



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Mérnöki rekonstrukció megvalósítása gépelemre alkalmazva

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Bela Zoltán
T010024/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

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

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bela Zoltán

Szakedolgozat száma: SZD22053013323177

Törzskönyvi száma: T010024/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Mérnöki rekonstrukció megvalósítása gépelemre alkalmazva

A dolgozat címe angolul: Implementation of reverse engineering applied to a machine element

A feladat részletezése:

1. Röviden mutassa be vállalatot, ismertesse a megoldandó feladatot!
2. Végezzen kutatást a szakirodalomban a megoldandó feladattal kapcsolatban!
3. Mutassa be és dokumentálja a jelenlegi megoldást a feladaton keresztül!
4. Készítse el a megoldás tervezetét, javasoljon megfelelő eljárást és dokumentálja a megoldást!
5. Foglalja össze az eredményeket, hasonlítsa össze a régi és a javasolt megoldást, fogalmazzon meg további fejlesztési javaslatokat!
6. Vonja le következtetéseit a konklúzióban!

Intézményi konzulens neve: Dr. Czifra György

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 27.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom.

.....
belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Budapest, 2022.12.15.....

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. Irodalomkutatás	6
2.1. Rezgésdiagnosztika.....	6
2.2. Mérőeszközök.....	9
3. Rezgésdiagnosztika gyakorlati alkalmazása	19
3.1. Mérési környezet.....	19
3.2. Eszközök:.....	21
3.3. Mérési folyamat	22
3.4. Eredmények összegzése.....	55
5. Összefoglalás	59
6. Summary	60
7. Irodalomjegyzék	61

1. Bevezetés

Napjainkban a mobiltelefon használata teljesen hétköznapivá vált. Olyan szinten képezi a napi rutin részét, hogy el sem tudjuk képzelni az életünket nélküle. Minden nap a zsebünkben hordjuk ezeket az eszközöket, széleskörű felhasználási lehetőségei közül azonban csak keveset ismerünk. A technológiai fejlődés következtében a mai okostelefonok olyan fejlett szenzorokkal rendelkeznek, melyekkel néhány éve csak kutatóközpontokban tudtunk volna találkozni. Ezen szenzorokkal különböző méréseket tudunk elvégezni drágább felszerelések és laboratóriumi körülmények nélkül. Ilyen szenzorok például a gyorsulásmérő, a giroszkóp, a magnetométer vagy a barométer. Számos telefonos alkalmazás áll rendelkezésünkre az érzékelők tesztelésére, például az iDynamics és a Physics Toolbox Sensor Suite. Ezek az applikációk képesek arra, hogy gyűjtsék, tárolják és megjelenítsék a szenzorok által érzékelt rengeteg információt, melyeket a mérést követően különböző módokon lehet feldolgozni és kiértékelni.

Az okostelefont, mint mérőeszközt bárhol, bármikor tudjuk alkalmazni, és ez az egyszerű használhatóság az, ami felkeltette az érdeklődésem a téma mélyebb kutatása iránt. Számptalan előnnyel rendelkeznek ezek a készülékek a könnyű elérhetőség mellett. A roncsolásmentes anyagvizsgálat, a méretek folyamatos csökkenése, valamint a készülékek közötti gyors adatmegosztás csak néhány példája annak, hogy mekkora potenciál rejlik bennük a jövő kutatásainak szempontjából. A telefonban található gyorsulásmérő szenzor egy tökéletes elektromechanikai eszköz arra, hogy különböző tárgyak elmozdulásait, rezgéseit elemezzük vele alap szinten. A működését leggyakrabban akkor tapasztaljuk a hétköznapiakban, amikor a telefon forgatása közben a képernyő tájolása ehhez az elmozduláshoz igazodik. Telefonos játékok sora alkalmazza ezt a funkciót, meglétét alapvetőnek vesszük. Mégis kevesen tekintenek úgy az okostelefonra, mint rezgéseket eredményesen vizsgálni képes mérés-technikai eszközre. Ezt az űrt szeretném részben betölteni azáltal, hogy megmutatom, igenis lehetséges rezgésdiagnosztikai következtetéseket levonni telefonos mérések segítségével.

A szakdolgozat célja kísérletekkel bizonyítani, hogy lehetséges okostelefonos alkalmazásokkal olyan gyors, előzetes rezgéstani felméréseket végezni, melyek segítenek a potenciális meghibásodások, anyaghibák felderítésében. Ezen eredmények alapján a későbbiekben következtetéseket tudunk levonni a további szükséges vizsgálatokról.

2. Irodalomkutatás

2.1. Rezgésdiagnosztika

Mi a rezgés?

A rezgés egy egyensúlyi állapot körüli oszcillációs mozgás. Ez az oszcillálás lehet periodikus vagy rendezetlen. Ezt egy vagy több erő által okozott energia átvitele vagy tárolása okozza. A rezgések lehetnek szabad rezgések vagy gerjesztett rezgések. Szabad rezgések akkor keletkeznek, amikor a rendszert pillanatnyilag megzavarják, majd hagyják, hogy korlátozás nélkül mozogjon, és a továbbiakban nem hat rá külső erőrendszer [1]. Egy rugóra felfüggesztett súly példája ezt jól szemlélteti. Egyensúlyban a rendszer energiája minimális, és a súly nyugalomban van. Ha a súlyt lefelé húzzuk és elengedjük, a rendszer függőleges rezgéssel reagál. Gerjesztett rezgésről akkor beszélünk, amikor a rendszerre külső erő hat. Amikor a külső erő frekvenciája megegyezik a rendszer sajátfrekvenciájával, azt nevezzük rezonanciának. A vizsgált rendszer nagy amplitúdójú rezgéseit ilyen esetekben minimális gerjesztés is kikényszerítheti. Ha a gerjesztés értéke bármelyik pillanatban ismert, akkor a gerjesztést és a keletkező rezgést determinisztikusnak nevezzük [2].

A rezgést az alábbi tulajdonságokkal jellemezhetjük:

- amplitúdó: a rezgés maximális kitérésének nagysága (A), mértékegysége: m, vagy mm;
- frekvencia: f , megtett rezgések száma és az ehhez szükséges idő hányadosa $f=1/T$, mértékegysége: Hz;
- rezgés körfrekvenciája: ω , mértékegysége: o (fok)
- hullámhossz: a hullám ismétlődésének a távolsága, vagyis két hullámcúcs vagy hullámvölgy közötti távolság, mértékegysége: m, vagy mm
- periódusidő: T , mértékegysége: s

Rezgés terjedése:

1. Levegőben:

A levegőben terjedő rezgés a hang. Akármerre megyünk, mindenhol folyamatosan különféle hangatásokkal kerülünk kapcsolatba. Bármivel lehet hangot kreálni, amit

rezgésbe lehet hozni. Azáltal, hogy valamit megrezegtetünk, a tárgy rezgése továbbadja ezt a mozgást a környező levegőmolekuláknak, amelyek szintén továbbadják az energiát a mellettük lévőeknek, egészen addig, amíg ez a hullám el nem ér a fülünkig. Amikor a hangforrás rezgésbe jön, akkor a környező területen nagyobb légnyomást hoz létre, és a légrészecskék áramlani kezdenek. Viszont ennek következtében alacsony nyomású területek alakulnak ki ott, ahonnan ez a lökeshullám elindult. Mivel a levegő egy rugalmas közeg, így visszatér az eredeti állapotába amint az erőhatás megszűnt. A levegőmolekulák a nagyobb nyomás felől az alacsony nyomás felé nyomulnak ezt követően, így újra egy nagyobb nyomású területet hozva létre. Ez a ciklus ismétlődik, létrehozva egy grafikonon is megjeleníthető magas-alacsony nyomású hullámot. Ennek a nyomáshullámnak az amplitúdója, vagyis a hangereje jelzi, hogy mekkora erő generálta, a frekvenciája pedig az alacsony és magas nyomású területek másodpercenkénti ismétlődését jelenti [3].

2. Szilárd anyagban:

Szilárd anyagokban a rezgés gyorsabban terjed, mint levegőben. Alapvetően sűrűbb anyag lassítja a folyamatot, viszont az anyag részecskéi között lévő vonzás gyorsítja. Mivel a szilárd anyagok jóval rugalmasabbak a légneműeknél, vagyis ellenállóbbak az alakváltozással szemben, így a rezgéseket is jobban tudják vezetni. A rezgés terjedése szilárd anyagokban hasonlít a levegőben való terjedéshez, itt is a részecskék továbbítják az energiát, csak jóval nagyobb sebességgel.

A rezgések tehát máshogy terjednek különböző anyagokban, illetve különböző sérülésekkel rendelkező alkatrészekben, gépekben is. A rezgésdiagnosztikával ki lehet mutatni különbségeket vizsgált anyagok, munkadarabok között, és számtalan rejtett hibára is fény derülhet ennek következtében.

Rezgéselemzés:

A rezgéselemzés egy olyan folyamat, mely egy gépnek, alkatrésznek vagy szerkezetnek a rezgésjeleit figyeli a potenciális rendellenességek kiszűrése, és az eszköz állapotának ellenőrzése érdekében [4]. Általában közvetlenül a rezgésjel időbeli hullámformáján, valamint a frekvencia spektrumán végzik, amelyet az időbeli hullámformán Fourier-transzformáció alkalmazásával kapnak.

Rezgéselemzés típusai:

1. Időtartománybeli:

Az időtartománybeli rezgéselemzés képes a rezgésszintek megfigyelésére. Az elfogadható üzemi rezgéshatárokat előre meg lehet határozni akár a hosszú távú üzemeltetési és karbantartási előzmények, akár a megállapított szabványok alapján. Ha a határértéket átlépik, az azt jelentheti, hogy a gép általános egészségi állapota romlik, és hibák alakultak ki [1].

2. Frekvenciatartománybeli:

A frekvenciatartománybeli rezgéselemzés kiválóan alkalmas a rendellenes rezgésminták felderítésére. Például egy görgőscsapágy külső futófelületén kialakult repedés a csapágygörgőkkel való időszakos ütközésekhez vezet. Az időhullámformában ez az információ általában rejtve marad, és elfedik a más forrásokból származó rezgések. A frekvenciaspektrum tanulmányozásával felfedezhető az ütközések periodicitása, és így felismerhető a csapágyhibák jelenléte [2].

Rezgés mérése:

A rezgést különböző típusú érzékelőkkel lehet mérni. A különböző rezgéstípusok alapján léteznek elmozdulás, sebesség és gyorsulás mérésére tervezett szenzorok, amelyek többféle mérési elven működnek. Ilyenek például a piezoelektromos (PZT) érzékelők, a mikroelektromechanikus érzékelők (MEMS), közelségsszondák vagy a lézer-Doppler-vibrációmérő [1].

A rezgésjelek általában 20 kHz alatt vannak, kivéve bizonyos rezgési rezonanciákat, amelyek ezt meghaladhatják. A gyakorlatban a mintavételi sebességet gondosan kell megválasztani, hogy az aktuális vizsgált frekvenciákat tartalmazó sávszélesség rögzítésre kerüljön. Ezenkívül egy mérés felvételi hosszának legalább a mért alkatrész sebességének több periódusát kell elérnie [4].

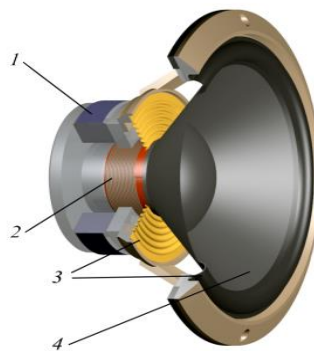
A PZT-érzékelők, a leggyakrabban használt érzékelők, deformációkor feszültséget generálnak. A feszültségjelek digitalizálhatók és lefordíthatók a rezgések ábrázolására. A megfelelő rezgésérzékelők kiválasztásakor figyelembe kell venni a rezgésszinteket/dinamikai tartományt és a maximális frekvenciatartományt/sáv-

szélességet, valamint az egyéb működési környezetet, például a hőmérsékletet, a páratartalmat és a pH-szintet [1].

2.2. Mérőeszközök

2.2.1. Hangszóró

Ahhoz, hogy mérni lehessen egy alkatrész, vagy rendszer rezgését, szükséges egy olyan eszköz, amely képes szabályozható körülmények között az elemek mozgására, gerjesztésére. Erre a célra tökéletesen megfelel egy hangszóró. A hangszóró feladata, hogy átalakítsa a bemenő elektromos jeleket hangnyomássá. Felépítése az 1. ábrán látható.



1. ábra: Hangszóró felépítése [5]

1. Állandó mágnes
2. Lengőtekercs
3. Felfüggesztés
4. Membrán

Az állandó mágnes rögzített pozícióval rendelkezik a hangszórón belül, és állandó mágneses térrel rendelkezik. A mágnesen belül mozog egy tekercs, amely a membránhoz van rögzítve. A tekercsre váltakozó áramot vezetünk, ami által mágneses tér generálódik körülötte. Ezt nevezzük elektromágnesnek. A bemenő áram irányának változtatásával meg tudjuk változtatni a tekercs polaritását (pozitív-negatív orientációját). Mivel az állandó mágnes mágneses tere és a tekercs váltakozó mágneses tere hatással van

egymásra, így a tekercs elmozdul a membránnal együtt a bemenő jel függvényében. A bemenő elektromos jel így alakul át lineáris mozgássá. A membrán ezt a mozgást hangnyomássá alakítja át azáltal, hogy a levegő részecskéit mozgatva magasabb és alacsonyabb nyomású területeket hoz létre a levegőben. Ez a nyomáshullám (vagy hanghullám) az, ami ha elér egy adott mérendő munkadarabot, akkor megrezegteti azt. A hangszóró gyorsabb mozgása magasabb frekvenciájú hanghullámot (magasabb hangot) hoz létre, lassabb mozgása alacsonyabbat (mélyebb hangot) [6].

2.2.2. MEMS-eszközök:

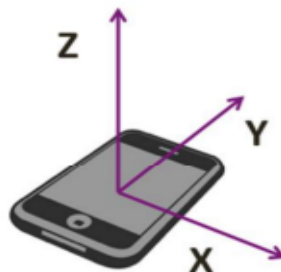
A MEMS (mikroelektromechanikai rendszerek) olyan mikroszkopikus rendszereket jelent, amelyek mechanikus és elektronikus elemeket is tartalmaznak. Ezek a rendszerek a 21. század legígéretesebb technológiai vívmányai közé tartoznak azáltal, hogy ötvözik a mikromegmunkálási technológiákat a szilícium alapú mikroelektronikával [7]. Elképesztő szintű funkcionalitást, megbízhatóságot és hordozhatóságot tesznek lehetővé alacsony költségek mellett. A MEMS-eszközök fizikai méretei az egy mikron alattitól egészen az egy milliméteres határig változhatnak. Az egyre apróbb méretű technológiai eszközök létrehozásával párhuzamosan csökken az energiafogyasztás, csökkennek az egy darabra jutó előállítási költségek, viszont nagyban növelhető a szenzorok érzékenysége. A MEMS egyik fő kritériuma, hogy legalább néhány elemnek legyen valamilyen mechanikai funkciója, attól függetlenül, hogy ezek az elemek mozognak-e vagy sem [8]. A MEMS technológiai kategóriába tartoznak többek között a mikroszenzorok is, mint például a gyorsulásmérő, a giroszkóp vagy a digitális iránytű. Ezek a szenzorok valójában olyan energiaátalakítók, amelyek mért mechanikai jeleket elektromos jelekké konvertálnak. A kutatók már szinte minden lehetséges érzékelési módozatra fejlesztettek ki szenzorokat a hőmérsékletméréstől kezdve a nyomásméréseken át a sugárzás érzékeléséig. Láthatjuk tehát, hogy a MEMS-eszközök miniaturizálása az élet minden területére hatással van. A fejlesztések továbbra is csak folytatódnak, így a határ a MEMS fejlesztések és a nanotechnológia között egyre vékonyodik az idő előrehaladtával [7].

Gyorsulásmérő:

A gyorsulásmérőket számtalan területen használják, például az autóiparban légzsákvezérléshez, a navigációban, az orvostudományban, rezgésdiagnosztikában, vagy okostelefonokban. A mikroelektromechanikai rendszerek (MEMS) fejlődésével ezeknek a szenzoroknak a mérete drasztikusan lecsökkent, így az alkalmazási területeik egyre szélesebbek. Több típusa is létezik a gyorsulásmérőnek attól függően, hogy milyen elven működik: piezoelektromos, piezorezisztív, vagy kapacitív gyorsulásmérő. Az okostelefonok többnyire kapacitív elven működő gyorsulásmérőkkel vannak felszerelve.

