljuk meg elütni, abban a pillanatban, amikor megáll a levegőben. Tehát se felfelé nem emelkedik már, és zuhanni sem kezdett még. Végül pedig egy fonák ütéshez hasonló próbáltam mérni, ahol nem csak a labda elütése, hanem az ütő mozgása is fontos szempont volt.

# Megvalósított mérés:

A fent leírt méréseket végeztem el egy MMA7260 típusú gyorsulásmérővel, G szenzorral és egy Agilent Technologies DSOX3034A típusú 4 csatornás, 350 Mhz-es oszcilloszkóppal. [4] A 3 irányú gyorsulásmérők pedig három egymásra merőleges tengely irányában mérik a gyorsulást. A gyorsulásmérőkkel megmérhető az egyes tárgyak Földhöz viszonyított helyzete, ugyanis a Föld tömegvonzása minden tárgyat a középpontja felé gyorsít gravitációs gyorsulás. Ezért pl. egy 2 irányú gyorsulásmérővel megmérhetjük egy adott tárgy vízszintessel bezárt dőlésszögét. Léteznek analóg kimenetű gyorsulásmérők, de vannak olyanok is amelyek kimenete digitális. Az MMA7260Q a Freescale Semiconductor által gyártott 3 irányú gyorsulásmérő IC, ami 2.2-3.6 voltos feszültséggel üzemel, és igen kicsi az áramfelvétele (500 uA). Három analóg kimenete van, minden egyes tengelyhez tartozik egy. Az IC érzékenysége +/- 1.5 g-től +/- 6 g-ig állítható. A 2. ábrán látható az elektromos kapcsolás.



2. ábra  
A méréshez használt elektromos kapcsolás

Adott tengely irányú gyorsulás a hozzá tartozó kimeneten egy 0 – 3.3 V közötti analóg jelet generál. Ha egy tengely mentén nincs gyorsulás, akkor az adott tengelyhez tartozó kimeneten a tápfeszültség fele jelenik meg (1.65 V). A tengely menti pozitív irányú gyorsulás hatására a kimeneti feszültség emelkedik. A tengely menti negatív irányú gyorsulás hatására pedig a kimeneti feszültség csökken.

1. Vcc – Tápfesz. (max. 16 V)
2. GND – Föld
3. 3.3 V – 3.3 V-os referencia kimenet (vagy 3.3 V-os tápfesz. bemenet)
4. X – X tengely kimenete (0 – 3.3 V)
5. Y – Y tengely kimenete (0 – 3.3 V)
6. Z – Z tengely kimenete (0 – 3.3 V)
7. GS1 – G kiválasztás 1
8. GS2 – G kiválasztás 2

A GS1 és a GS2 lábak segítségével a gyorsulásmérő érzékenysége állítható be. Egyszerű mindennapi alkalmazások esetén fellépő kis erőhatások mérésére, mint pl egy tárgy dőlésének méréséhez, a legalacsonyabb +/-1.5g-s tartomány a legalkalmasabb.

GS1:	GS2:	G-tartomány:	Érzékenység:
GND	GND	+/- 1.5 g	800 mV/g
GND	3.3 V	+/- 2 g	600 mV/g
3.3 V	GND	+/- 4 g	300 mV/g
3.3 V	3.3 V	+/- 6 g	200 mV/g

**3. ábra**  
Az alkalmazott G szenzor érzékenységei

A gyorsulásmérő érzékenységi tartománya, melyet a 3. ábra mutat, egy mikrovezérlővel menet közben is változtatható, ha a GS1 és a GS2 bemeneteket a mikrovezérlő lábaira kötjük és azzal vezéreljük. Amint az a mellékelt kapcsolási rajzból is látható, a GS1 és a GS2 érzékenység beállító lábak alapesetben a VCC-re vannak kötve egy felhúzóellenálláson keresztül, ezért az alap érzékenység +/- 6 g. Ezek a lábak földpotenciálra húzhatók egy mikrovezérlővel.

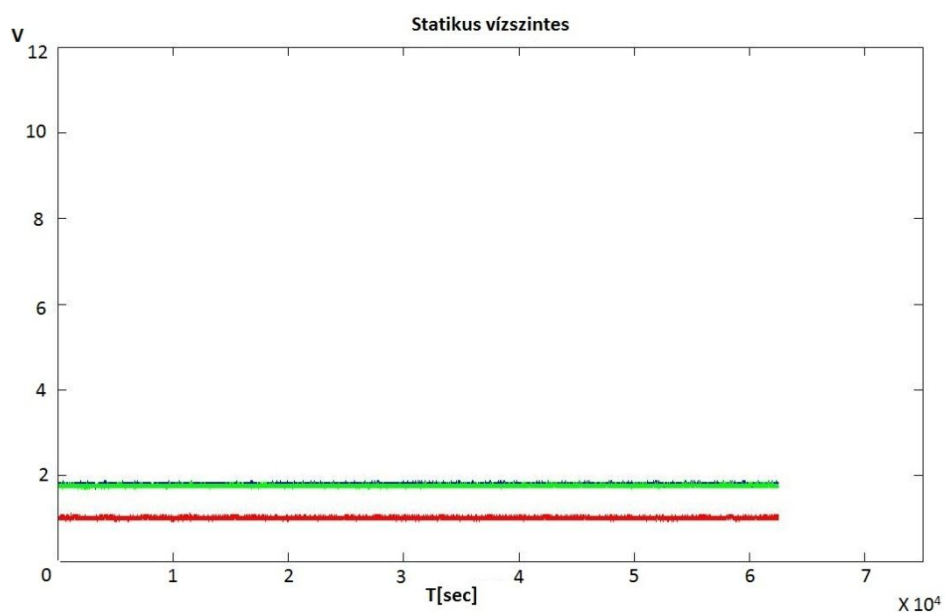
- Mindkét jumper használatával a +/- 1.5 g tartományt választjuk ki.
- Csak a GS1-re rakott jumper a +/- 2 g tartományt választja ki.
- Csak a GS2 jumper on: a +/- 4 g tartományt választja ki.
- Mindkét jumper levéve: a +/- 6 g tartományt választja ki.

A mérésem során természetesen az volt a legfontosabb, hogy az eszköz minél érzékenyebb legyen, ezért én a 1,5g-s 800 mV/g beállítással használtam az eszközt. [3]

# Eredmények:

Minden egyes mérést 4 vagy néha 5 alkalommal végeztem el, de jelen helyzetben csak egyet fogok mindegyikből beilleszteni, hogy lehessen látni az egyes mérésekre legjellemzőbb tulajdonságokat.

Az első mérés, mint ahogy azt már korábban említettem a statikus mérés volt. A következő ábra a vízszintes, nyugodt, mozdulatlan állapotot reprezentálja. Megfigyelhető, hogy az X és a Z tengely egybeesik.



**4. ábra**  
Vízszintes helyzetben álló ütőre jellemző adatok

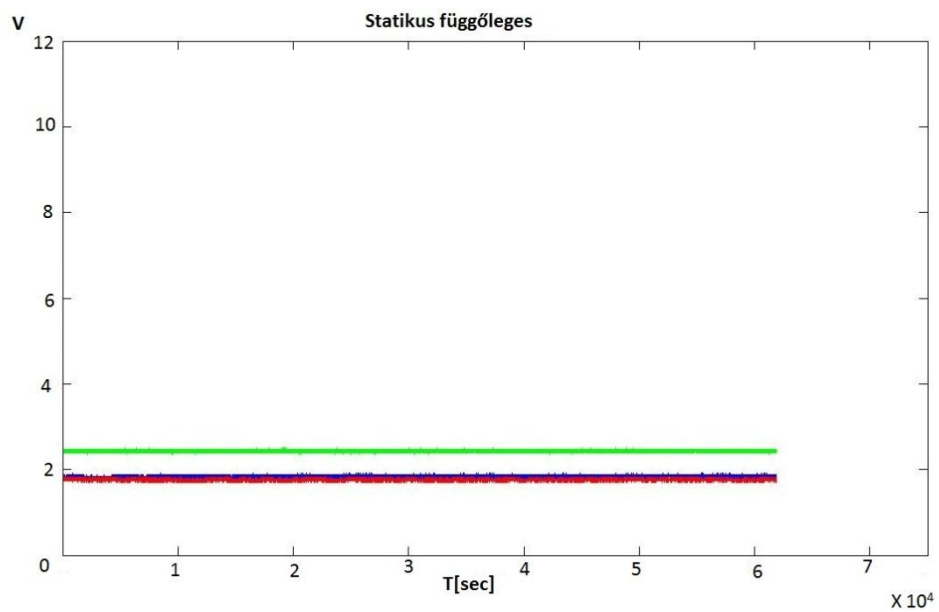
A mérési eredményeket tartalmazó ábra (4. ábra) készítésénél az elektromos mérési eredményeket ábrázoltam az MMA7260 típusú „G” szenzor maximális érzékenységgű azaz +/- 1,5G végkitérésű üzemmódba állítottam. Az előzőeknek megfelelően a függőleges tengelyen feszültséget ábrázoltam, amennyiben valódi gyorsulások meghatározása szükséges, azt a 3. ábra adatainak megfelelően minden értéket 800mV-tal kell osztani.