Gyorsulásmérő működése:

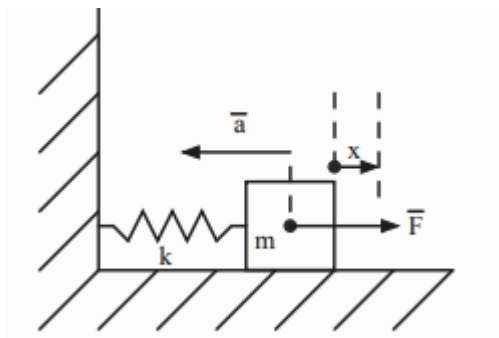
A gyorsulásmérő egy elektromechanikus vagy MEMS eszköz, amelyet a gyorsulási erők irányának mérésére használnak. Ezek az erők lehetnek statikusak, mint a gravitáció, vagy dinamikusak a mozgás vagy a rezgések érzékelésére. A gyorsulásmérő az X, Y és Z tengelyen érzékeli a gyorsulást. A telefon bármely irányú elmozdításával a különböző tengelyeken bekövetkező változásokat érzékeli a szenzor [9]. Fontos viszont megjegyezni, hogy gyakorlatilag nem a gyorsulást méri közvetlenül, hanem a szenzorban található mozgó tömegre ható erőket. Ezt bizonyítja, hogy amikor a telefon alaphelyzetben például az asztalon fekszik, akkor a 2. ábra szerinti elrendezés alapján a gyorsulás értékek az X, Y, Z koordináta-rendszerben rendszerint 0,0,1 g értéket fognak mutatni annak ellenére, hogy nyilvánvalóan a telefon nem gyorsul az asztalhoz képest. Mivel a Z-tengely a gravitáció irányával megegyezik, így ebben az irányban a nehézségi gyorsulás értéke 1 g, azaz $\sim 9,81 \text{ m/s}^2$ lesz.



2. ábra: Okostelefon orientációja X, Y és Z tengelyek mentén [10]

Amennyiben a telefon másik éle mentén történik az elfordítás úgy, hogy az X-tengely legyen merőleges az asztal síkjára, akkor a gyorsulásmérő által jelzett értékek 1,0,0 g lesznek. Ahhoz tehát, hogy mindhárom tengelyen 0 értéket mutasson a készülék, szabadesésben kell zuhannia, ugyanis szabadesés közben a gravitáció hatását nem tudja érzékelni a szenzor.

A gyorsulásmérő működése a testek tehetetlenségén alapszik. Ha egy m tömeget, egyik végén rögzített rugóhoz kötünk, akkor adott erő hatására a test gyorsulni kezd, és elmozdul. A gyorsulás egy vektor, amely az egységnyi idő alatt bekövetkező sebességváltozást mutatja meg.



3. ábra: Gyorsulásmérés lineáris elmozdulással [11]

Newton II. törvényének értelmében a gyorsulás kifejezhető a tömeg és erő felhasználásával:

$$F = m \cdot a = k \cdot x$$

Tehát ebből következik, hogy:

$$a = \frac{k}{m} \cdot x$$

a: gyorsulás [m/s^2]

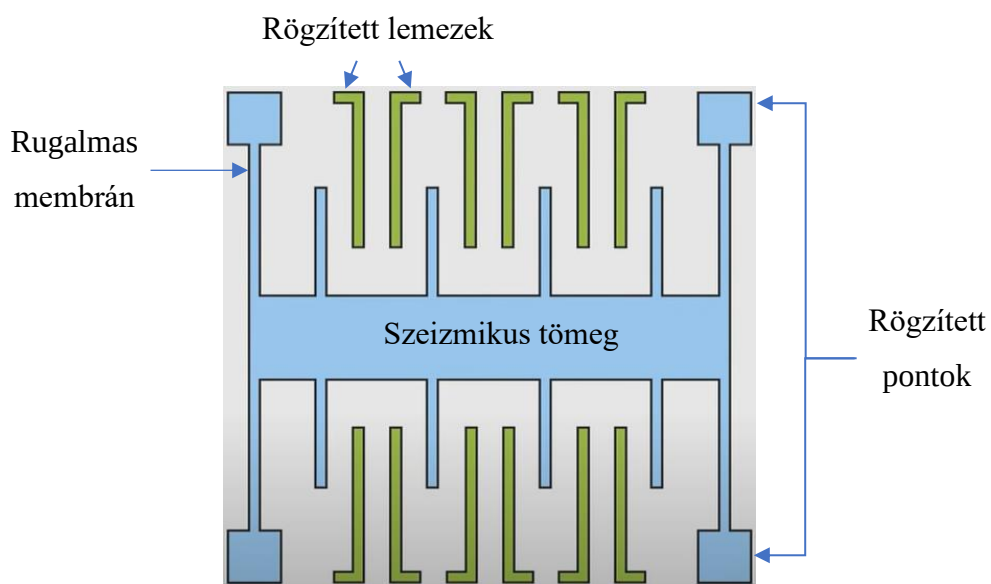
x: elmozdulás [m]

k: rugóállandó [N/m]

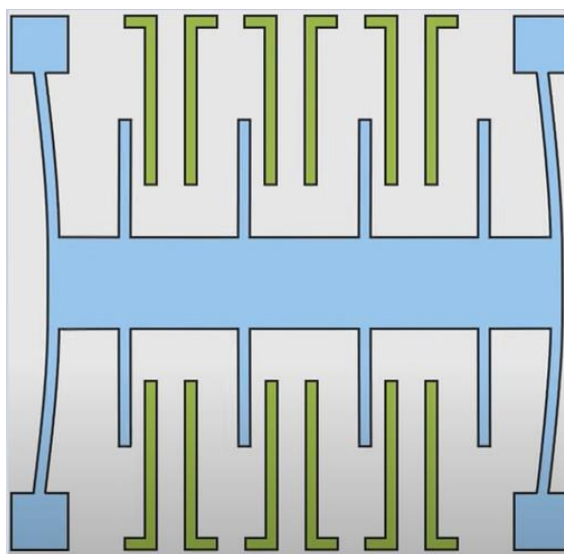
m: tömeg [kg]

F: erő [N]

Az x elmozdulást leggyakrabban kapacitív érzékelőkkel mérik, ezek találhatók meg többnyire a mobil eszközökben is. Ezekben az eszközökben egy rugalmas felfüggesztéssel rendelkező szeizmikus tömeg mozog egy fixált keretben. A rögzített lemezek és a szeizmikus tömeg fésűszerű kilógásai kondenzátort formálnak egymással. Amikor a telefon mozgásba jön a rögzített külső keret vele együtt mozog, viszont a tömeg a tehetetlensége miatt lemarad, ezáltal a tömeg fésűi és a rögzített lemezek között a távolság változik, ahogy a 4. és 5. ábrán látható:



4. ábra: Kapacitív gyorsulásmérő nyugalmi állapotban [12]



5. ábra: Kapacitív gyorsulásmérő gyorsulás alatt [12]

Mivel a kondenzátor kapacitása függ a lemezek közötti távolságtól, így a távolság folyamatos váltakozása a kapacitás változását fogja jelenteni. Ezt a kapacitásváltozást érzékeli a rendszer, és ebből az információból állapítja meg a gyorsulás mértékét. Ezek a mérések általában egy tengely mentén zajlanak, viszont az okostelefonban mindhárom tengely mentén szeretnénk mérni az elmozdulást a megfelelő kihasználtság érdekében. A MEMS gyorsulásmérőket közvetlenül az integrált áramkörre nyomtatják, ezért a külön-külön X, Y és Z tengelyek mérésére alkalmas szenzorokat úgy gyártják, hogy egy rendszerbe, vagy egy chip-re kerüljenek.

Szerencsére a szenzor által gyűjtött adatok kigyűjtésére, megjelenítésére számos telefonos alkalmazás áll rendelkezésünkre, melyek nagyban hozzájárulnak a diagnosztikai folyamat megkönnyítéséhez számos hasznos funkciójukkal.

2.2.3. Alkalmazások:

1. iDynamics:

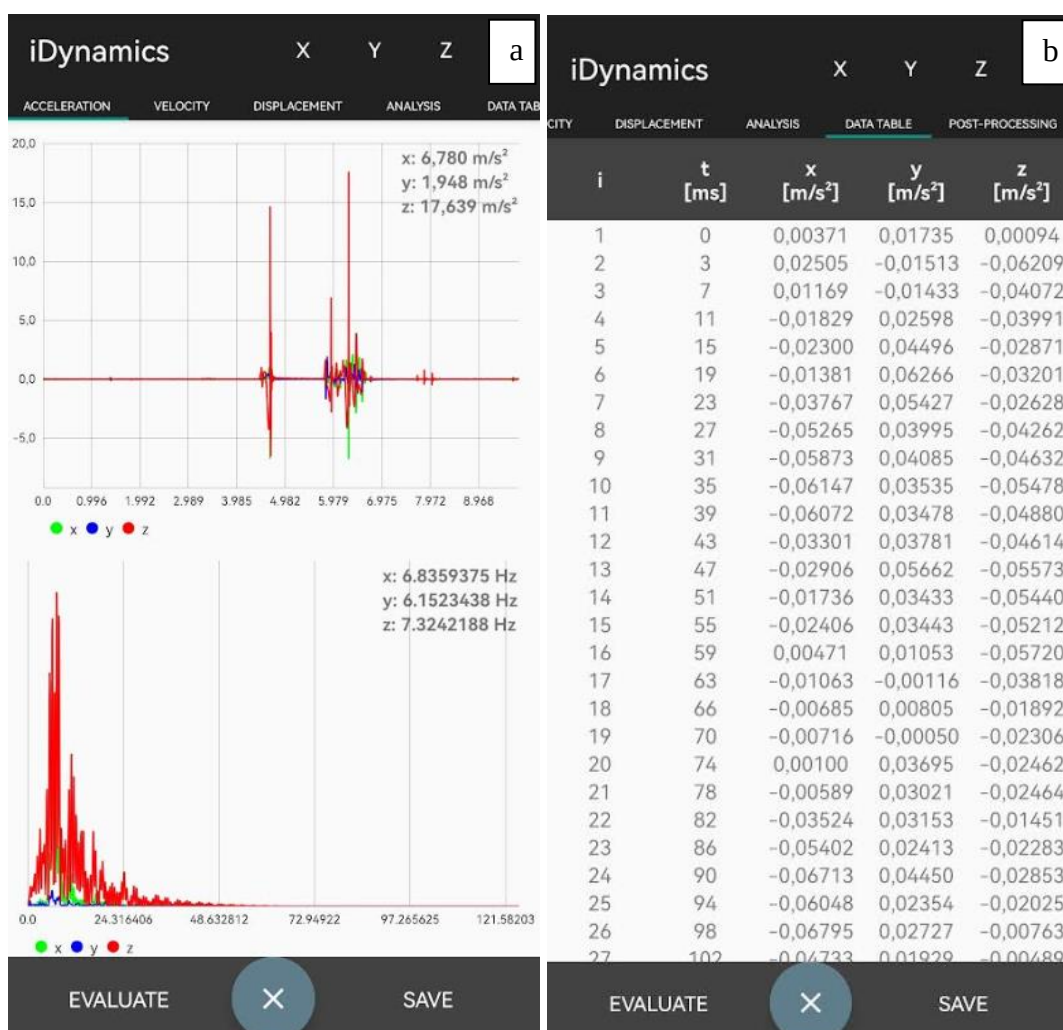
Az iDynamics egy oktatási és tanulási célra kifejlesztett telefonos applikáció. Ezzel az alkalmazással bármilyen rezgésmérési elemzés (pl. frekvenciameghatározás) megvalósítható. Ezenkívül az alkalmazás a szerkezeti állapotfigyelés, állapotváltozás nyomon követésére is használható. Így a szerkezet dinamikai tulajdonságaiban bekövetkező változások felismerhetők és elemezhetők. Ez az alkalmazás számításba veszi a gravitációt a mérési adatok megjelenítésénél, így mindhárom tengely értékei nulláról indulnak a mérés megkezdése előtt [13].

Használata:

A licencfeltételek megerősítése után az alkalmazás használatra kész. Érdekes a mérések előtt a mintavételi sebességet az adott mérési környezethez igazítani. A mintavételi frekvencia beállítása fontos szempont. Ha kevés az adat, és alacsony a frekvencia, akkor pontatlan lesz a mérés. Fordított esetben viszont, mikor sok az adat, és magas a mintavételi sebesség, akkor előfordulhat, hogy kezelhetetlenül nagy lesz az adatbázis, amivel dolgozni kell. A gyorsulásrögzítéshez 50 Hz-es mintavételi frekvencia van előre beállítva, viszont nagyobb frekvenciájú jelek felvételéhez ajánlott a mintavételi sebesség növelése [14].

Mérés:

A start gombot megnyomva elindul a mérés és a szenzor adatait az applikáció rögzíteni kezdi, valamint megjelenítésre kerülnek a gyorsulás (y-tengely) – idő (x-tengely) diagramon (6.a ábra). Ezzel párhuzamosan az értékekhez kapcsolódó frekvencia spektrum is megjelenítésre kerül. A grafikonon egyszerre három tengely mentén való időben történik az adatfelvétel. A képernyő jobb felső sarkában az aktuális mérés során elért legmagasabb gyorsulás értékek vannak feltüntetve. A stop gombbal leállíthatjuk a mérést, és ki lehet elemezni az adatokat. Az adatokat táblázatosan gyűjti az applikáció és a Data table (adattáblázat) fülön tekinthetők meg (6.b ábra).



6. ábra: iDynamics gyorsulás diagram (bal) és adattáblázat (jobb)

Kiértékelés:

A mérés során a maximálisan rögzített gyorsulási amplitúdók közvetlenül a diagramon jelennek meg az adott irányokra vonatkozóan. Kiválasztható, hogy egyszerre hány tengely rögzített adatai jelenjenek meg. A mérés leállítása után különböző kiértékelési lehetőségek állnak rendelkezésre. Az időjel két pontjának érintésével kiválasztható egy tartomány, amelyben a csillapítás meghatározható. Egy harmadik érintéssel a csillapítást a csökkenő amplitúdó módszerével határozhatjuk meg. Az Analysis (elemzés) gombra kattintva különböző értékek jelennek meg, például a maximális gyorsulás vagy a sebesség amplitúdó.

Mentés és mérés betöltése:

A mérések a Save (mentés) gomb segítségével .csv formátumba menthetők és tetszőlegesen elnevezhetők. Az iDynamics alkalmazás Load (betöltés) funkciójával a tárolt mérések is előhívhatók és kiértékelhetők.

2. Physics Toolbox Sensor Suite:

Ez az alkalmazás lehetővé teszi, hogy középiskolai, egyetemi és szakmai környezetben is használható kutatási eszköz váljon bárkinek az eszközeiből. Az applikáció számtalan szenzort képes használni, akár egyszerre is a Dual Sensor, vagy a Multi Record beállítási lehetőségek kiválasztásával. Ilyen szenzorok többek között a giroszkóp, barométer, digitális iránytű vagy magnetométer. Az alkalmazásban található hanggenerátor funkcióval még különböző frekvenciájú jeleket is elő tudunk állítani. Változatos funkcióit széleskörűen lehet alkalmazni a mérés technika területein belül.

Leírás:

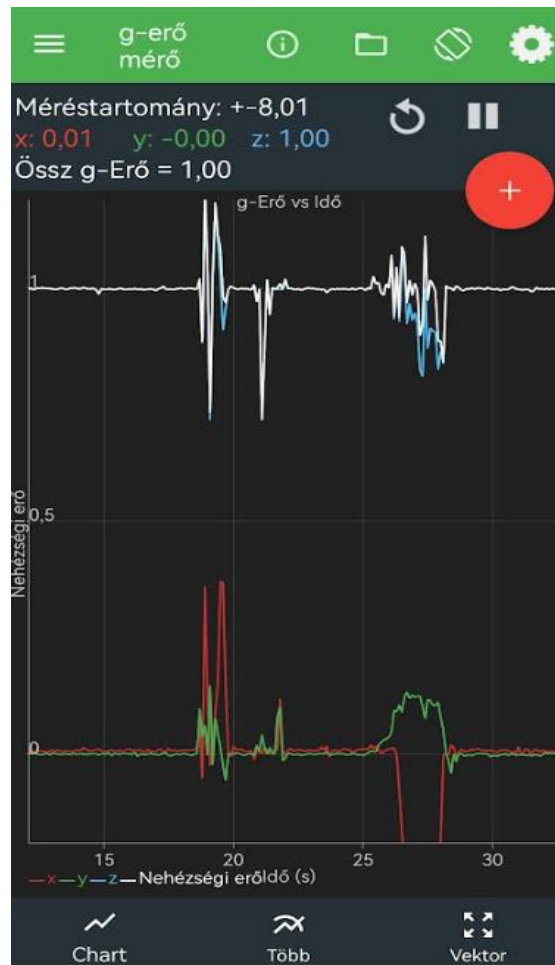
A g-erőmérő a normál erő és a gravitációs erő arányát méri három dimenzióban. A g-erő változik, amikor a mobileszköz mozgásállapota változik: felgyorsul, lelassul vagy irányt változtat. Ez az alkalmazás a gravitáció hatását megjeleníti a kezdeti értékeknél. Amikor a mobil eszköz nem gyorsul, és a földfelszínhez képest arccal felfelé fekszik, a g-erő értékei: 0, 0, 1 g (x, y, z koordináta-rendszerben). Ez azt jelenti, hogy a normál erő csak felfelé hat, és a gravitációs erővel azonos erősségű [15].

Használata:

A mérés elindítása előtt célszerű beállítani a mintavételi frekvenciát a pontosabb gerjesztési kép és adatbázis elérésének érdekében. Lehetőség van kalibráció elvégzésére is. Ennek következtében azok a tengelyek, amelyekre nem hat a gravitáció a nulla referencia pont körül fognak oszcillálni, azok a tengelyek viszont, amelyekre hatással van a gravitáció 1g értékről indulnak, és ez lesz a viszonyítási pont a mérés során. Amennyiben nem végezzük el a kalibrációt az értékeink változó referenciatengelyhez lesznek viszonyítva. Az alkalmazás működése nagyon hasonló az iDynamics-hoz, viszont itt szenzorok serege áll a felhasználó rendelkezésére. Egyből azután, hogy az alkalmazást megnyílt, az applikáció automatikusan elindítja a g-erőmérőt. Itt megváltoztatható az adatok megjelenítésének módja, például a megjelenített tengelyek száma, vonalvastagság vagy a szenzor mérési frekvenciája.

Mérés:

Az éppen aktuális mérési adatok megjelenítése automatikusan elkezdődik a nehézségi erő – idő grafikonon. Három tengely (x,y,z) és egy összesítő tengely (fehér) mentén történik az adatok mérése, viszont a rögzítésre csak a + jel megnyomása után kerül sor (7. ábra). A mérést meg lehet állítani és újra lehet indítani. Leolvashatóak éppen aktuális értékek, össze lehet hasonlítani a különböző tengelyek menti elmozdulásokat, és az információ gomb megnyomását követően számtalan információ áll rendelkezésünkre a használt szenzor márkájáról, mérési frekvenciájáról, vagy éppen az alkalmazás leírásáról és működési elvéről. A további források között különféle elven működő gyorsulásmérőkről tudhatunk meg többet, amennyiben a linkre kattintunk.



7. ábra: Physics Toolbox g-erőmérő

Mentés:

A mérés befejeztével le lehet azt állítani a Stop gombbal, és a későbbiekben vissza lehet hívni a betöltés funkcióval. Az adatok táblázatos formában lesznek elmentve az iDynamics-hoz hasonlóan .csv formátumban. A kinyert adatokat ezt követően táblázatkezelővel ki lehet értékelni.

3. Rezgésdiagnosztika gyakorlati alkalmazása

Ebben a kísérletben a gyorsulásmérést rezgésdiagnosztikai célokra használok fel megvizsgálva, hogy milyen különbségeket lehet megállapítani különböző munkadarabok rezgéskepeiből. Jelen esetben két különböző tulajdonságokkal rendelkező acéllemezt vizsgállok, melyeket egy hangszóró segítségével különböző frekvenciájú jelekkel gerjesztek, és a lemezek vibrációját a hozzájuk erősített telefonban található gyorsulásmérő szenzorral vizsgálom. A mérés elvégzéséhez nincs szükség másra, csupán két okostelefonra, két acéllemezre, egy szorítóra (amellyel a lemezeket az asztalhoz erősítem), egy hangszóróra és egy számítógépre, amin a kiértékelést végzem, ahogy ezt a 8. ábrán látható mérési környezet is szemlélteti. Az egyik okostelefonnal csatlakozok a hangszóróra a különböző hangfrekvenciák lejátszásához, a másikkal mérem a rezgést a rögzített lemezeken. A cél, hogy rezgésdiagnosztikával megállapítható különbségeket mutassunk ki a két lemez között. A telefonon két különböző alkalmazást használok: az egyik a Physics Toolbox Sensor Suite, a másik pedig az iDynamics. Az alkalmazások által összegyűjtött adatahalmaz táblázatkezelővel feldolgozásra tud kerülni, grafikonon ábrázolni lehet az eredményeket, majd ezekből az eredményekből számtalan információt lehet megállapítani a munkadarabok egyes tulajdonságaival kapcsolatban. Az applikációk több szenzor által rögzített adat kiértékelésére is képesek, viszont a dolgozat ezek közül csak a gyorsulásmérővel fog mélyebben foglalkozni.

3.1. Mérési környezet

A megfelelő mérési környezet kialakítása nélkülözhetetlen a sikeres kísérletek elvégzéséhez. Ahhoz, hogy bizonyítható legyen egy tervezett kísérlet eredményeinek valódisága számos helyzetben kell tesztelni a mérendő munkadarabokat.

Annak érdekében, hogy minél több eredménnyel tudjak összehasonlítást végezni, az alábbi mérési körülményeket alakítottam ki:

- 4 különböző hangfrekvenciával gerjesztettem a lemezeket: 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz és 200 Hz. Az adott frekvenciák kiválasztásánál azt a szempontot tartottam szem előtt, hogy melyek vannak a legnagyobb hatással a lemez kilengésére, illetve

a frekvenciák között elég nagy különbség legyen ahhoz, hogy érzékelhető változás mutakozzon a lemezek rezgésdiagramjaiban.

- Az asztallap szélétől különböző távolságokra toltam ki a lemezeket, így változtatva az erőkart, ezáltal a rezgéseképek lehetséges végkimenetelét.
- Két különböző telefonos alkalmazást használtam fel a mérések kiértékelésére összevetve, hogy különböző fejlesztésű applikációk milyen mértékben képesek ugyanazon szenzor adatainak megjelenítésére.

Ebből látható tehát, hogy a két lemez, négy adott frekvencia, három kilógási távolság és két applikáció összesen 48 különböző mérési szituáció eredményét hozta. Ezek közül a kiértékelésnél azokkal a beállításokkal foglalkozok, amelyeknél az eredmények a legszignifikánsabbak voltak, így egyértelműen lehet bizonyítani a kísérletek sikerességét.



8. ábra: Mérési konstrukció

3.2. Eszközök:

Hangszóró:

A hangszóró a levegő nyomásának változtatásával továbbítja az információt. Minél nagyobb erőt fejt ki a membrán a környező levegőre, annál nagyobb lesz a rezgés amplitúdója, tehát a hangerő. Ahogy távolítjuk a hangszórót a befolyásolni kívánt munkadarabtól úgy csökken a gerjesztés hatása. Magától értetődik tehát, hogy a hangszóró elhelyezésénél a szempont az volt, hogy minél közelebb legyen a lemezekhez, így a lehető legnagyobb hatást kifejtve rájuk.

Lemezek:

A mérendő két lemez között a különbség az, hogy az egyik egy ép, egész lemez (9. ábra), a másikon pedig bevágások találhatók (10. ábra), így gyengítve az anyagot. A gyengített lemeztől azt az eredményt várjuk, hogy a gerjesztésre adott válasza különbözni fog az ép lemezétől. Mindkét lemez alap méretei megegyeznek (5cm x 30cm x 2mm), viszont a sérült lemezen öt darab bevágás található a lemez végétől két centiméterenként. A vágások egyenként 1-1 cm mélyen hatolnak bele az anyagba a lemez szélétől számítva.



9. ábra: Ép lemez



10. ábra: Sérült lemez

Telefon:

Az általam használt okostelefon egy Huawei P30 lite volt, melynek kamerája kiemelkedik a telefon hátlapjának síkjából, így nem lehetett vízszintesen stabilan felfektetni a mérendő munkadarabra. Ezt kiküszöbölve a mérés során a telefon tokját rajta hagytam az eszközön minden egyes mérési beállítás alkalmával, így kiegyenlítve a geometriai különbségeket. A telefont a lemezekhez ragasztószalaggal rögzítettem, elkerülve a rezgések következtében bekövetkező mozgásokat.

Fontos megemlíteni a készülék lemezekhez viszonyított pozícióját is. Mivel mindkét lemez esetében a lemezek kilógó végéhez igazítottam a telefon szélét, így ugyanakkora megoszló terhelés volt hatással a munkadarabokra a mérés alatt.

Alkalmazások:

Az irodalomkutatás 14. oldalától kezdve részletezve van.

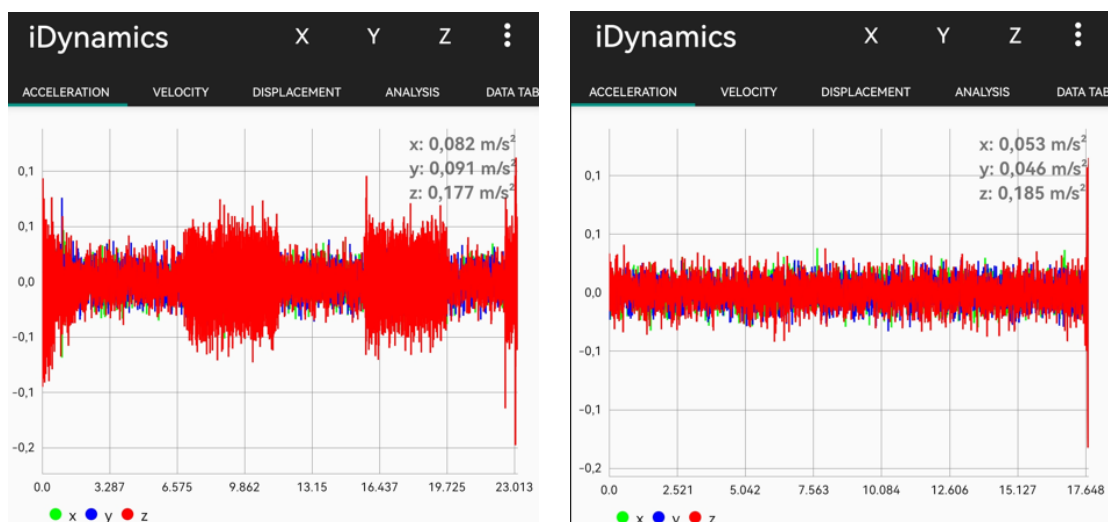
3.3. Mérési folyamat**1. mérési beállítás:**

Alkalmazás: iDynamics

Frekvencia: 50 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

Ebben a beállításban számos különböző eredményt tudunk összehasonlítani egymással a két különböző lemez és két különböző applikáció által három tengelyen. Először az iDynamics alkalmazás eredményeit elemezzük.



11. ábra: Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgéseképe (iDynamics)

A 11. ábrán két összesített rezgéseket látunk az iDynamics applikációban a gyorsulásmérő adatai alapján, ahol mindhárom tengely elmozdulásai egyszerre láthatók a gyorsulás (Y- tengely) – idő (X-tengely) grafikonon. Hasonlítsuk össze az ép lemez eredményeivel a sérült lemez hasonló környezetben kapott gerjesztésre adott választ. Szemléletes a különbség a két ábra között. Míg az ép lemezen meghatározó eredmények látszanak, a sérült lemez semmilyen reakciót nem mutat. Ez egy előzetes szemrevételezési eredmény arról, hogy látható-e bármiféle változás a lemezekkel kapcsolatban. Egyértelmű különbségeket lehet látni tehát egyrészt a gerjesztés nélküli és a gerjesztett állapotokban mért gyorsulásértékek között az ép lemez esetében, illetve az ép és sérült lemez gerjesztésre adott eltérő válaszáinál. Az ép lemez markáns kitérést produkál az 50 Hz-es gerjesztés hatására, viszont a sérült lemeznél semmilyen reakció nem látható. A tengelyenként különböző színekkel jelölt elmozdulások alapján a Z-tengelyen történt kilengés tűnik a legmeghatározóbbnak az ép lemez esetében. Mivel a mérés elindításához fizikailag rá kell kattintani a Start gombra az alkalmazásban, így ennek hatására a telefon beremeg, ezt látni a diagram első másodpercében is. Ezt követi a csillapodási szakasz, amikor az ujjam által keltett vibráció elcsendesedik, és beáll a minimális mozgással járó nyugalmi állapot. A nyugalmi állapotot megszakítja körülbelül 6,5 mp-cel a mérés kezdete után a hanggerjesztés, ennek eredménye szépen látszik is az ábrán. Az első gerjesztést ismét egy nyugalmi szakasz követi, majd újra egy rövid

gerjesztés. A mérés végén a nyugalmi szakaszt zárja a teszt leállításával járó nagyobb erőhatás.

Érdeemes a különböző tengelyeken külön-külön is a gyorsulásértékeket összehasonlítani mind az ép, mind a sérült lemez esetében is.

Z-tengely:

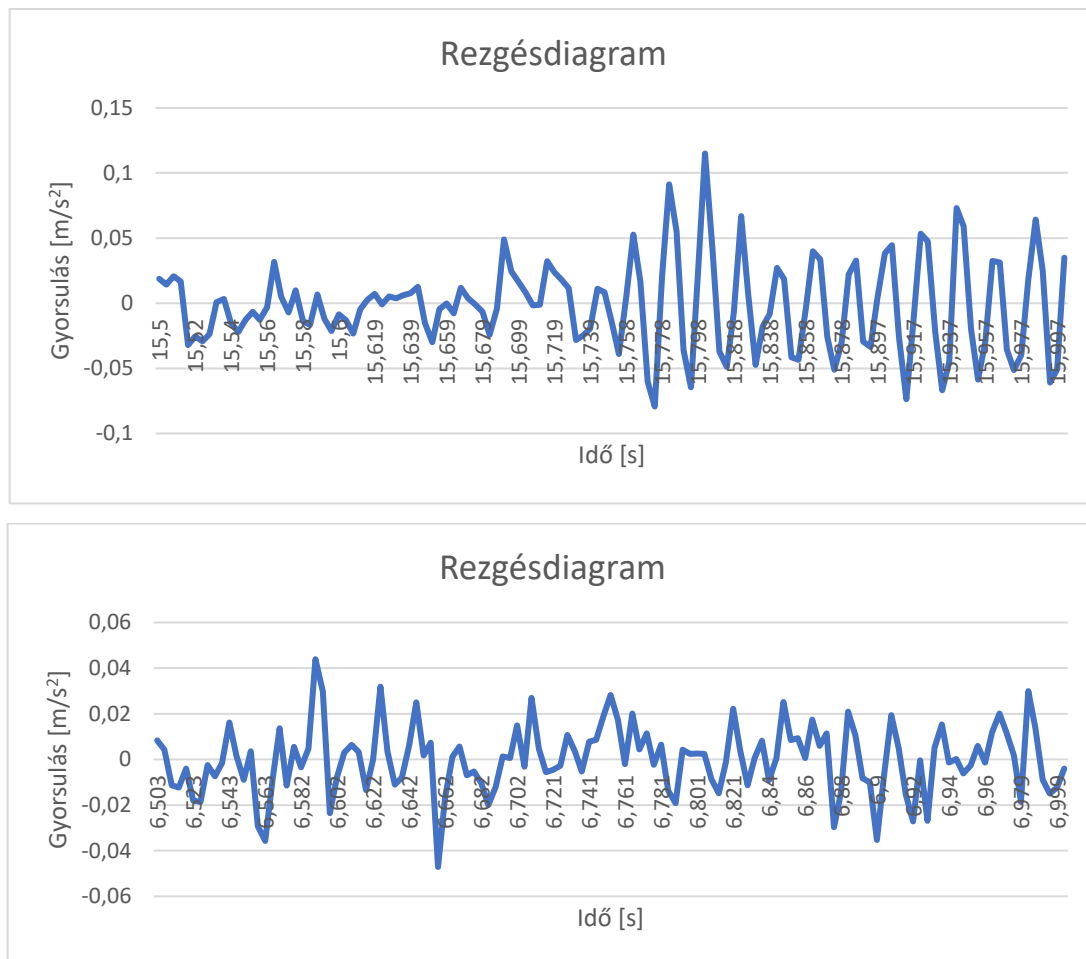
Az adatokat tovább elemezve táblázatkezelő segítségével ugyanezt az átfogó eredményt látjuk a teljes mérési időintervallumról a Z-tengely esetében (12. ábra).



12. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a Z-tengelyen

Részletesebben megvizsgálva az adott pontokban mért értékeket megállapítható, hogy a gerjesztés hatására milyen mértékben változott meg a lemezek gyorsulása. A 12. ábrán kivehető, hogy mikor történt valamilyen változás a lemez mozgásában, viszont leolvasni értékeket adott pillanatban csak nehezen, vagy egyáltalán nem tudunk, illetve a periodikus rezgőmozgás miatt várt hullámgörbe jelleget sem tudjuk megállapítani. Le kell szűkíteni a vizsgált tartományt olyan időintervallumra, ahol szemléletesebbek a különbségek. Az ábráról leolvasható, hogy körülbelül 15,5 másodperccel a mérés kezdete után kezdődik a második gerjesztés, melynél első ránézésre jelentős kilengés változás

történt. Ennek vizsgálatára egy olyan tartományt jelölünk ki, amelyben látható a nyugalmi és gerjesztett állapot is ezen időpont körül.



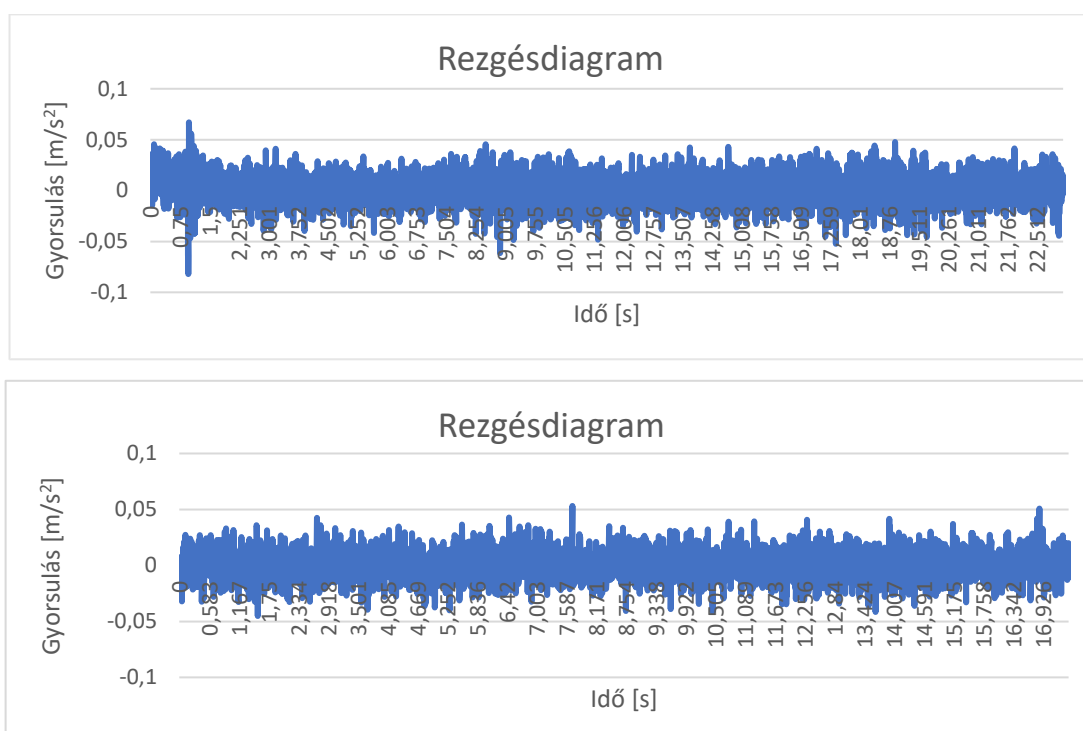
13. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

A 13. ábrán pontosabb értékeket kapunk arról, hogy milyen szinten tér el a két lemez gyorsulása azonos gerjesztés hatására. A vizsgált időtartam nagyjából fél másodperc mindkét esetben. Az ép lemezt vizsgálva először szembetűnő, hogy az állandó frekvenciájú gerjesztés nélküli időtartamban ugyan valamilyen szinten felismerhető az oszcilláló mozgás, mégis rendszertelen. A hanghatás következtében azonban a periodikus mozgás beáll, és nagyjából $0,05 \text{ m/s}^2$ körüli átlag értéknél mozog a maximális kitérés negatív és pozitív irányban is. A sérült lemeznél ez a periodikus rezgőmozgás egyáltalán nem jelenik meg, itt a hanghatás teljes ideje alatt egy alap, rendszertelen vibráció figyelhető meg. Míg az ép lemez legmagasabb gyorsulásértékei meghaladják a $0,1 \text{ m/s}^2$ -

es értéket, addig a sérült lemez csupán a $0,04 \text{ m/s}^2$ -es értéket üti meg a vizsgált időtartamban.

X-tengely:

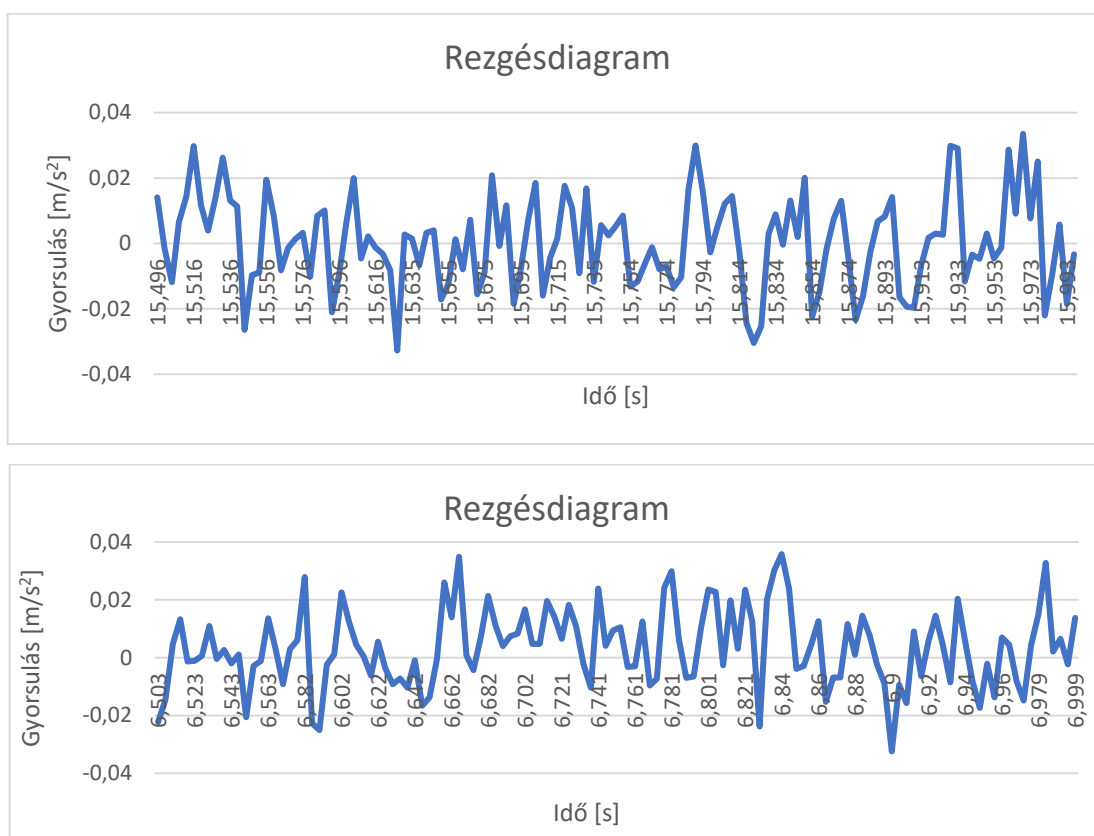
Az X-tengely mentén már nem történt ilyen jelentős mozgásváltozás egyik munkadarab esetében sem (14. ábra). Ennek magyarázata az, hogy mivel a három tengely közül a legnagyobb elmozdulás Z irányban történik, tehát a vízszintes síkra merőlegesen, így az X és Y tengelyek mentén kevésbé várható, hogy a vibráció meghatározó lesz.



14. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az X-tengelyen

Az ép lemez mérésekor bekövetkező indítási erőhatástól eltekintve semmilyen jellegzetes különbséget nem tudunk megállapítani a diagramok között. Ez az erő valószínűleg csak azért hatott erre a tengelyre, mert minimális szinten a telefon kibillent a rövidebb oldala mentén is, tehát a lemezre csavarónyomaték hatott. A periódusok maximális gyorsulásértékei mind pozitív, mind negatív irányban $0,02 - 0,04 \text{ m/s}^2$ átlag körül mozognak.

Mivel nem tudunk megállapítani pontos információkat adott időpontokhoz kapcsolódóan, így ismét egy szűkebb tartományt kell megvizsgálni a gerjesztett intervallumból.



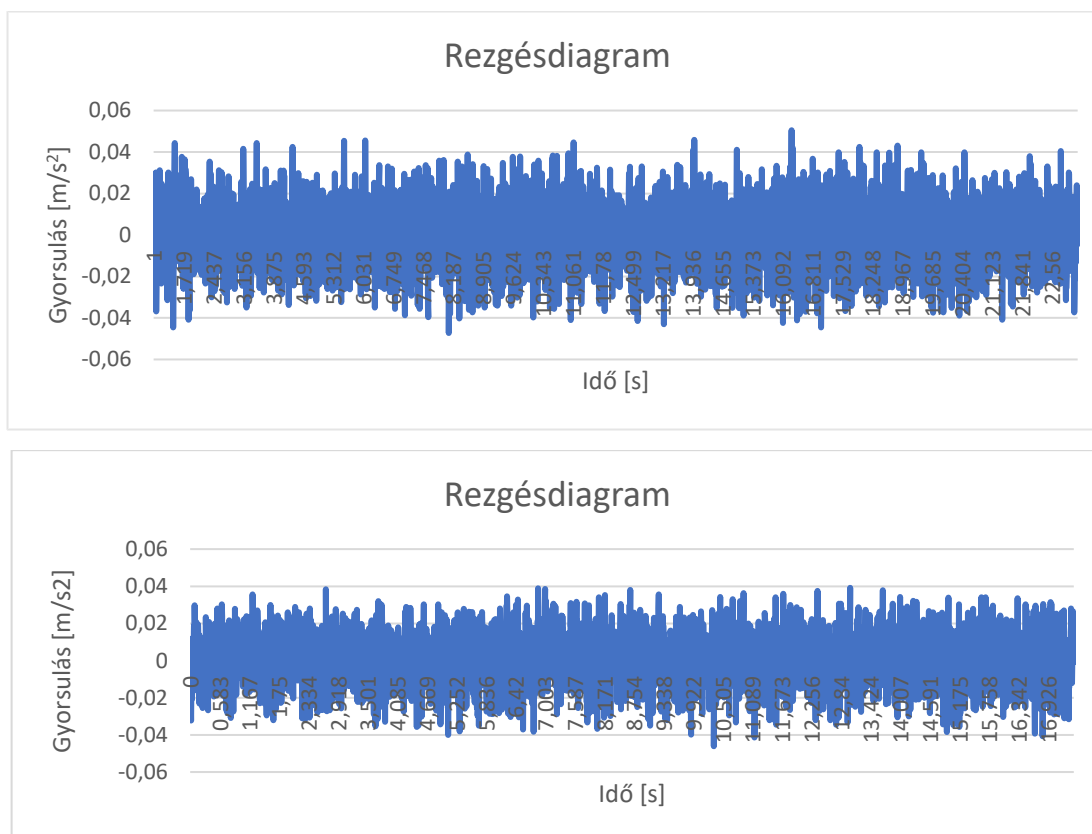
15. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

A 15. ábrán egy fél másodperces időtartományban van megjelenítve a két lemez grafikonja. A nulla pont körül váltakozó mozgás ugyan felismerhető, tehát gyorsulásértékeket tudott érzékelni a szenzor, viszont a gerjesztés hatása egyáltalán nem kivehető ezekből az eredményekből, és csak a nyugalmi állapotban is jelenlévő minimális rezgéseket lehet észrevenni. A maximális gyorsulások $0,03 - 0,04 \text{ m/s}^2$ körüli értékeket vesznek fel mindkét vizsgált elem esetében.

Y-tengely:

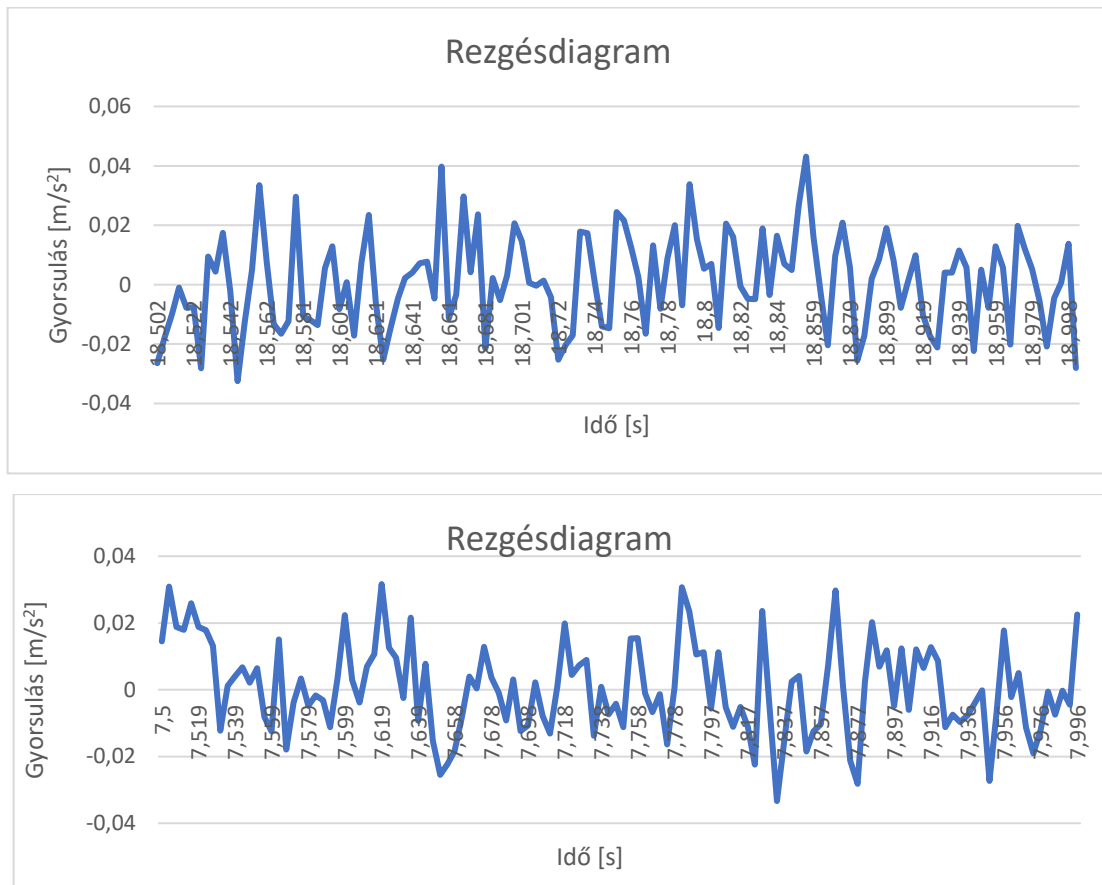
A 16. ábrán láthatóan Y irányban sem volt a gerjesztésnek olyan hatása, amellyel bármiféle különbséget ki tudtunk volna mutatni első ránézésre a különböző lemezek között a grafikonok alapján. A mérés indításával és leállításával járó erőhatás nem jelentkezik ezen a tengelyen, ebben a mérési beállításban.