5. ábra  
A G szenzor elhelyezése az ütőn

Az 5. ábra reprezentálja az ütő helyzetét, mérési körülmények között.

A 6. ábra a függőleges statikus állapotot mutatja. Itt is megfigyelhető, hogy az Y és a Z tengely egymást fedi. A 7. ábrán pedig a mérés közbeni állása látható az ütőnek.



6. ábra  
Függőleges állás

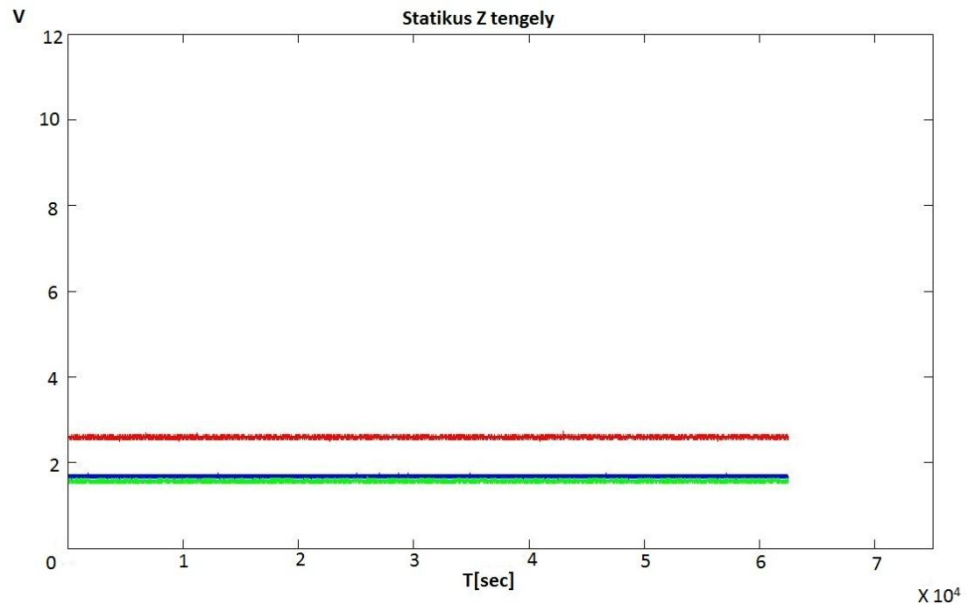


7. ábra  
Függőleges helyzetű ütő

A „G” szenzor tulajdonságainak felhasználásával azaz, hogy alkalmas nehézségi gyorsulás megjelenítésére is, meg lehet oldani az ütő helyzetének megfigyelését.



Itt a 8. ábrán pedig a harmadik statikus állapotot láthatjuk. Ez rendkívül hasonlít a 4. ábrához, ellenben észrevehetjük, hogy az Y tengelyre hatott gravitációs erő pont az ellenkezőjére fordult. Alatta a 9. ábrán az ütő mérés közbeni helyzete látható.



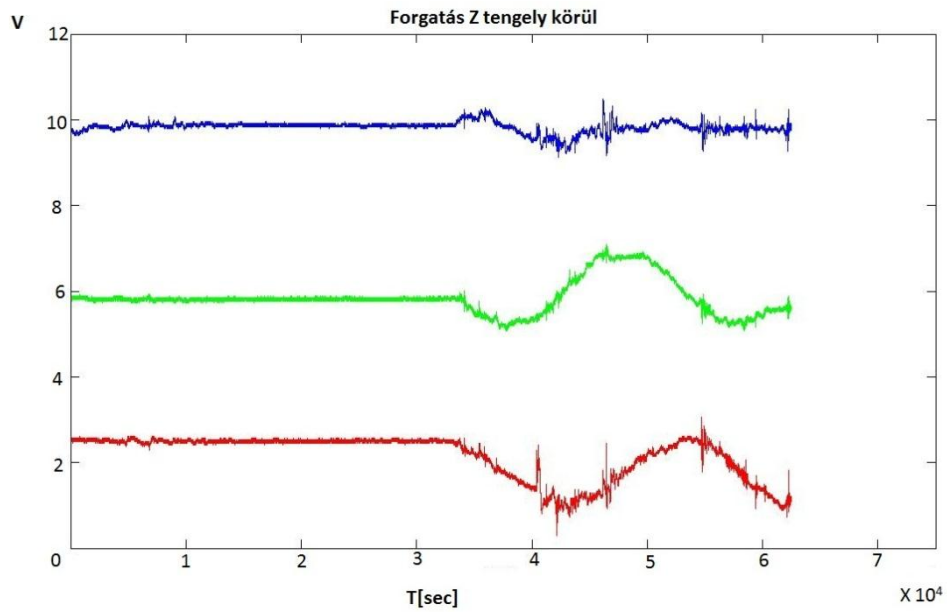
8. ábra  
Z tengely menti irány



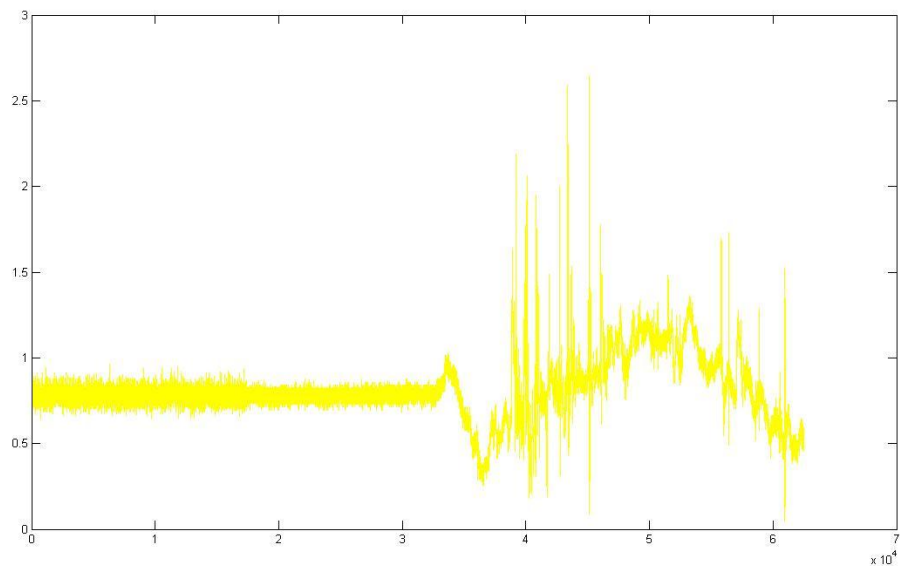
9. ábra  
Ütő állása mérés közben

A továbbiakban kísérletet végzek annak mérésére, hogy az egyetlen „G” szenzor felhasználásával meg tudjuk-e állapítani az ütő helyzetét a labdával való találkozás előtti és az ütés befejezése utáni időpillanatban.

A következő ábrán a Z tengely körüli forgatás látható, ennek megfelelően a kék színnel ábrázolt Z tengely maradt közel állandó értéken, ellentétben az X és az Y tengelyekhez képest.



10. ábra  
Z tengely körüli forgás



11. ábra  
A 3D gyorsulás abszolút értéke

A 10. ábra görbájén látszik, hogy a mérés során az elrendezés jelentős mennyiségű zajjal terhelt eredményt ad. A zaj szűrését meg kell valósítani. A zajsűrési paraméterek az

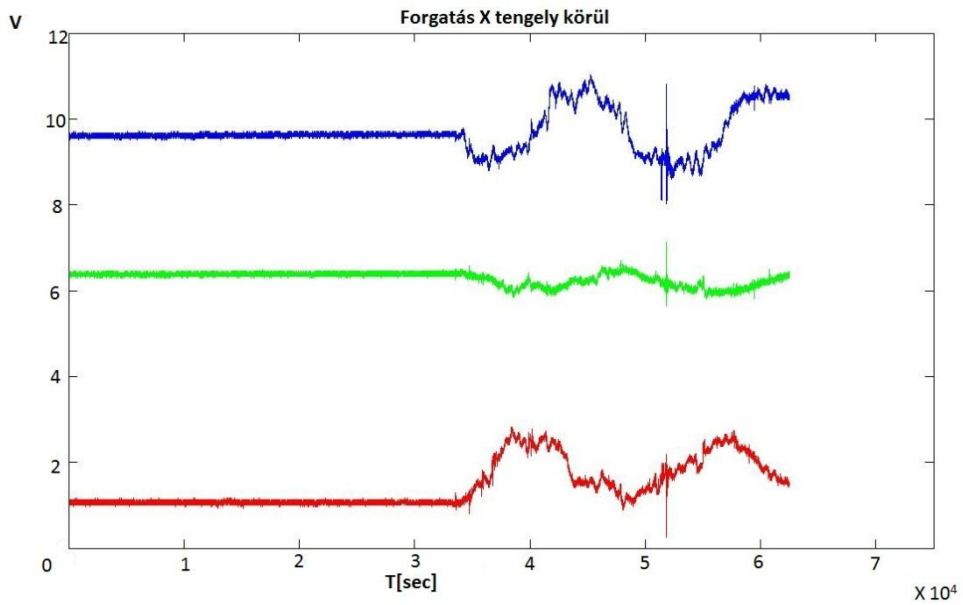
időálló, sávszélesség, a szükséges csillapítás. A 11. ábra bemutatja, hogy a 3D gyorsulás abszolút értéke a négyzetösszeg alkalmazása miatt már jelentős amplitúdójú hibákat tartalmaz, ennek ellenére látható, hogy a pozíció meghatározásra csak akkor lehet felhasználni, hogy ha pontosan mozgatjuk az ütőt. Sajnos ez a feltétel a gyakorlatban nem áll fent, sőt még jelentős mozgások is vannak, így ez a módszer csak becslésre használható. A 12. ábra megmutatja, hogyan forgattuk az ütőt.