A tartomány maximális értékei a $0,02 - 0,04 \text{ m/s}^2$ -es értékeket veszik fel többnyire, viszont a gerjesztés nem változtat a nyugalmi állapothoz képest a rezgésképen. A további információk felderítésének érdekében a diagramot egy kisebb időtartamban is kielemezem a korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan.



16. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Y-tengelyen

A 17. ábra jeleníti meg a gerjesztés alatt meghatározott fél másodperces időintervallumokat mindkét elemre. Az összesített diagramból nem tudtunk érdemi konklúziót levonni a rezgéskülönbségeket illetően, viszont a nagyított ábra a felszínre hoz meghatározó értékeket, és átláthatóbbá teszi a képet. Míg az ép lemez esetében a gyorsulás időnként átlépi a $0,04 \text{ m/s}^2$ -et, és többnyire $0,03 \text{ m/s}^2$ körül mozog a maximális értékek átlaga mindkét irányban, addig a sérült lemez reakciója itt is kisebb. Ugyan szembetűnő különbségeket nem tudtunk levonni az ábrákról, de egy minimális differencia így is megállapítható a pontosabb adatelemzésnek köszönhetően.



17. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

1. mérési beállítás:

Alkalmazás: Physics Toolbox Sensor Suite

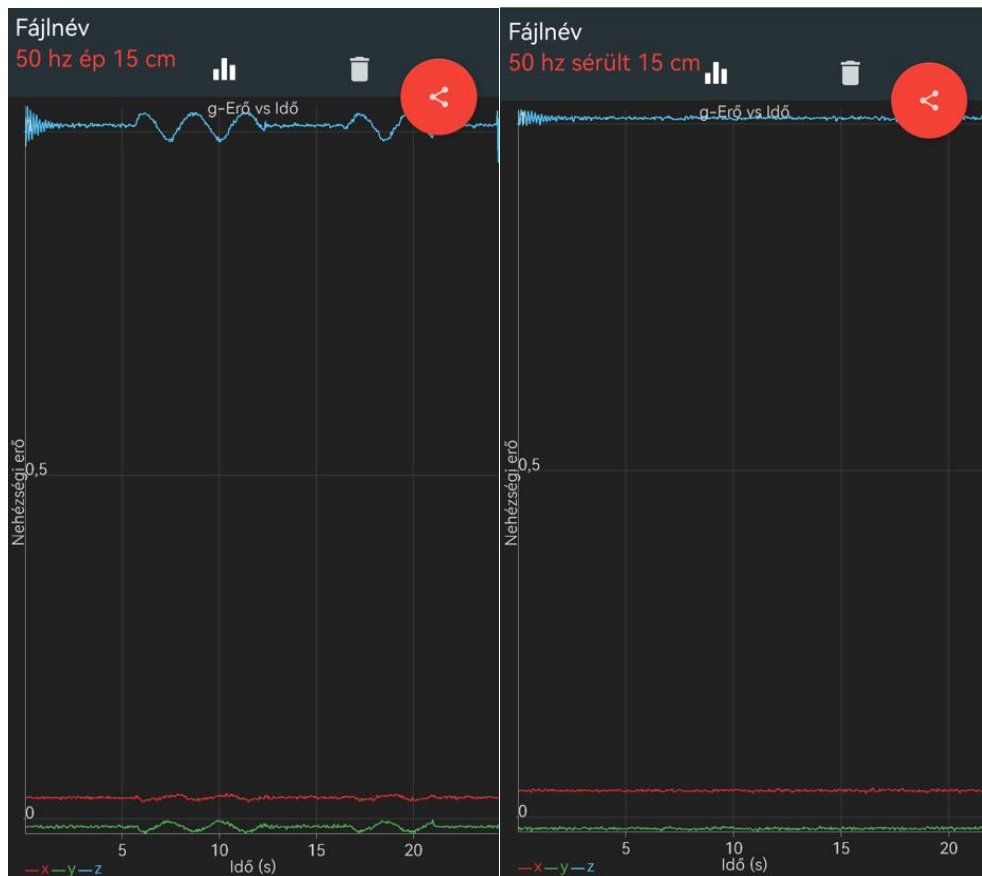
Frekvencia: 50 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

Az iDynamics eredményei után az első mérési beállítás kiértékelését a másik applikáció, a Physics Toolbox Sensor Suite adataival folytatom. A 18. ábrán láthatók a lemezek mérési eredményei az alkalmazásban betöltve. Az okostelefon X, Y és Z tengelyeinek értékei szeparálva vannak megjelenítve az iDynamics elrendezésével ellentétben. Ennek

oka, hogy míg az iDynamics a gravitáció hatását számításba véve kivonja azt az indulási értékekből, így a gyorsulás megjelenítése minden tengelyen nulláról indul, addig a Physics Toolbox ezzel külön nem kalkulál. Ebből következik, hogy ha a telefon alaphelyzetben a lemezen fekszik, párhuzamosan a Föld felszínével, akkor az eszköz Z tengelyének (amely a gravitációval megegyező irányú) kiindulási értéke 1 g (nehézségi gyorsulás $-9,81 \text{ m/s}^2$). Tehát a grafikon nem a konkrét gyorsulási adatokat jeleníti meg, hanem az értékek 1 g-hez viszonyított arányát. Szembetűnik továbbá, hogy az X és Y tengelyek sem pontosan nulláról indulnak, ennek kalibrációs okai lehetnek.

A megjelenítési információk értelmezését követően szemrevételezzük az ép és sérült lemezek gerjesztésre adott válaszait. A diagramokból egyértelműen megállapítható, hogy mely tengelyek mentén és nagyjából milyen időpontban váltott ki reakciót a hanghatás, valamint ennek mekkora volt a relatív mértéke. A mérés kezdetekor itt is felismerhető az elindítási erőhatás, melynek következtében a lemez minimálisan megremeg, majd ennek a csillapodási szakasza. Ezek a hatások csak a Z-tengely mentén jelentkeznek, a másik két irány menti elmozdulást nem befolyásolták. Elkülöníthető a gerjesztés előtti nyugalmi állapot, a gerjesztés általi vibrációs intervallum, illetve a mérés végén a leállítással járó kisebb erőbehatás okozta kiugró értékek. A másik applikációval megállapított eredményeinket ezen mérés is megerősíti. Az ép lemez kitérése jóval szignifikánsabb, mint sérült társáé. Ezt a különbséget elsősorban a Z-tengely mentén történt változásokból lehet megállapítani. Az alkalmazás által megjelenített ábra alapján további feltűnő különbségeket lehet felfedezni. A Z-tengely mellett minimálisan az X és Y tengelyeket is befolyásolta a hanggerjesztés, viszont a sérült elemre nem igazán volt elmozdító hatással a kísérlet.



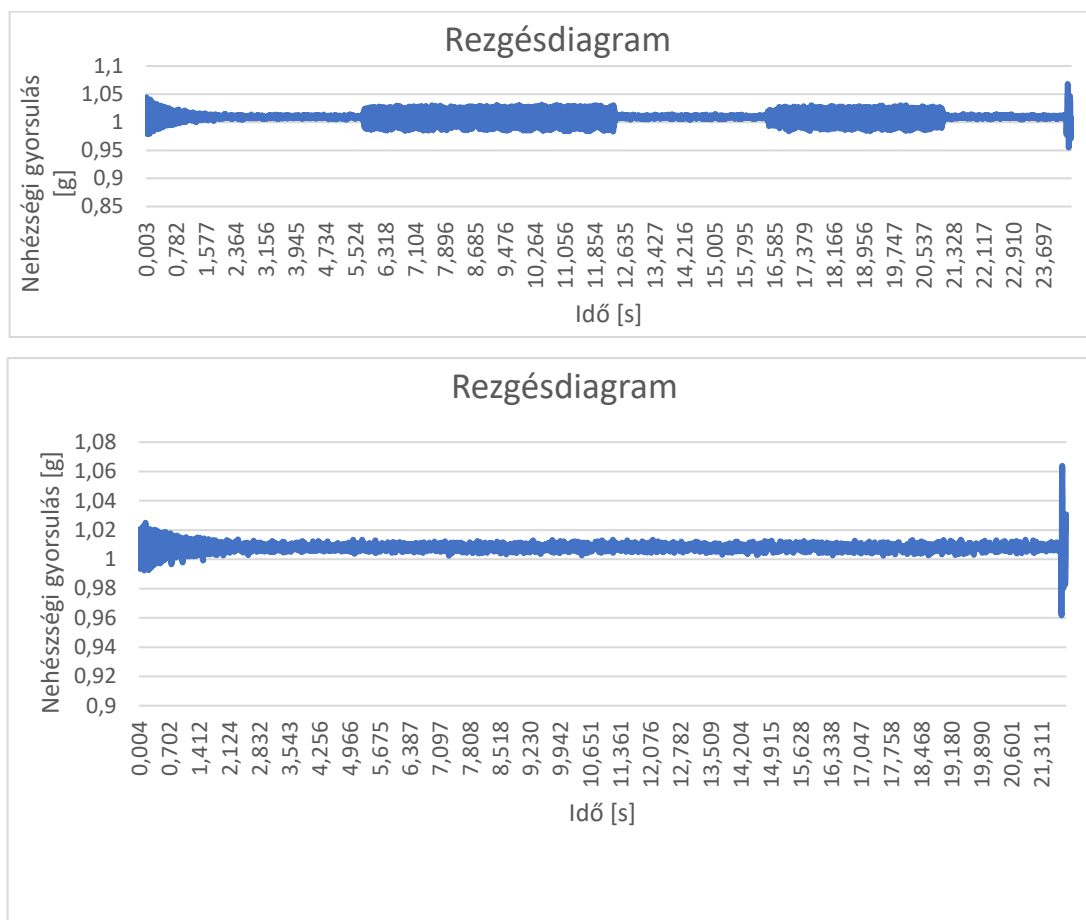
18. ábra: Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgése (Physics Toolbox)

A továbbiakban táblázatkezelő segítségével kielemezem külön-külön a három tengely mentén a rezgéseképeket. összehasonlítva, hogy pontosan mekkora változások történtek a lemezek között.

Z-tengely:

Az alkalmazás diagramjából kiindulva a legmarkánsabb különbség jelen esetben is a Z-tengely mentén adódott. Ennek egyik oka, hogy mivel az adott lemezt a vízszintes síkkal párhuzamosan toltam ki, ez gyakorlatilag egy szabad végű tartószerkezet, és Z irányban nincs semmi, ami meggátolná a lemez végének lehajlását, melyre hat a gravitáció. A másik ok az, hogy a hangszóró a lemez alatt volt elhelyezve, és a levegő nyomáshullámai (hanghullámok) ebből az irányból fejtették ki a legnagyobb erőt az elemekre.

A Z-tengely menti elmozdulásokat a 19. ábrán látható grafikonok ábrázolják.

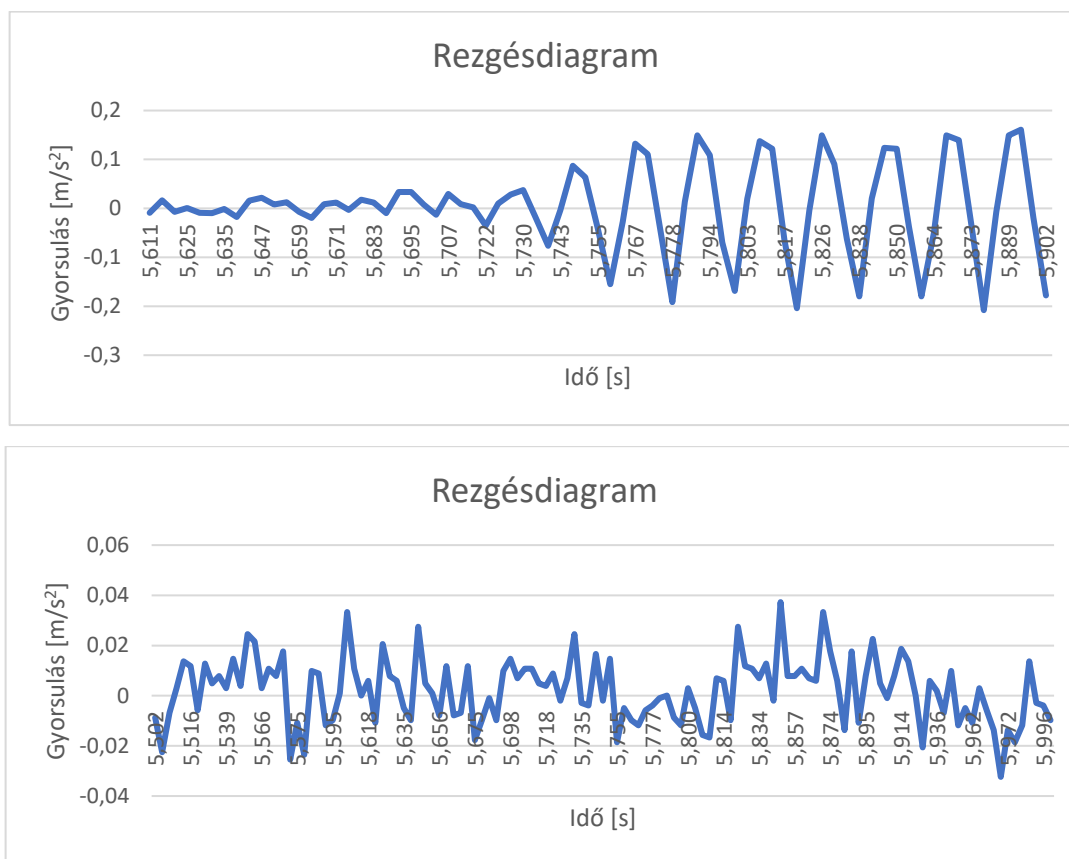


19. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a Z-tengelyen

Ezek a diagramok nem túl részletesek ekkora intervallumban, mivel Z-tengely mentén a gravitációval számolva 1-ről indul az értéksor, így a nullától lévő távolsága miatt a táblázatkezelő összezsugorítja a grafikont. A mérés elején és végén látható indító/leállító erőhatás megugró értékeinek következtében pedig szintén szélesebb tartományban jeleníti meg az információt a program. Mindezek ellenére azonban már ebből is megállapítható, hogy a rezgéskép jellege nagyon hasonló az iDynamics alkalmazás által generálthoz. Mindkét lemez diagramján látható az indítási és leállítási erőhatás, az ép lemeznel pedig a nyugalmi, illetve a gerjesztett állapot is. Az ép lemez gerjesztett intervallumai 5,5-12,5 másodperc, illetve 16,5-21 másodperc között zajlanak, megszakítva nyugalmi zónákkal, mikor nem volt hanghatás. A sérült lemez ábrájából nem tudunk gerjesztéssel kapcsolatos következtetéseket levonni.

Mivel pontos értékeket leolvasni és adott pillanatokhoz rendelni nem tudunk a kapott ábráról, így tovább szűkítjük a vizsgálati tartományt. Ezt úgy célszerű elvégezni, hogy a

gerjesztés kezdetének időpontja ebbe beleessen, és egy ábrán lehessen összehasonlítani a nyugalmi állapottal. Másik fontos szempont, hogy mivel nem konkrét gyorsulásértékeket látunk, hanem g -értékeket, érdemes a mértékegységek nagyságrendjét megfelelően kezelni a könnyebb összevetés érdekében.



20. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

A 20. ábrán lévő diagramban a g -értékek helyett már konkrét gyorsulásértékek szerepelnek, valamint elcsúsztattam a grafikon kiindulási vonalát úgy, hogy az a nulla gyorsulás érték körül oszcilláljon. Ennek azért van fontos szerepe, mert az iDynamics applikáció gyorsulásértékeivel is összehasonlítottam az eredményeket, illetve a mostani elemzésnél is megkönnyíti a feladatunkat, és szemléletesebbé teszi az ábrázolást.