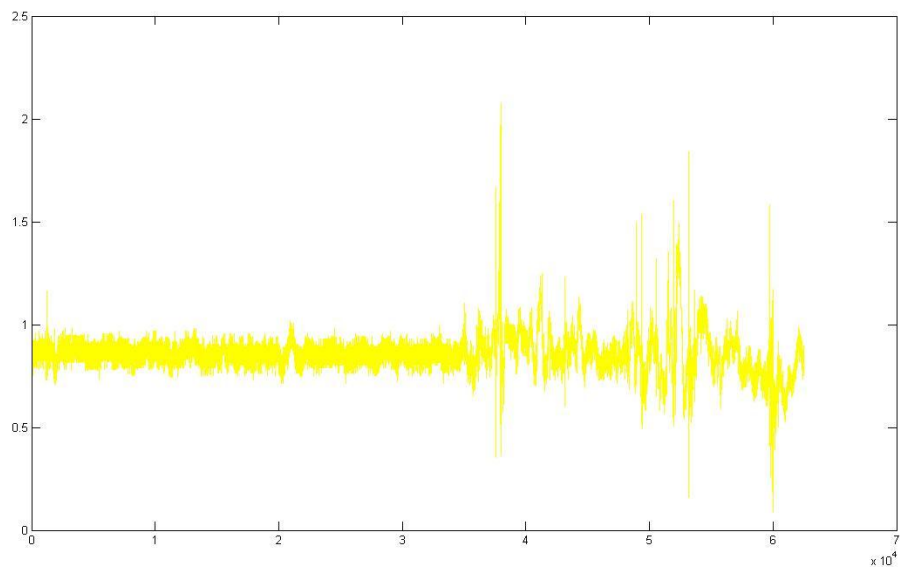
12. ábra  
Forgatás a tengely körül

Az elmozdulást és a tengely vagy középpont körüli forgást könnyen meg lehet különböztetni egymástól, ha figyelembe vesszük, hogy a forgatás hatására nem emelkedik meg a mért gyorsulások abszolút értéke.

A 13. ábrán az X tengely körüli forgatás látható. Észrevehetjük, hogy a mérést nem tudtam teljes pontossággal elvégezni szabad kézzel, de azért jól látható, hogy az X tengelyhez tartozó zöld jelünk közel nem változott, míg a Z és Y tengelyek mentén jóval jelentősebb az eltérés a mérés során.



13. ábra  
X tengely körüli forgatás



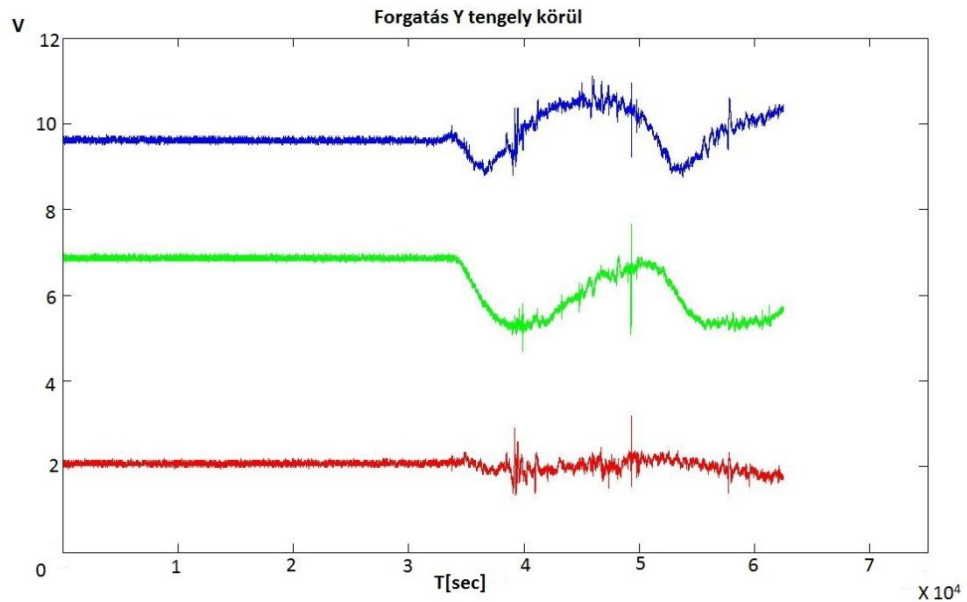
14. ábra  
Gyorsulás megjelenítése

A 14. ábra alapján, mivel ott az 1G körüli gyorsulás nem változott nagymértékben, ezért megállapítható és folyamatosan követhető az ütő helyzete. Jól látható, hogy az ütőre ható erők megközelítőleg 1 G környékén vannak. Ennek mérésére a G szenzor tökéletesen alkalmas volt. A 15. ábrán ismét az ütő forgatása látható.



15. ábra  
Ütő forgatása mérés közben

A 16. ábrán, hasonlóan az előzőhöz, látható, hogy az Y tengely körüli forgás alkalmával a piros színnel reprezentált Y tengelyünk szinte változatlan maradt, és látványosabban nagy elmozdulást tapasztalunk az X és Z tengelyeknél.



16. ábra  
Y tengely körüli forgás

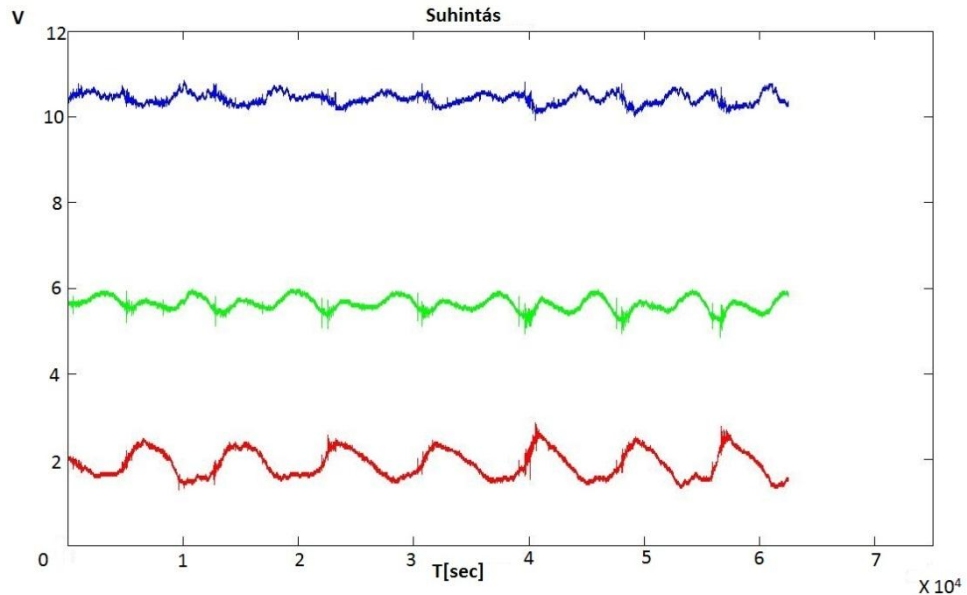
Csak G szenzorral nem tudunk pontos és tökéletes méréseket végezni. Egyenes vonalú mozgásra alkalmas, és jól mér, ellenben a komolyabb mérésekre már használnunk kell a kiegészítésként egy gyroscope-ot, ha valóban jól értékelhető eredményeket szeretnénk elérni. Hiszen annak segítségével már szöggyorsulást is meg tudunk állapítani.



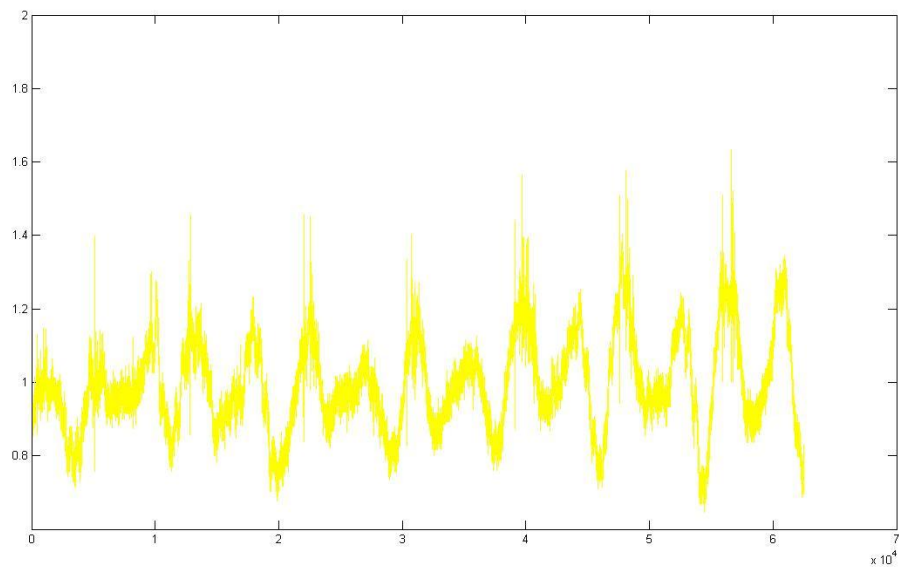
17. ábra  
Az ütő forgatása mérés közben

A 17. ábrán az ütő mérés közbeni forgatása látható.

A 18. ábrán a jobb-bal irányba történő suhintások jelalakja látható. Ennek megfelelően a zöld X és a piros Y tengelyünk mutat szinte állandó kitéréseket és a Z tengelyünk az, ami mentén nem nagyon tértünk ki a mozgás során.



18. ábra  
Suhintás



19. ábra  
Gyorsulás reprezentálása

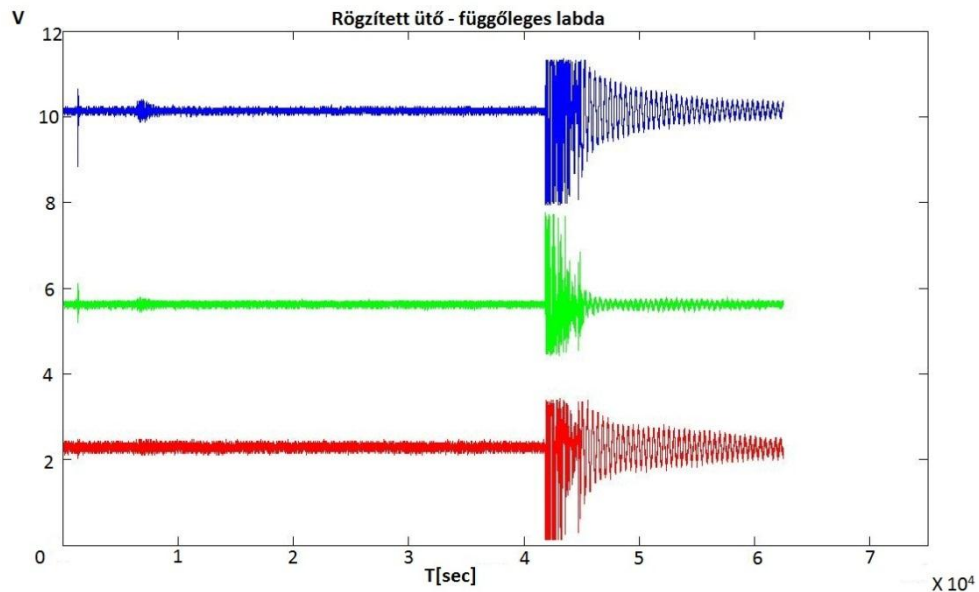
**A Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** és **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** szemlélteti, hogy a „G” szenzor felszerelésénél különösen figyelni kell a pontos elhelyezésre. Ebben a kísérletben a „G” szenzor adatainak egy Sin és Cos függvényhez közelítő görbét



kellette volna leírni, míg a harmadik tengelyen gyakorlatilag nem keletkezhet kimenő jelváltozás. A szenzor elhelyezési hibája miatt a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** zöld és kék jelzés iránya jelentősen zavarja egymást. A feltárt hiba megoldását az jelentheti, hogy rendkívül pontosan helyezzük el a szenzort az ütő hossz tengelyén, vagy valamilyen előzetes kalibráló eljárással a felszerelési hibákat elektronikusan kiküszöböljük.

Ha az X, Y, Z sorvektort megszorozzuk egy mátrixsal, ami egy koordináta transzformációs mátrix akkor meg tudjuk határozni azt a koordináta rendszert mely az ütőre rögzített szenzor koordinátáiból átszámítható valódi értéket mutatja. Az X, Y, Z sorvektor elemeit a mért adatok azonos időpillanatnyi értékekből nyerjük ki. A transzformációs mátrix pedig a rögzített, nyugalmi helyzet mérésével határozható meg. A művelet során az origó nem változik.

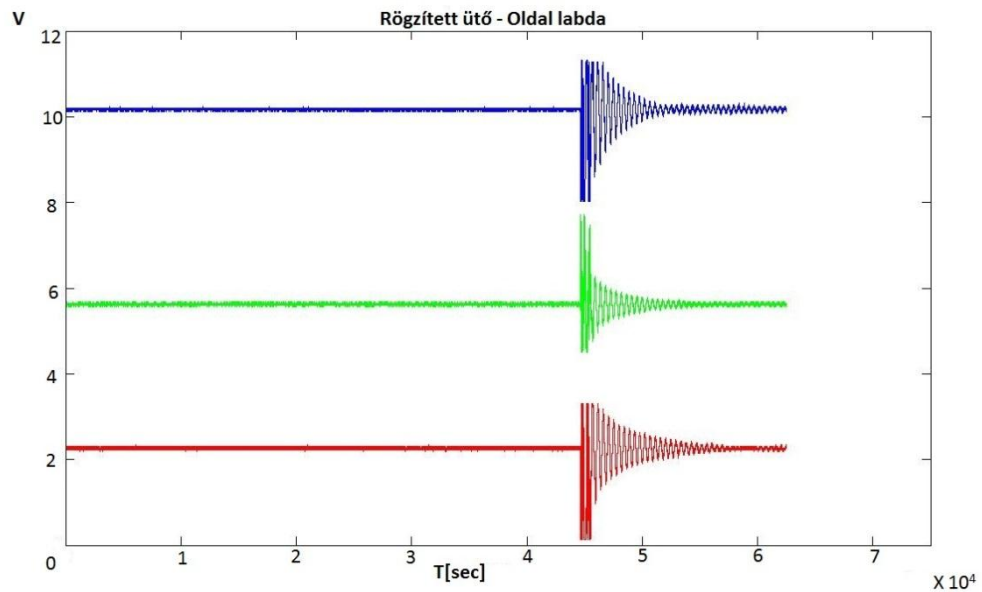
A 20. ábrán azt láthatjuk, hogy mi történt akkor, amikor a rögzített ütőre függőleges irányból ejtettem rá a labdát. Minden tengelyre jellemző, hogy nagyon nagy kitérést mutattak a labdával való találkozás pillanatában, jól érzékelhető, hogy a labdára hatott a gravitáció erő, ami kellőképpen felgyorsította. Majd a Z és Y tengelyen tapasztalható mozgások annak köszönhetőek, hogy az ütőt a nyelénél fogva rögzítettük, és a labda erejétől, miután lepattant az ütőről még egy kicsit rezgésben maradt. Majd lecsillapodott.



20. ábra  
Függőleges labda érkezése

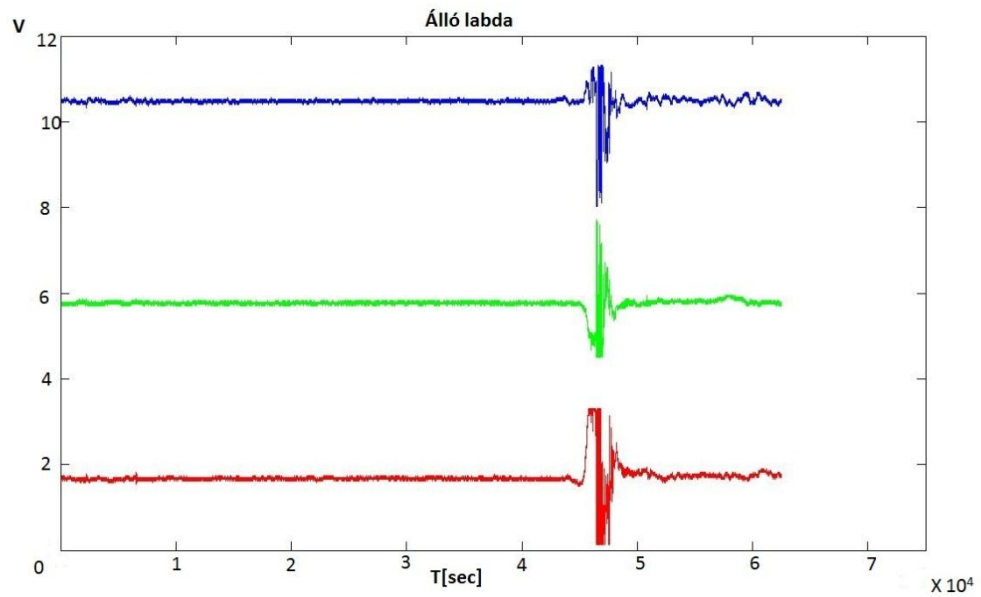
A 20. ábrán és a 21. ábrán megállapíthatjuk, hogy a zöld, X tengely merőleges volt az ütőnkre, hiszen a másik két tengelyen a labdával való találkozás után látható maradt az ütő rezgése.