Az ép lemeznel felismerhető nyugalmi szakaszt az 5,74 másodpercnél kezdődő gerjesztés szakítja meg, melynek következtében periodikus mozgás indul be. Az ép lemez negatív irányban a 0,2 m/s²-es gyorsulást is átlépi adott pillanatokban, viszont a sérült lemez

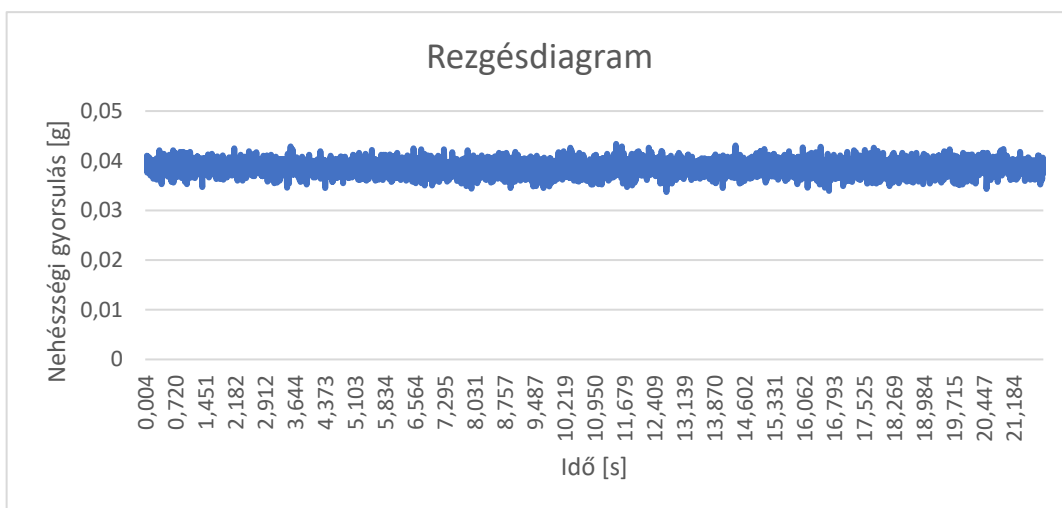
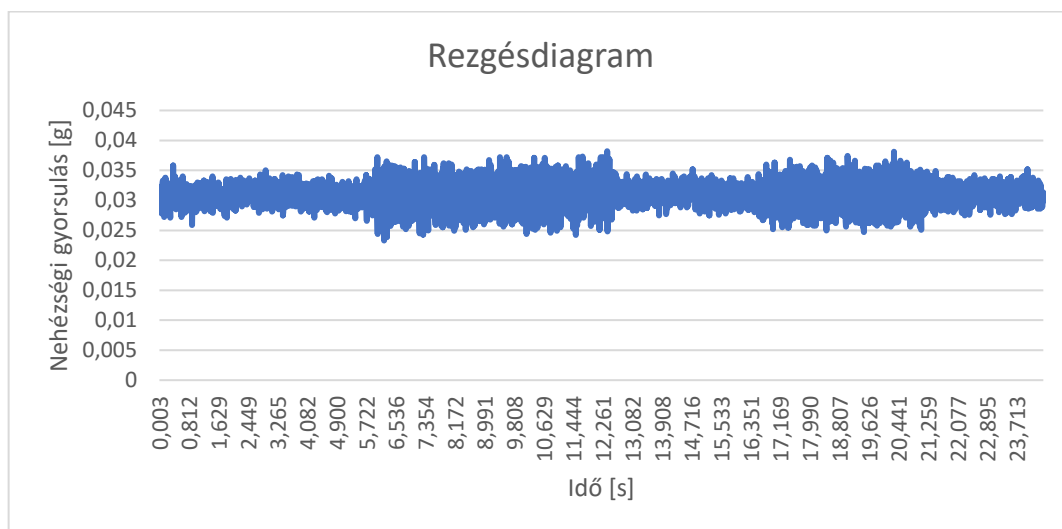
legkiugróbb értéke csupán $0,04 \text{ m/s}^2$ a vizsgált tartományban. Mint látjuk, ez ötszörös gyorsuláskülönbség a legmagasabb értékeknél. Az ép lemezt látványosan befolyásolja a gerjesztés, a sérült lemeznél viszont nincs megfigyelhető változás, csupán az értékek rendezetlen váltakozása folytatódásként.

X-tengely:

A Physics Toolbox alkalmazás X-tengely irányú változásokat is rögzített az iDynamics-szal ellentétben. A 21. ábrán egy átfogó rezgésképet kapunk a mérés teljes időtartamáról. A hanggerjesztés ezen a tengelyen is kizárólag az ép lemezre gyakorolt akkora hatást, hogy az mérhetően elmozduljon, ezt az ábrákból egyértelműen megállapíthatjuk. A mérés indításakor és leállításakor fellépő erőhatás nem befolyásolta egyik lemezt sem az X-tengely mentén. Az ép lemezen a kezdeti nyugalmi szakaszt nagyjából 5,5 másodpercnél megszakítja a gerjesztés, amely 12,5 másodpercig tart. Ezt követi ismét egy nyugalmi szakasz, majd egy újabb gerjesztés körülbelül 16,7 másodperc elteltével. Az utolsó nyugalmi szakasz nagyjából 21 másodperc után kezdődik.

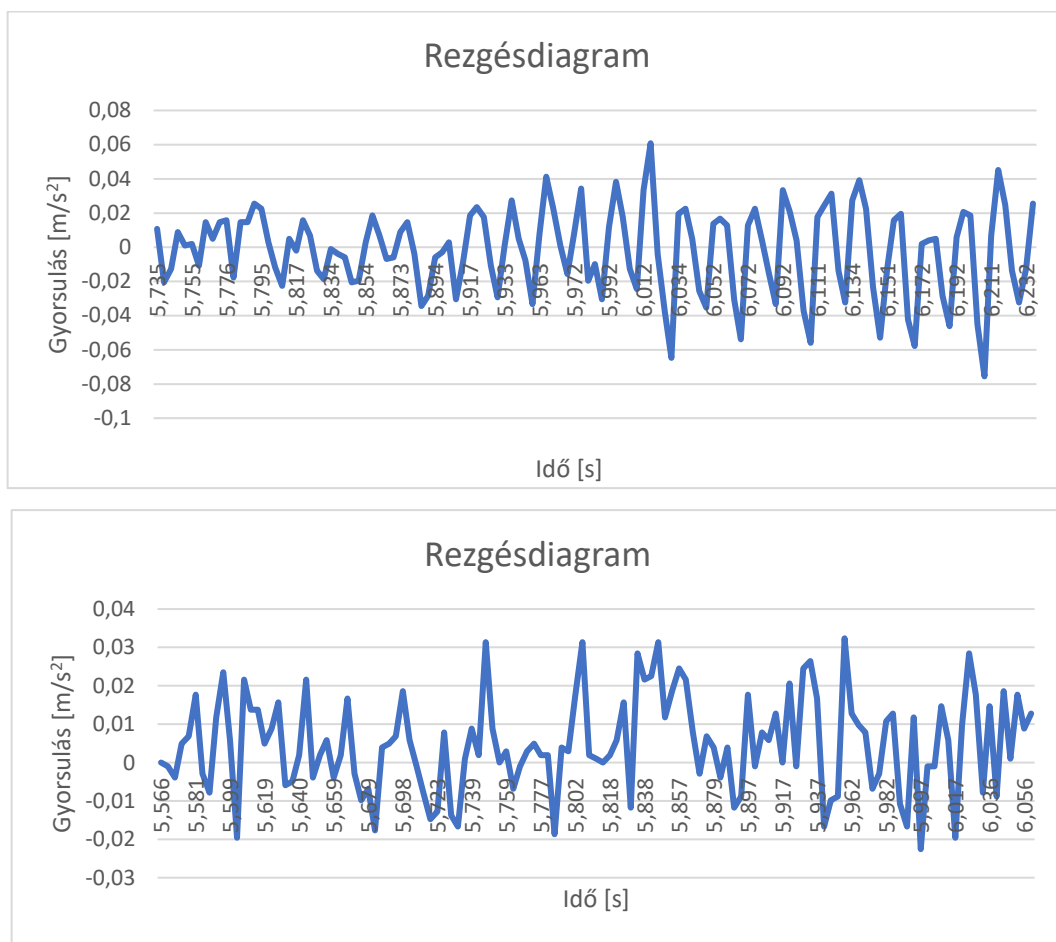
A sérült lemezt vizsgálva nem lehet megállapítani semmiféle változást. A hanghatás frekvenciája nem befolyásolta a lemez mozgását. Az észrevehető, hogy a lemez a nyugalmi helyzetben is jelenlévő minimális rezgéseket produkálja, és egy adott érték körül változnak a gyorsulások pozitív és negatív irányban is egyaránt, de ettől eltekintve egyéb hatás nem keletkezett.

Mivel pontos értékeket itt sem tudunk könnyen értelmezni, így célszerű egy nagyított képet, egy szűkített időtartományt ábrázoló grafikont generálni.



21. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a X-tengelyen

A szűkített tartományban szereplő értékeket a 22. ábrán láthatjuk. Ismét kijelöltem egy fél másodperces szakaszt, amit részletesebben lehet elemezni. A g-értékeket konvertáltam m/s^2 -es gyorsulásértékekké, illetve a diagram y-tengelyén elcsúsztattam a skálát olyan mértékben, hogy nulla körül oszcilláljon a görbe, így sokkal látványosabban ábrázolva a negatív-pozitív kilengéseket.



22. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

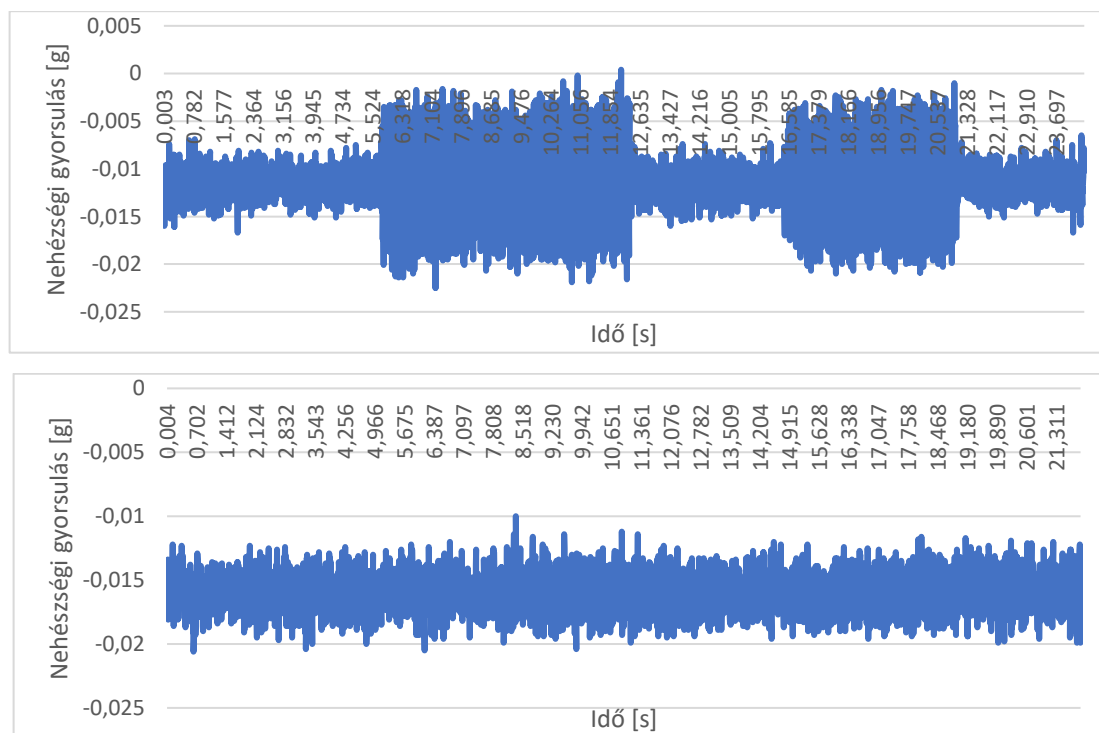
A részletes diagramok által a kezdeti feltételezéseink további bizonyosságot nyernek. Az ép lemez ábráján felismerhető nyugalmi állapotbeli mozgás idővel felerősödik, és a gerjesztés hatása 6 másodperctől teljes. Drasztikus értékváltozás helyett itt egy átmeneti, fokozatos gyorsulásnövekedést lehet megfigyelni. Ez arra vezethető vissza, hogy az adott hangfrekvenciát a hangszóró nem teljes amplitúdóval kezdte el sugározni, hanem rövid idő alatt növekedett a hangerő a maximális értékre. A hangerő (amplitúdó) növekedésével a gyorsulás is egyre növekvő szinteket ért el. Az ábráról leolvasható kezdeti ingadozás pozitív és negatív irányban is $0,02 \text{ m/s}^2$ érték között mozgott, majd a $0,03\text{-}0,04\text{-os}$ értékeket követve elérte a gyorsulás a tartományban szereplő legkiemelkedőbb, $0,06 \text{ m/s}^2$ – es értéket.

A sérült lemezzel kapcsolatban hasonló részletes elemzést nem tudunk lejegyezni, mivel a gerjesztés ellenére továbbra is a nyugalmi állapot értékei jelennek meg a görbén. A nulla érték körüli nagyjából egyenlően megoszló mozgását meg lehet figyelni, viszont periodikus jelleg nem figyelhető meg.

Y-tengely:

A 23. ábrán az Y-tengely menti változásokat lehet megtekinteni. A grafikon függőleges tengelye itt is a nehézségi gyorsulás (1 g) arányában jeleníti meg a számokat. Indításkor és leállításkor fellépő erőnek nincs hatása ebben az irányban egyik lemezre sem. Egyértelműen látható viszont a korábbiakhoz hasonlóan, hogy drasztikus különbségek mutatkoznak az elemek között. Gerjesztés hatására az ép lemez hirtelen felgyorsul, majd mikor a hanghatás befejeződik az értékek ugrásszerűen visszaesnek a nyugalmi szintre. Nem figyelhető meg átmeneti lassulás, csillapodási szakasz. Ugyanez mondható el a következő gerjesztési fázisról, mely 16,6 másodpercnél indul.

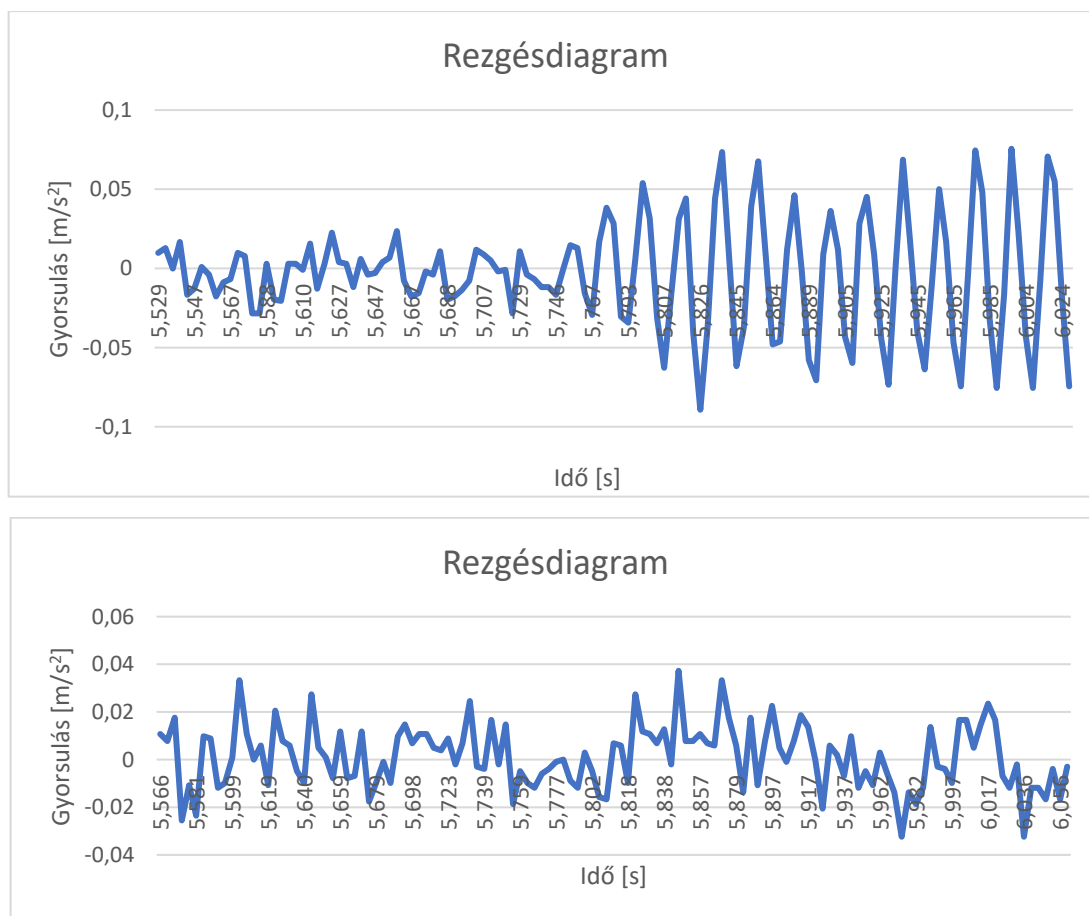
Ezzel szemben a sérült lemez továbbra sem produkál választ a gerjesztésre. A mérés teljes ideje alatt a nyugalmi értékek figyelhetők meg mindenféle kiugró reakció nélkül.



23. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a Y-tengelyen

A pontosabb értékek és különbségek meghatározásához a nagyított képhez folyamodtam ismét. Egy körülbelül fél másodperces szakaszt elemzek a további részletek felderítésének érdekében, melyet a 24. ábrán lehet megtekinteni.

A Physics Toolbox által rögzített nehézségi gyorsulásértékeket először ennél a tengelynél is átalakítottam m/s^2 -es abszolút értékekké, valamint a nulla tengelyhez rögzítettem az oszcilláló mozgást. Ez az ábrázolás megerősíti a korábbi, teljes tartományt megjelenítő grafikonról leolvasott adatokat. Az ép lemez egy minimális rezgéssel járó nyugalmi szakaszt követően hirtelen gyorsulásváltozással elmozdulva kezd meg periodikus rezgőmozgását körülbelül 5,7 másodperccel a mérés indítása után. A nyugalmi szakasz rendezetlen mozgása utána egy állandó frekvenciajelleg jelenik meg, amely arra enged következtetni, hogy a hanghatás befolyásolja a lemez mozgását.



24. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

Az ép lemez mozgásával ellentétben a sérült lemez gyorsulása rendezetlenül váltakozik a nulla érték mentén. Az ép lemez ábráról leolvasható maximális értékei pozitív irányban közelítik a $0,08 \text{ m/s}^2$ -es határt, negatív irányban viszont adott pillanatokban még túl is lépik azt. Ezzel szemben a sérült lemez legnagyobb kiugrásai is csak közelítik pozitív irányban a $0,04 \text{ m/s}^2$ -es értéket a vizsgált időtartományban.

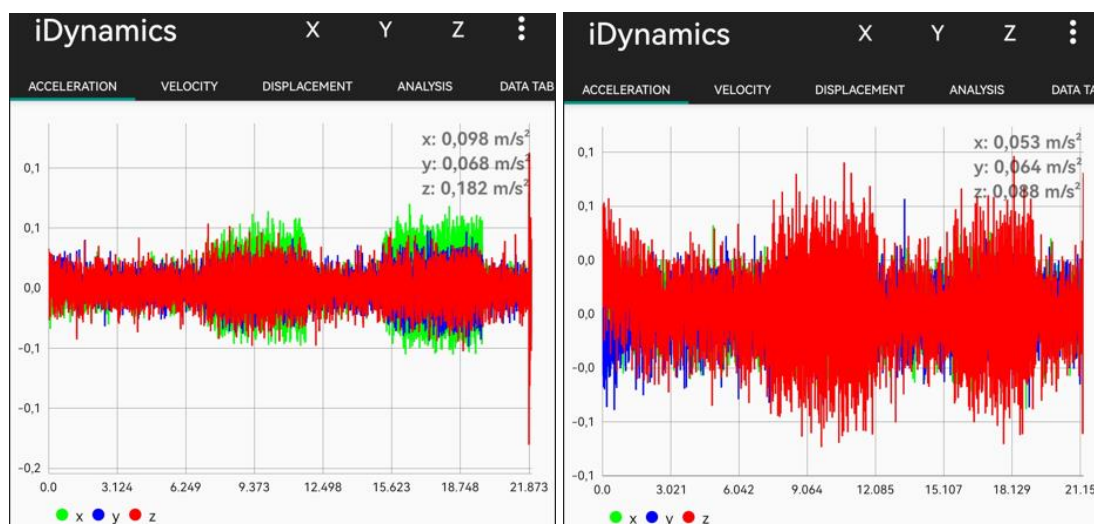
2. mérési beállítás:

Alkalmazás: iDynamics

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

Ezen a beállításon ismét 15 cm a kilógás, viszont már 150 Hz a gerjesztés frekvenciája. A 25. ábrán láthatjuk is, hogy ez a frekvenciaváltozás mennyivel változtatta meg a lemezek gerjesztésre adott választ. Mindhárom tengely értékeit egyszerre jeleníti meg az alkalmazás különböző színekkel. Első ránézésre megállapíthatjuk, hogy az ép lemez esetében a legnagyobb gyorsulást az X-tengely mentén érzékelt a szenzor, míg a sérült lemeznél a Z-tengely irányú elmozdulás a mérvadó. A mérés indításakor fellépő erő az ép lemezre nem fejtett ki hatást, viszont a sérült lemez kezdeti pillanataiból észrevehető, hogy az Y és Z tengelyek változást produkáltak a gyorsulásban ennek következtében.



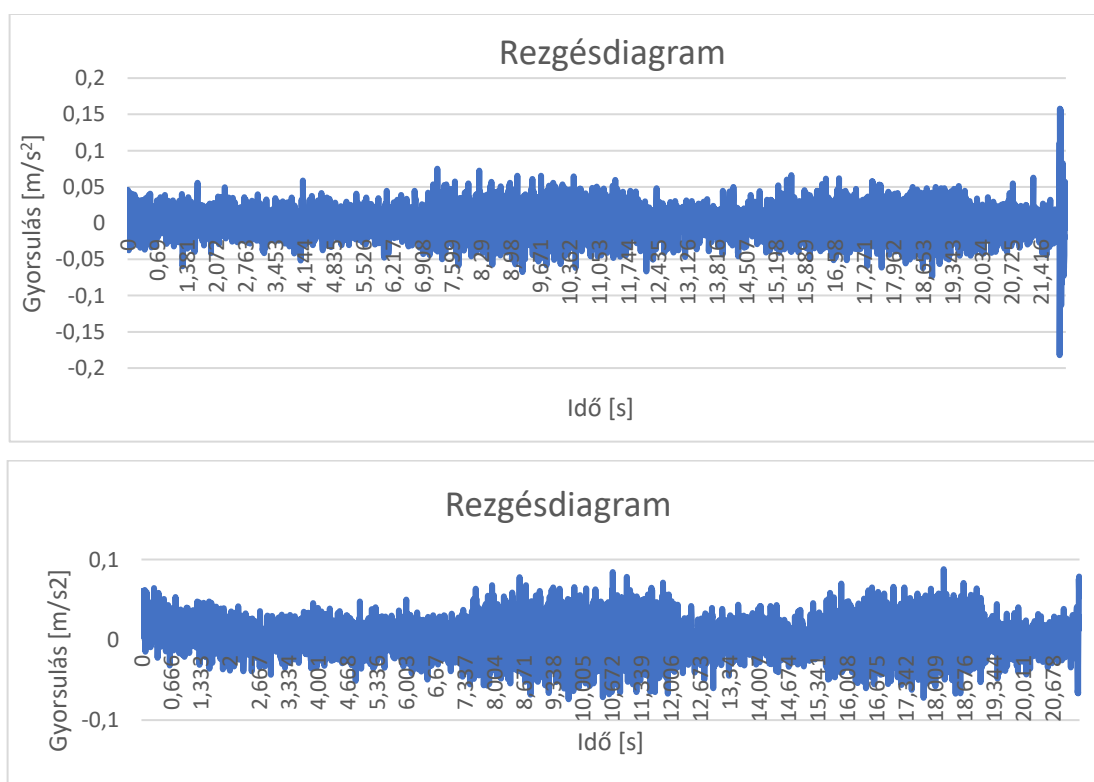
25. ábra: Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgése (iDynamics)

Mindkét diagram egy nyugalmi állapottal kezdődik, amikor nincs gerjesztés. Ezután látható az első gerjesztés indítása 6 másodperc után, majd a második 15 másodperc környékén. Teljesen kivehetők a különböző állapotok a mérés során, észlelhető, hogy mikor mi történik. A mérés végét jelző erőhatás mindkét lemeznél jelentkezik.

A mérésről az applikáció által gyűjtött adatok elemzése három tengely mentén:

Z-tengely:

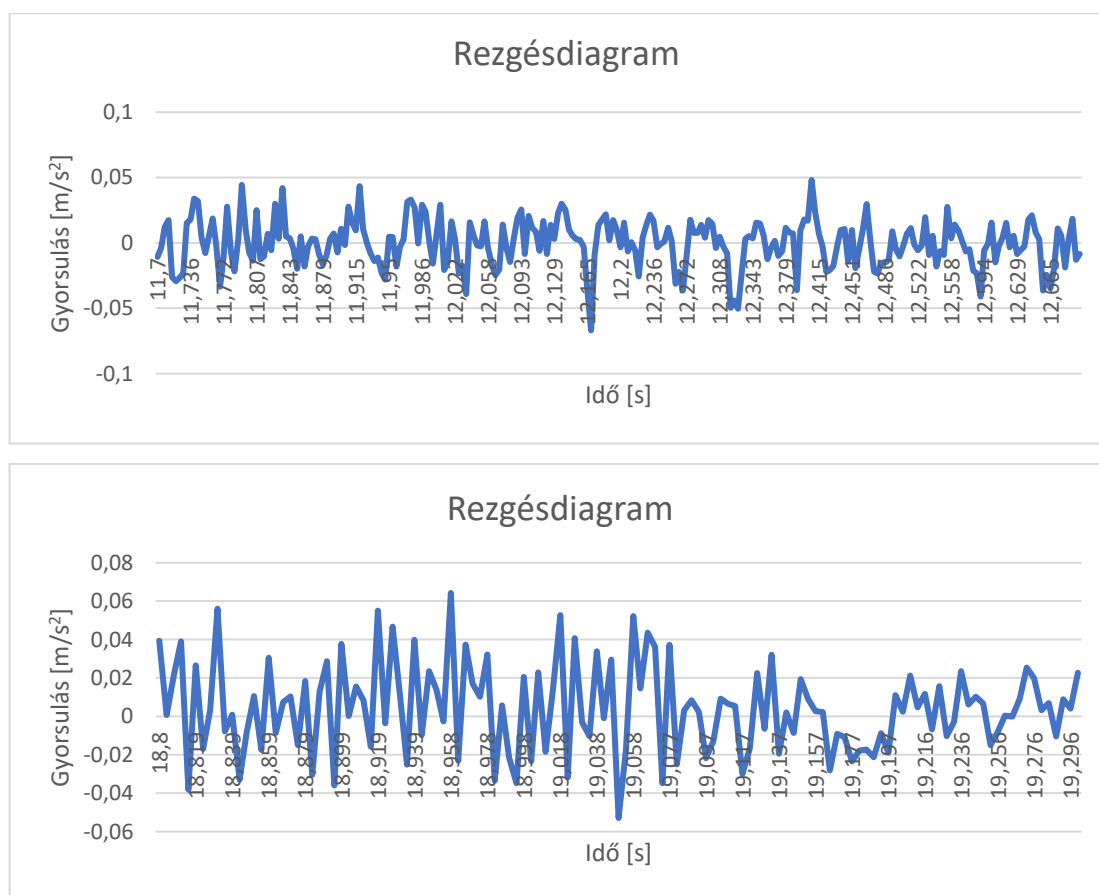
A Z-tengely menti teljes mérési tartomány megjelenítése a 26. ábrán látható. Ezekon a grafikonokon már részletesebb képet kapunk a gyorsulásértékekről. Egy adott tengely eredményei látszanak kizárólag, így a többi tengely információi nem zavaróak. A lemezek rezgésképe között fel lehet fedezni a különbségeket, illetve látszik a gerjesztések időtartama is. Ebből megállapítható, hogy mindkét elemre hatott a 150 Hz frekvenciájú gerjesztés, viszont a sérült lemez magasabb gyorsulásértékeket jelez. Szembetűnő a sérült lemeznél a nyugalmi szakaszok és gerjesztés alatti intervallumok váltakozása, viszont az eltérés közöttük nem drasztikus, az ép lemeznél pedig csak minimális változások történtek ezen a tengelyen.



26. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a Z-tengelyen

Hirtelen gyorsulásváltozás nem tapasztalható, inkább átmeneti értéknövekedés figyelhető meg a hangerő növekedésével és csökkenésével párhuzamosan. Mivel ez az ábra is egy átfogó képet mutat a teljes mérésről, és annak különböző szakaszairól, így rövid idő alatt bekövetkező változásértékek elemzésére nem szolgál.

Leszűkítettem tehát a mérési idő tartományát az ép lemez esetében egy 1 másodperces szakaszra, a sérült lemez diagramjából pedig fél másodperces szakaszt jelöltem ki (27. ábra).



27. ábra: Gerjesztés végének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

Mindkét lemeznél úgy választottam ki az ellenőrzött tartományt, hogy ne a gerjesztés eleje, hanem a vége jelenjen meg rajta. Ennek oka, hogy a részletes ábrázolásnál így egy kicsivel jobban észlelhető az amúgy sem jelentős változás. A 150 Hz-es frekvencia nem volt olyan hatással a lemezekre, hogy egységes periodikus rezgőmozgást hozzon létre, ez

látható a kezdeti szakaszoknál. Az ép lemeznél azért lett fél másodperc helyett egy másodperces tartomány vizsgálva, mert ugyan valamilyen szinten a teljes mérési képen észrevehető a minimális változás gerjesztéskor, ez a szűkített tartományban nem jelenik meg meghatározóan. Az ép lemez egyetlen kiugró értékkel rendelkezik, ez negatív irányban meghaladja a $0,06 \text{ m/s}^2$ -es gyorsulást. A gerjesztett és gerjesztés nélküli értékek között ennél az elemnél nagyon nehezen lehet különbséget tenni, mivel nincs drasztikus értéknövekedés, csak fokozatos átmenet. A diagram két szélét megvizsgálva viszont a szélsőértékek között lehet felfedezni kismértékű differenciát. Az első pillanatokban még negatív és pozitív irányban is $0,04 \text{ m/s}^2$ körüli szintet érint a görbe, a mérés végén viszont az ingadozás ennek már csak nagyjából a fele.

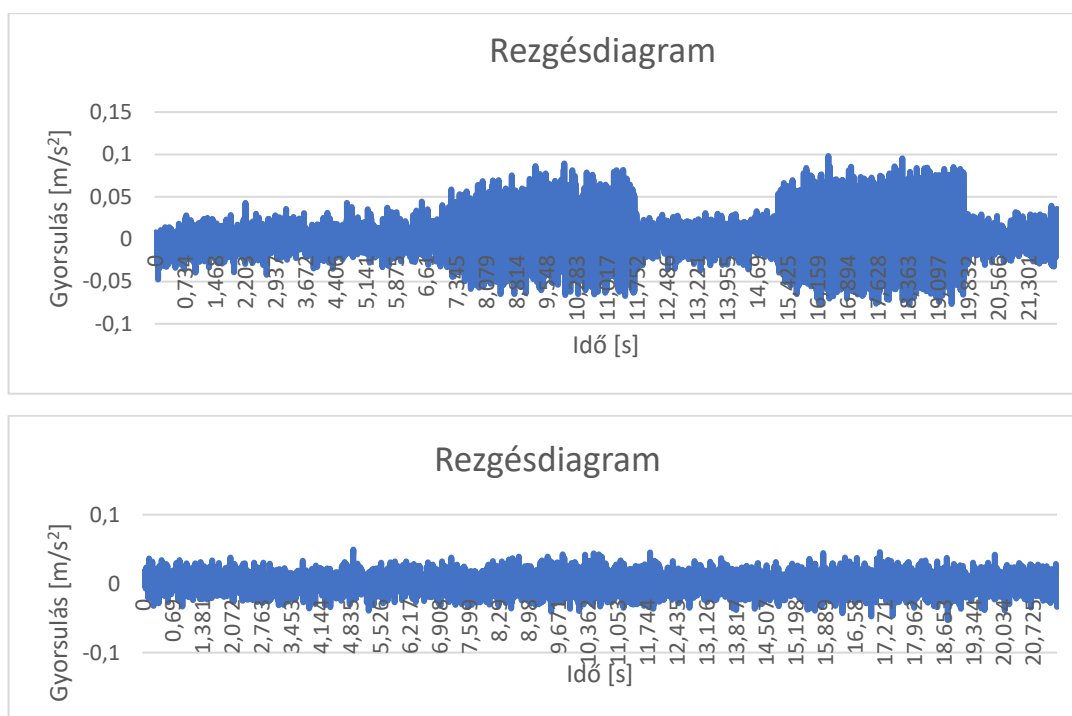
A sérült lemez grafikonján elkülöníthetőbb a gerjesztés alatti szakasz, illetve annak a megszűnése. A gerjesztésnek $19,085$ másodperckor van vége, itt az értékek lecsökkennek, majd folytatódik a nyugalmi stádium. Míg az ép lemeznél egyetlen kimagasló értékpontról eltekintve a szélsőértékek $0,04 \text{ m/s}^2$ között mozognak, addig a sérült lemeznél a $0,06 \text{ m/s}^2$ -et mindkét irányban többször közelíti, vagy átlépi.