Ezen az ábrán az álló ütővel mértük meg, hogy mi történik akkor, ha a labda nem függőlegesen esik lefelé, hanem valamilyen oldal irányból érkezik az ütőre. Az előzőhöz képest jól látható, hogy egyik tengelyen sem tapasztalunk olyan erős kitérést a becsapódás pillanatában. Ebből arra következtetek, hogy a gravitációs erő jobban felgyorsította a labdát, mint ahogy én azt oldal irányból rádobtam. Itt is jól látható az ütközés utáni rezgés még az ütőn, csakúgy, mint az előbb.



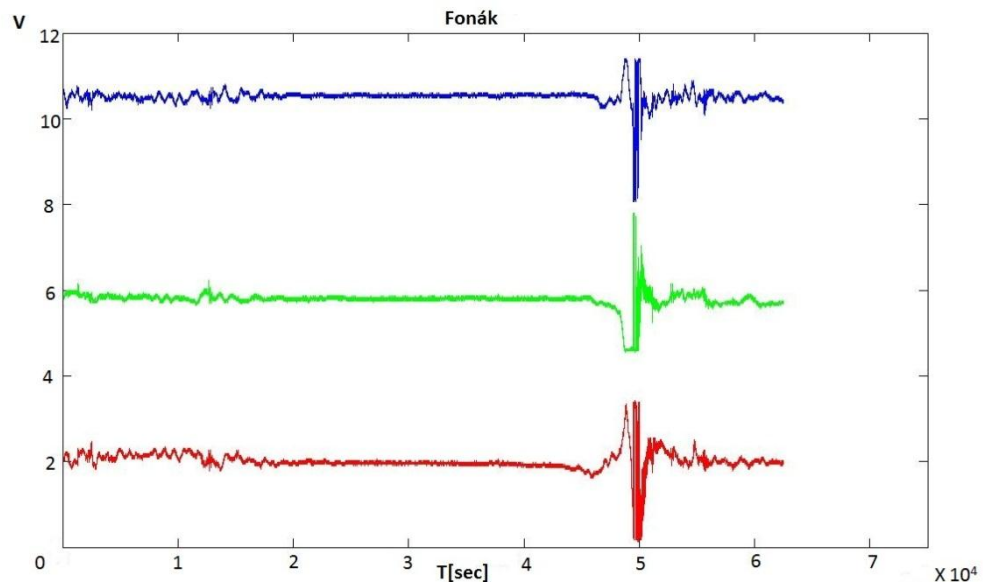
21. ábra  
Oldalról érkező labda

A 22. ábrán a szerva közeli helyzetet próbáltam megvalósítani, vagyis akkor próbáltam elütni a labdát, amikor az majdnem álló helyzetben volt. Az X, Y vagyis a zöld és a piros jelalokból látszik, hogy mielőtt elütöttem volna a labdát, egy nagyon kicsit mozdult előtte az ütő előre felé. Itt is levonható az a következtetés, mely szerint itt mivel még kisebb sebességgel találkozott az ütő a labdával, ezért még kisebb becsapódást tapasztalható, mint az előző két esetben. Vagyis a labda sebessége erősen befolyásoló tényező a különböző elütésekkor.



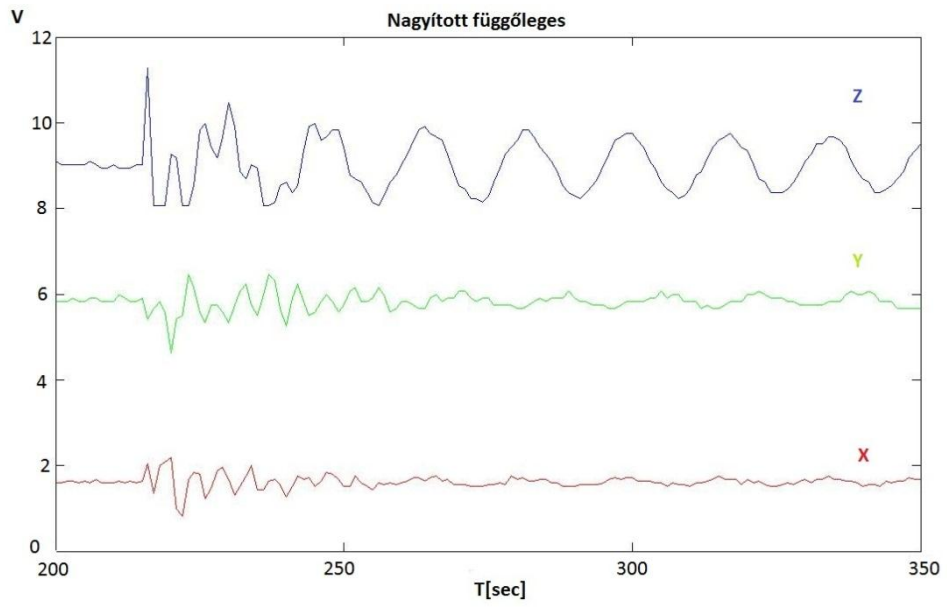
22. ábra  
Szerva

Végül az utolsó mérés (23. ábra), amit végeztem az egy fonák ütéshez hasonlót reprezentál, vagyis érkezik a labda, az ütőt hatra lendítettem a labdával való találkozás előtt. Ez mind a három tengelyen jól látható kitérésben mutatkozik. Majd az elütést követően is tapasztalható az ütő mozgása. A labda és az ütő jóval kevesebb ideig érintkezik egymással, mint például a rögzített ütő esetén. De a kitérés a gyorsaságnak köszönhetően nagy.



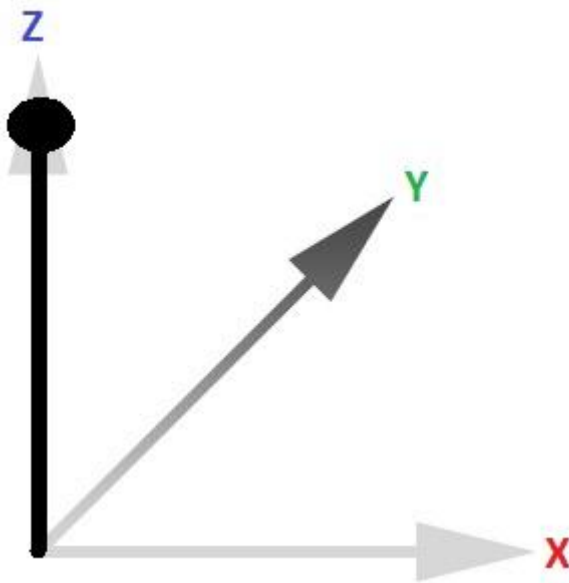
23. ábra  
Fonák ütés

Az ütő labdával való találkozásakor minden esetben megállapítható, hogy mindhárom jelünk túlvezérelt lett. Ennek két legfőbb oka, hogy a szenzorunk túl érzékenyre van beállítva, illetve, hogy a labda tömege túl nagy a szenzor méréshatárához. Lehetőségünk van a mérés pontosítására úgy, hogy vagy egy kisebb tömegű labdával végezzük el a mérést, vagy állítunk a szenzor érzékenységén. A méréshatárokat így sikerül bővítenünk. Vagy pedig abban az esetben, amikor az ütő rögzített helyzetben van, akkor megpróbáljuk a lehető legstabilabbra állítani, azaz az ütő nyelét a lehető legközelebbi ponton rögzítjük az ütőfelülethez képest. Miután ezt a mérést elvégeztem egy kisebb tömegű labdával, a kapott jelek szépen tükrözték a labda irányát. A 24. ábrán és a 25. ábrán egy függőleges labdaérkezés eseménye látható. A kék színű tengelyen pozitív irányú elmozdulás tapasztalható, míg a másik két tengelyen az elmozdulás elvileg közel nulla értéket produkál, gyakorlatilag persze nem tudtam olyan nagy pontossággal ejteni a labdát, hogy ezt kimutassam.



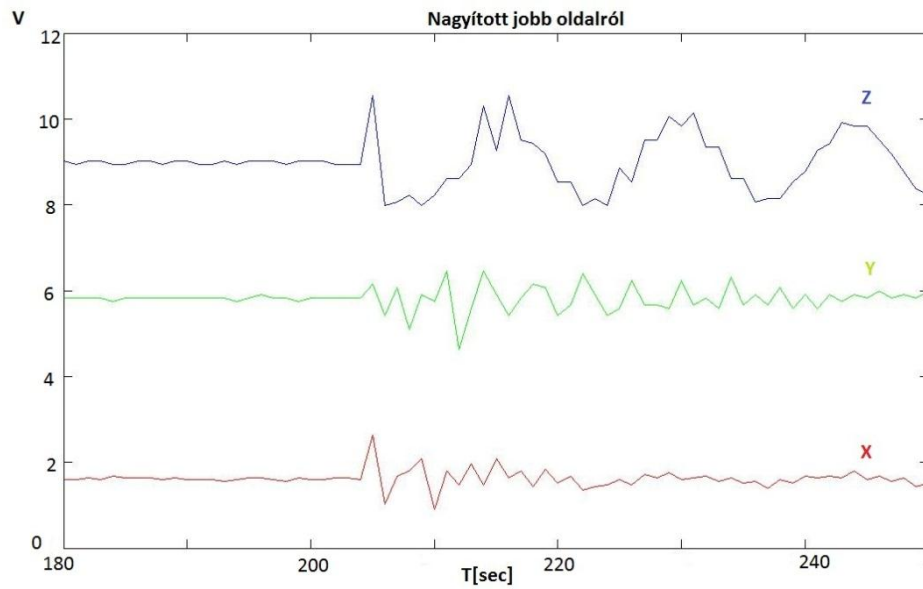
24. ábra  
Függőleges labdaérkezés

Reprezentáció az érzékről:



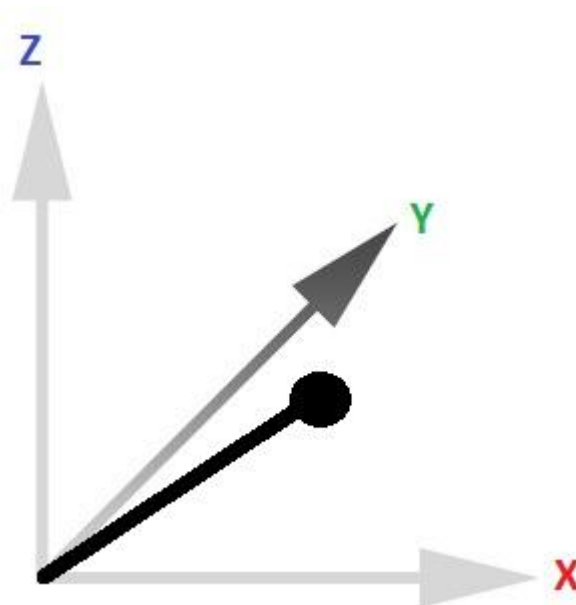
25. ábra  
Függőleges reprezentáció

A 26. ábrán és a 27. ábrán az látható, amint a labda jobb oldalról esik az ütőre. A mérőleges kék tengelyen itt is pozitív elmozdulást tapasztalhatunk a beérkezős pillanatában. Míg az oldal irányú piros tengely pozitív kitérést jelez, addig a zöld megközelítőleg nullát kellene mutatnia egy pontos, precíz dobás esetében.



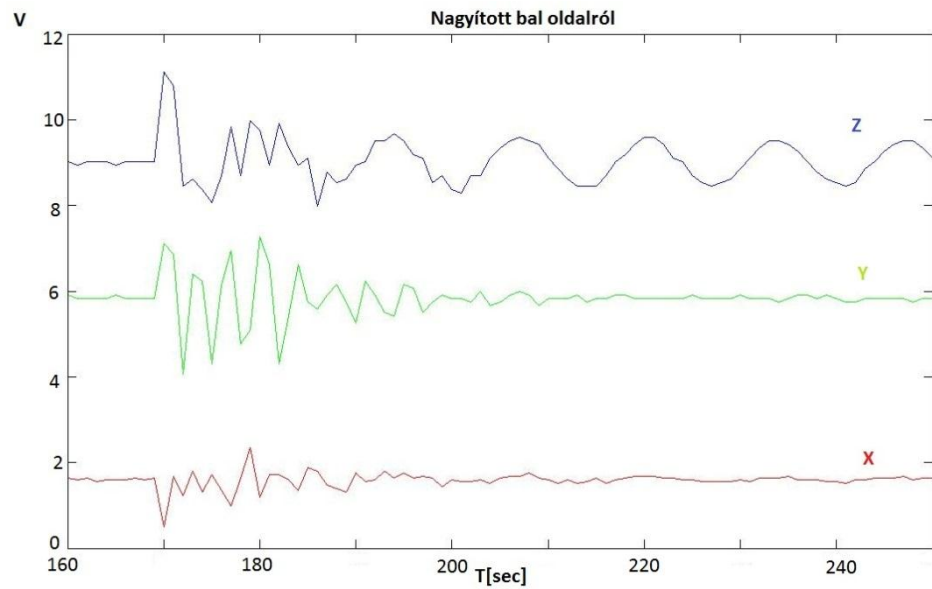
26. ábra  
Jobb oldalról érkező labda

Reprezentáció:



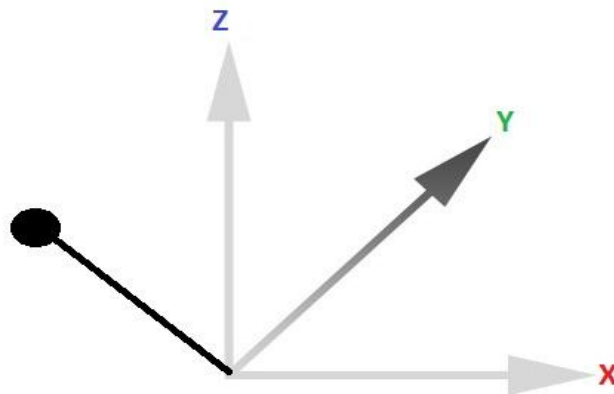
27. ábra  
Jobboldali reprezentáció

Az 28. ábra és a 29. ábra azt mutatja meg nekünk, hogy miként érkezett meg a labda az ütőre, amikor baloldról dobtuk rá. Itt is jól látható, az, mint az előbb, de a piros tengelyen észrevehetően az ellenkezőjére fordult.



28. ábra  
Bal oldalról érkező labda

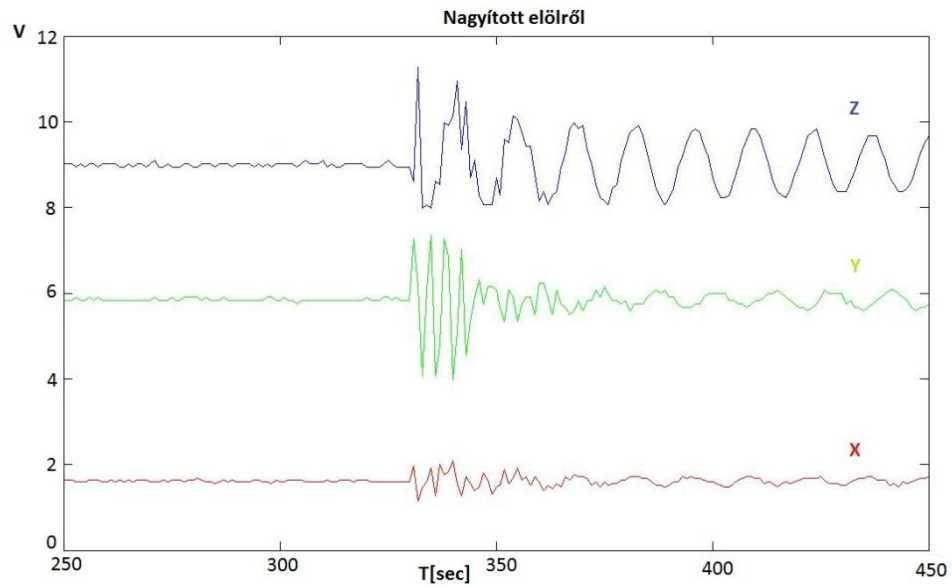
Reprezentáció:



29. ábra  
Baloldali reprezentáció

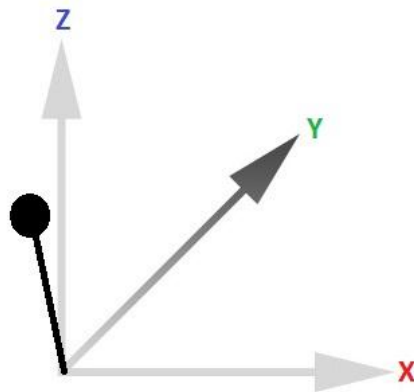


A 30. ábrán és a 31. ábrán azt láthatjuk, amikor a labdát elülső irányból dobtuk rá az ütőre. A piros tengely megközelítőleg nulla értéket ad, a kék most is pozitív irányba tér ki elsőként, és a zöld tengely is pozitívan mozdul ki a labda beérkezésének pillanatában.



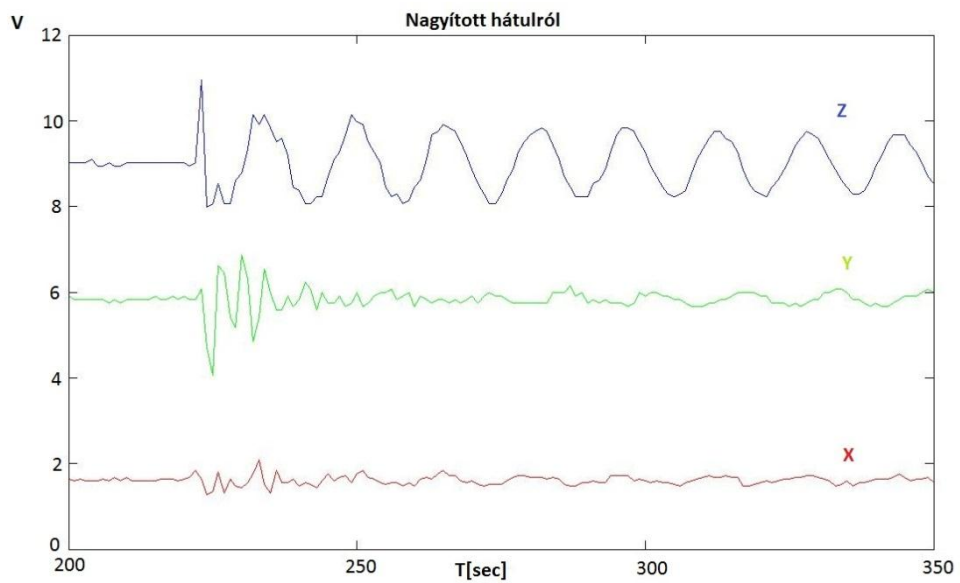
30. ábra  
Előlről érkező labda

Reprezentáció:



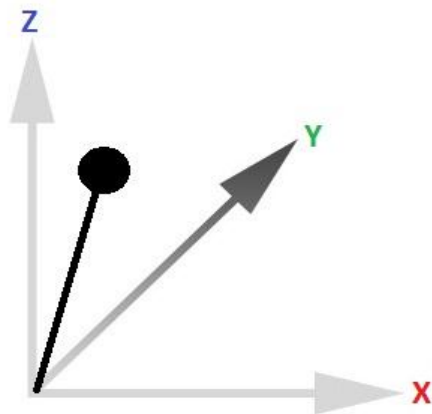
31. ábra  
Elülső reprezentáció

Végül az utolsó mérés során hátról érkezett meg a labda az ütőre, ennek a beérkezés pillanatában tapasztalható kitéréseit a következő ábra mutatja. A piros és a kék tengelyünk változatlan maradt, de a zöld negatív irányú lett. Ez a 32. ábrán és a 33. ábrán látható.



32. ábra  
Hátról érkező labda

Reprezentáció:



33. ábra  
Hátulsó reprezentáció

# Feldolgozási eljárások:

Az oszcilloszkóp szerencsére lehetővé tette az real time mentést. Egy USB csatlakozójú adathordozóra tökéletesen lehetett menteni az aktuális méréseket egyetlen gomb segítségével. A mentett adatokat egy .csv kiterjesztésű fájlba gyűjtötte, külön-külön a 3 csatornán található eredményeket egy-egy fájlba. Én csak 3 csatornát használtam ki az oszcilloszkópon az X, Y és Z koordináták reprezentálására. Ezek a .csv fájlok megnyithatók excel segítségével. Ha megnyitunk egy ilyen fájlt, 62500 sorban találhatóunk szekundum és a hozzá tartozó Volt mért értékeket. Ebből ki tudjuk számolni, hogy a mintákat 80 mikroszekundumonként vettük, így a mintavételezési frekvenciánk  $1/80=12500\text{Hz}$ . Ezt követően betöltjük az egy méréshez tartozó .csv-ket a Matlab programba, és az alábbi kód segítségével megjelenítjük egy grafikonon az értékeket.

```
importfile('20110419_2.csv');  
voltage2 = data(1:end, 2);  
voltage2 = voltage2 + 8;  
importfile('20110419_3.csv');  
voltage3 = data(1:end, 2);  
voltage3 = voltage3 + 4.5;  
importfile('20110419_4.csv');  
voltage4 = data(1:end, 2);  
  
figure(1)  
plot(voltage2), hold on  
plot(voltage3, 'g'), hold on  
plot(voltage4, 'r'), axis([0 75000 0 12]), hold on,  
xlabel('T[sec]'), ylabel('V'), title('Statikus Z/d')
```

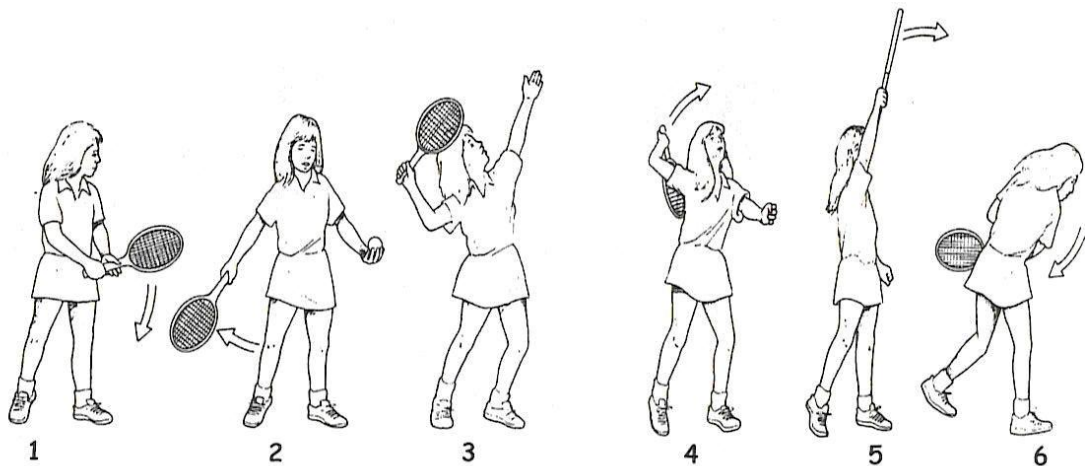
Ezt követően a G közeli ábrázolásokat a következő Matlab kóddal mértem:

```
importfile('20110435_2.csv');  
volt2 = data(1:end, 2);  
importfile('20110435_3.csv');  
volt3 = data(1:end, 2);  
importfile('20110435_4.csv');  
volt4 = data(1:end, 2);  
  
figure(2)  
v2=volt2 -1.9;  
v3=volt3 -1.9;  
v4=volt4 -1.9;  
v5=v2.^2;  
v6=v3.^2;  
v7=v4.^2;  
v8=v5+v6+v7;  
v9=sqrt(v8);  
plot(v9, 'y')
```

A két kód közötti, különbség, hogy míg az első esetben a három jelalakot különböző színekkel kirajzolva Volt és szekundum értékben mérve egymáshoz képest eltolva rajzoltattam ki a jól láthatóság kedvéért. Míg a második kódban, ami a G közeli állapotot mutatja, ott kivontam a függőleges tengelyből 1.9-et, mert azt a mérés során szintén a láthatóság és könnyen kezelhetőség kedvéért átállítottam. Majd a négyzetösszegükből gyököt vonva kaptuk a fenti ábrákat.

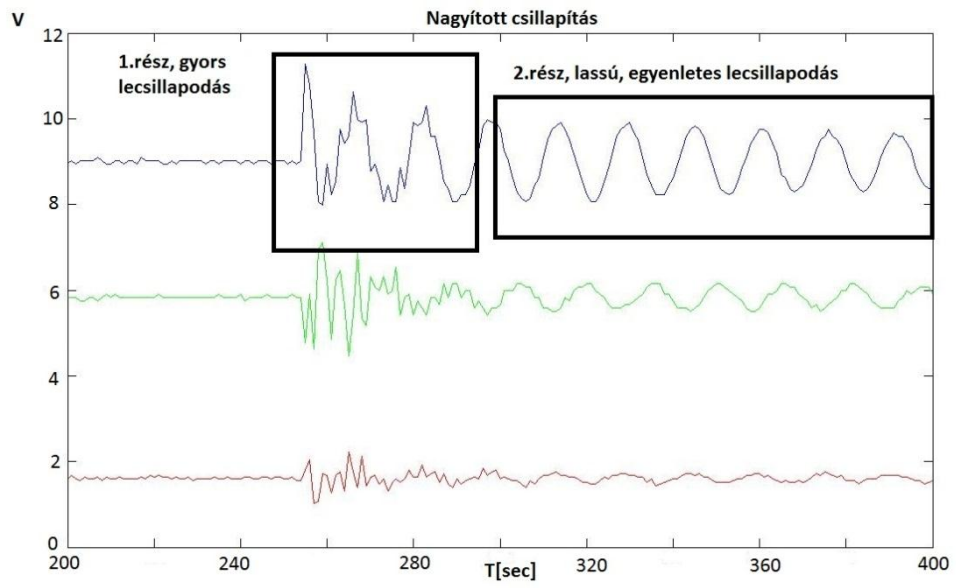
## Felhasználhatóság teniszhez:

Az eddig elvégzett munka során az állapítható meg, hogy az eszköz rendkívül jól tükrözi a valós életben történő mozdulatokat, ütési fajtákat. Az adott karakterisztikákból következtethetünk bizonyos mozgássorozatokra is. Természetesen még több mérés elvégzésével pontosabb analízisre lenne lehetőség. Azonban már így is ismerjük egy komplett szerva mozdulatsorát, mint például a 34. ábrán, és a várható jelalakját. Hiszen a feldobott labdát közel álló állapotban üti el a játékos, ellőtte azonban hátralendíti az ütőt majd jól meg fogja suhintani, hogy legyen meg a kellő lendület a nagy sebességhez. És feltételezhetjük azt is, főleg hogy ha profi játékosról van szó, hogy a labda valamilyen oldalirányból fog az ütőre pattanni és nem merőleges helyzetből fogja elütni a labdát.



34. ábra  
Az ütés mozdulat sora

De önmagában a G szenzor nem elég jó ennek a feladatnak a megvalósításához. Az egyenes vonalú mozgást jól reprezentálja, de a pontosabb méréshez még legalább egy szenzor szükséges lenne. Akár egy gyroscope, akár egy magnetométer már jobba és pontosabbá tenné a méréseinket. Amikor a méréseket a kisebb tömegű labdával végeztük és a jelek már nem voltak túlvezérelve, szépen kirajzolódott az ütő mozgása a labda becsapódásának pillanatában. Ezenél a méréseknél megfigyelhető az ütőre merőleges -jelen esetben- kék színű tengelyen, hogy a beérkezés pillanatában kétfajta rezgés keletkezik. Az egyik egy gyorsan csillapodó rezgés, ez az ütő húrjainak mozgását mutatja a grafikon első részén. Míg van egy lassan, egyenletesen lecsillapodó rezgés, ami pedig az ütő mozgását mutatja meg. Ez a 35. ábrán jól látható. A jelet még szebbé és pontosabbá tehetnénk egy Fast Fourier Transzformáció segítségével. Szépen ívelt jeleket kapnánk, nem egyenes vonalakkal összekötött kirajzolást.



35. ábra  
Csillapítások

## Továbbfejlesztés:

Tekintve, hogy ezt a témát én kezdtem el egyedül, rengeteg újítási lehetőséget látok még benne a jövőre nézve. Egyrészt és talán a legfontosabb az a rengeteg mérés. Nagyon sok olyan helyzet, mozdulat vagy mozgás sor van, amit nekem idő hiányában nem volt lehetőségem vizsgálni. Ilyenek például a különböző szervák mérései. Ott is vizsgálható az oldal irányú ütő vagy a függőleges irányú ütővel történő szerva. Vagy a tenyeres ütés mérése. Mi is történik akkor, amikor egy játékos tenyeres ütést hajt végre, hiszen teljesen más mozdulatokból tevődik össze, mint a fonák ütés. De ha csak az egyszerű mozdulatoknál akarok maradni, akkor azt is lehet tovább vizsgálni, hogy mi történik a jellel a különböző irányú suhintások során. Itt gondolok például arra is, hogy egy szerva előtt az ütőt hátralendíti a játékos.

De lehetőség van a technikai továbbfejlesztésre is. Például egy gyroscope segítségével meg tudjuk határozni az ütőnek a pályához viszonyított helyzetét. Ismerjük a statikus állapotokat, ismerjük azok mozgásához kapcsolódó állapotokat, így következtethetünk a pályához viszonyított helyzetre az ütő állásából. Vagy egy magnetométer használatával már a pálya helyzetét sem kell ismernünk, mivel a magnetométer egyféle iránytűként határozza meg az ütő helyzet a Föld mágneses térerősségének segítségével.

# Összefoglalás:

Napjainkban a sportolókat nem csak az egészséges étrendjük és a rengeteg edzésbe fektetett energiájuk tehet csak tökéletessé, hanem segítenek nekik a modern technológiának köszönhetően olyan eszközök, melyek meghatározzák, hogy egy edzés vagy egy verseny során kielégítő teljesítményt nyújtott-e az ember.

Én egy féléves munka során a teniszezőknek kezdtem el egy olyan eszközt fejleszteni, melynek segítségével az edző, tréner dolgát megkönnyíti, ha látja, hogy milyen pontossággal, milyen precizitással végzi a dolgát a sportoló. A gyorsulásmérő, G szenzor és egy oszcilloszkóp segítségével sikerült elvégezni a kiírt méréseket, azokat analizálni, és levonni a megfelelő konzekvenciát.

A mérő eszköz a földhöz viszonyított helyzetben mérte az X, Y, Z tengelyeken történő elmozdulást. A G szenzor segítségével az ütőre ható gravitációs erőket is meghatározhattam. Mindezt egy oszcilloszkópra kötve rendkívül jól reprezentálható jelalakokat kaptam mindhárom tengelyre.

A mérések során próbáltam a lehető legvalóságosabb körülmények közt mérni olyan mozdulatokat, ütő helyzeteket amik a teniszben a leggyakrabban előfordulnak. Elsőként vizsgáltam a statikus állapotokat, amikor az ütőre csak a különböző irányú gravitációs erő hat. Ezt követően a tengelyek körüli forgást vizsgáltam, majd az oldalirányú suhintást az ütővel. Fontos volt ismereteket gyűjteni azokról az esetekről is amikor vagy a labda vagy az ütő rögzített helyzetben van. A két legtöbbször használt ütésről a fonák vagy a tenyeres ütésről szerzett információk is elengedhetetlenek voltak.

A kiírt feladat elvégzése után megállapítható, hogy az eszköz valóban alkalmas lehet hasznos adatok gyűjtésére, segítve ezzel egy teniszedző dolgát. Azonban az is tény, hogy ehhez még sok mérési adatra, tesztelésre, esetlegesen technikai fejlesztésre is szükség van ahhoz, hogy ez valóban jól működjön, könnyen kezelhető legyen és ne akadályozza a játékost a játékban.

A G szenzorral nagyon sok hasznos adatot kinyertünk. Meg tudjuk állapítani az ütő állását, érzékeljük, ha az ütő mozgásban van, meg tudjuk mondani a labda becsapódásának pillanatát, az ütő helyzetét a labdával való találkozás után. Azonban az ütőmozgást nem tudom megkülönböztetni egyértelműen az ütő forgásától, ezért szükségünk van még plusz egy szenzorra.



# Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani

**Tihany Attila**

Tanár Úrnak, aki mindvégig nagymértékben  
segítette és támogatta munkámat!

# Irodalomjegyzék:

- [1] Sue Rich: A tenisz kézikönyve, Aréna 2000 Kiadó, ISBN szám: 9789639729094
- [2] A tenisz szabálykönyve Nemzetközi tenisz szövetség 2003-as közgyűlésén elfogadva A Testnevelési egyetem honlapján
- [3] Sparkfun Electronics, Triple Axis Accelerometer MMA7260Q, Arizona, 2005.06.
- [4] Agilent Technologies, Oscilloscopes redefi ned: Breakthrough technology delivers more scope for the same budget , USA, 2011.11.09
- [5] Felix Klein and Arnold Sommerfeld, "Über die Theorie des Kreisels" (Tr., About the theory of the gyroscope). Leipzig, Berlin, B.G. Teubner, 1898–1914
- [6] Audin, M. Spinning Tops: A Course on Integrable Systems. New York: Cambridge University Press, 1996
- [7] Proceedings of Anniversary Workshop on Solid-State Gyroscope. Kyiv-Kharkiv. ATS of Ukraine. 2009. ISBN 978-976-02-5248-6.
- [8] Crawford Lindsey, Tennis warehouse, San Luis Obispo, CA, 2011. 03.14.
- [9] Aszkler, Craig, Acceleration, Shock and Vibration Sensors, in Sensor Technology Handbook, Jon S. Wilson, Burlington: Elsevier, 2005
- [10] Boser, Bernhard E., and Roger T. Howe. Surface Micromachined Accelerometers. IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 31, No. 3, 1996
- [11] Doscher, James (Analog Devices), Accelerometer Design and Applications, Company brochure, Norwood, MA, 2005
- [12] Elwenspoek, M. and Wiegerink, R. Mechanical Microsensors. New York: Springer, 1993
- [13] Fraden, Jacob, 2003. Handbook of Modern Sensors. 3rd ed. Berlin: Springer. ISBN 0387007504
- [14] O'Reilly, Rob, Alex Khenkin, and Kieran Harney. Managing Acoustic Feedback: Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) Contact Microphones for Musical Instruments. 2008. 07

[15] Texas Instruments, Accelerometers and how they work., Company brochure, Dallas, TX., 2005

[16] Verplaetse, Christopher, Inertial proprioceptive devices: self-motion-sensing toys and tools - MIT Media Lab. IBM Systems Journal, 1996. 09.

[17] Walter, Patcrick L., The History of the Accelerometer. Sound and Vibration 2007.01.

[18] Walter, Patcrick L., Trends in Accelerometer Design for Military and Aerospace Applications. Sensors Online, 2005