X-tengely:

E tengely mentén látható ebben a mérési beállításban a legdrasztikusabb mozgás az ép lemez esetében, és a legszembetűnőbb különbség a sérült lemez válaszképétől. A rezgésdiagramok átláthatóak, a gerjesztés hatása pedig kiemelkedik az ép lemez grafikonján, ezt első szemrevételezésnél meg lehet állapítani (28. ábra). Megfigyelhető az ép lemeznél, hogy a hanghatás itt sem okoz robbanásszerű változást a gyorsulásértékeknél, hanem az amplitúdó növekedésével a mozgástartomány is növekszik. Ennek az az oka, hogy a hangszóró a frekvenciák lejátszásakor nem mindig teljes erővel szólalt meg indításnál, hanem néhány pillanat alatt fokozatosan emelkedett a hangerő a maximális értékig. Az emelkedő hangerő tendenciáját az első gerjesztési szakasz tökéletesen visszaadja. A második gerjesztésnél még magasabbra nyúlnak értékek, mint az elsőnél, látványosabban emelkedik ki a nyugalmi szintek közül.

A sérült lemeznél nem mondható el ugyanennek a drasztikus válaszreakciónak a jelenléte. A nyugalmi stádium képviseli végig a mérést a jellemző értékeivel, a gerjesztés időpontjait nem tudjuk érzékelni a diagramon.

Az ép lemeznél a gerjesztés hatására a gyorsulás meghaladja a $0,1 \text{ m/s}^2$ -es értéket is, viszont a sérült lemez szélsőértékei csupán a $0,05 \text{ m/s}^2$ körüli határon mozognak.

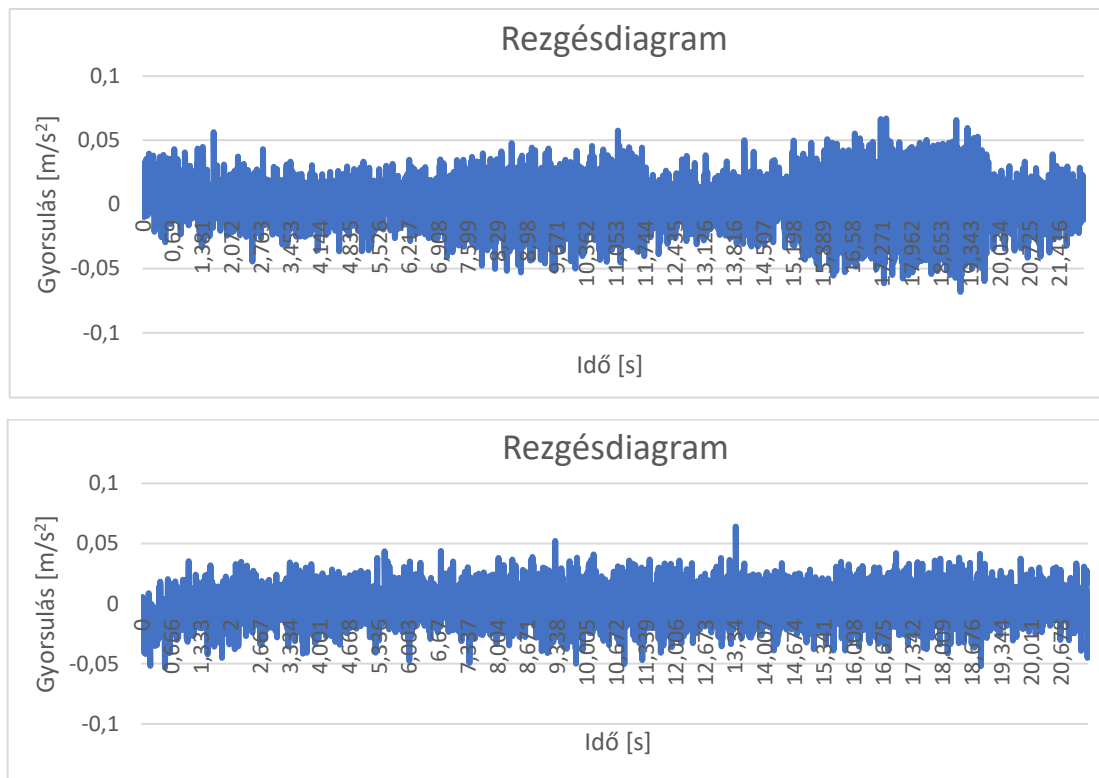


28. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az X-tengelyen

Y-tengely:

Az X-tengelynél tárgyalt látványos eredmények az Y-tengelyen nem jelennek meg (29. ábra). Az indítási és leállítási erők csak nagyon minimális szinten észlelhetők, illetve a gerjesztett állapotok is jelentősen beleolvadnak a nyugalmi stádium többnyire alacsony, viszont rendezetlen értékeibe. Mivel a gerjesztés nélküli szakasz is tartalmaz kiugró értékeket időnként, így ez megnehezíti a tartományok pontosabb elhatárolását, erre az ép lemez grafikonján az első hanggerjesztés a legjobb példa. Ez az időszak körülbelül a 6 és 12 másodperces sávon belül ismerhető fel. Míg az ép lemez esetében a nehéz olvashatóság ellenére megállapíthatók a gerjesztés időpontjai, addig a sérült lemeznél ebben az irányban sem tudunk reakciót felfedezni az ábrán. Néhány kiugró értéktől eltekintve a teljes mérés nyugalmi fázisban zajlott. Az ép lemeznél a második hanghatás már jóval érzékelhetőbb különbséget produkált a nyugalmi időszakhoz viszonyítva. Az eltérő gyorsulásértékek a második gerjesztési szakasznál mutatkoznak meg a leginkább

19 másodperccel a mérés indítása után, a hanghatás kikapcsolásával járó lassulás könnyen leolvasható az ép lemez diagramjáról.



29. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Y-tengelyen

2. mérési beállítás:

Alkalmazás: Physics Toolbox Sensor Suite

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

Amint az a 30. ábrán látható, a diagramtengelyek jellege nagyon hasonló az iDynamics alkalmazás által rögzített eredményekhez. Z-tengely mentén a sérült lemezen figyelhető meg nagyobb reakció, míg X-tengelyt vizsgálva az ép lemez értékei változtak drasztikusabban. Az indítási és leállítási erőhatások csak Z-tengely mentén jelentkeztek ebben az esetben is.

Mivel a Physics Toolbox a g-értékhez viszonyítja az adatokat, és a tengelyeket egymástól távol jeleníti meg ennek következtében, így nem tudunk pontos információt megállapítani az alkalmazás felületéről. További vizsgálatokat végeztem táblázatkezelővel, ahol az

adatokat látványosabban lehet grafikonon megjeleníteni. Mindhárom tengely mentén külön-külön végeztem el az elemzéseket.



30. ábra: Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgésképe (Physics Toolbox)

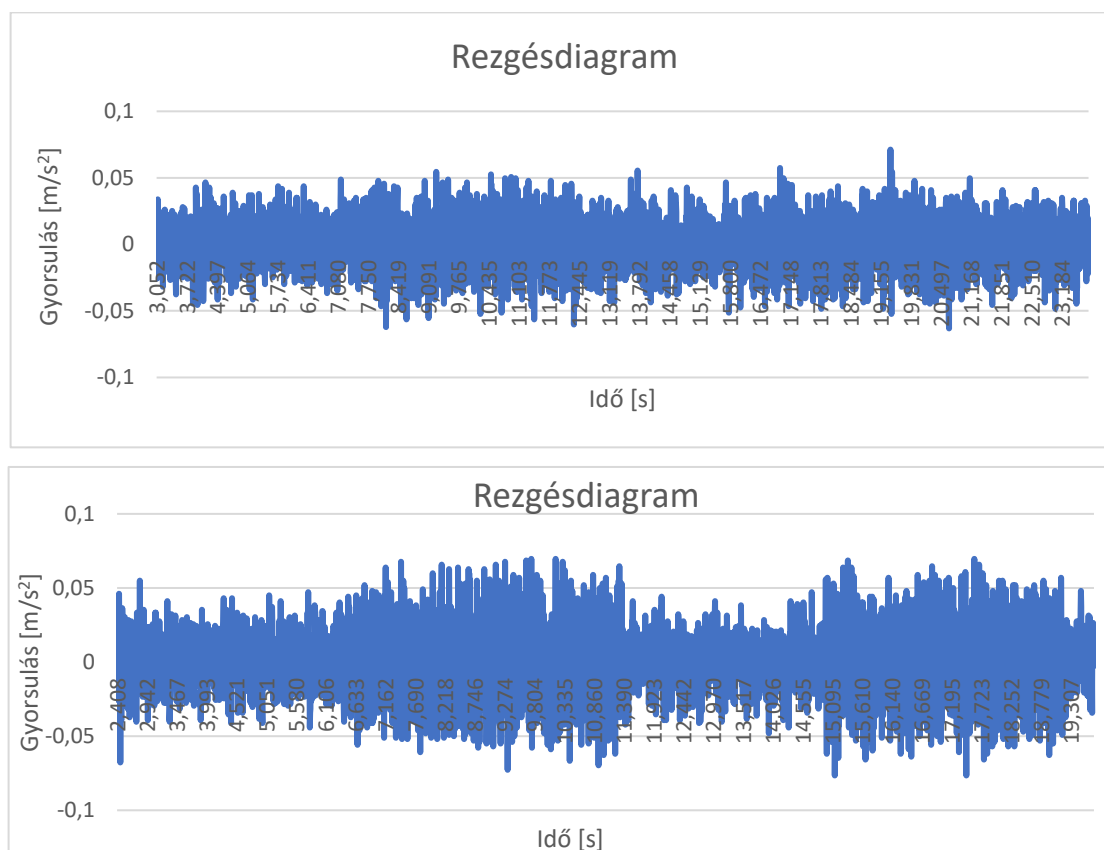
Z-tengely:

A 31. ábrán már g-erő értékek helyett gyorsulásiértékek szerepelnek, illetve elesúztattam az y-tengely mentén a grafikont úgy, hogy a nulla gyorsulás legyen a viszonyítási vonal a szemléletesebb ábrázolás érdekében.

Mindkét lemez mérésére nagy hatást gyakoroltak az indítási/leállítási erők, melyek nagy gyorsulással járó elmozdulást okoztak. Ennek következtében a diagram is jóval szélesebb tartományt jelentett volna meg, és a lényegi gerjesztett szakasz értékei nem lettek volna részletesek. Ennek következtében a 30. ábrán ezen szakaszok nem kerültek megjelenítésre. A kezdeti magas kilengés gyors csillapodása után a nyugalmi szakasz alacsony értékek mellett folytatódott. Megállapítható, hogy a sérült lemez nagyobb kitérései határozottan megkülönböztethetőek. Két gerjesztési szakasz ismerhető fel a

sérült lemeznél, az egyik körülbelül 6,5 – 11,5 másodperc közötti időszak, a másik 14,7 – 19,3 másodpercig tart.

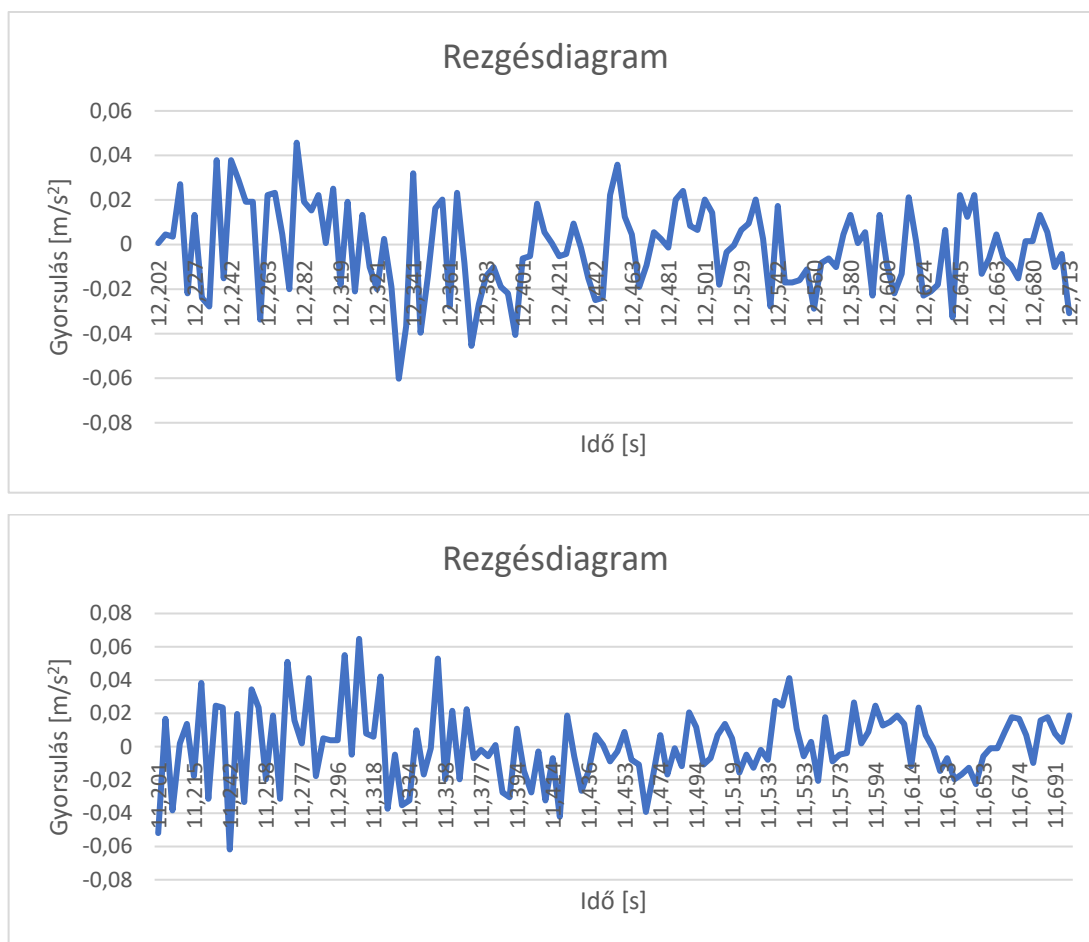
Mivel nagyon alacsonyak a gerjesztés hatására a változások, így a pontos adatok meghatározásának érdekében célszerű egy részletes ábrán megvizsgálni az értékeket.



31. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja a Z-tengelyen

A szűk tartományt tartalmazó diagramok a 32. ábrán láthatók. Mindkét esetben olyan fél másodperces szakaszok kerültek kijelölésre, amikor a gerjesztés folyamatban volt. Egyik diagramon sem lehet látványos, drasztikus jeleit látni a hanghatásnak, viszont ha alaposabban szemügyre vesszük az értékeket és az ingadozást, akkor megállapítható, hogy mikor történtek változások. Az ép lemez esetében két szélsőérték különül el jobban a többitől, egyik $+0,04 \text{ m/s}^2$, a másik pedig $-0,06 \text{ m/s}^2$. Ezen értékeket követően a görbe alacsonyabb határok között mozog, a vizsgált időtartam végén pedig már a $0,02 \text{ m/s}^2$ -es gyorsulást sem éri el. Ezzel szemben a sérült lemeznél jobban megjelenik a gerjesztett időszak a grafikon elején magasabb gyorsulásértékekkel (mindkét irányban $-0,06 \text{ m/s}^2$ -et

meghaladó gyorsulás). A mérési tartomány végére a határok is beszűkülnek, melyek között ingadozik a lemez.



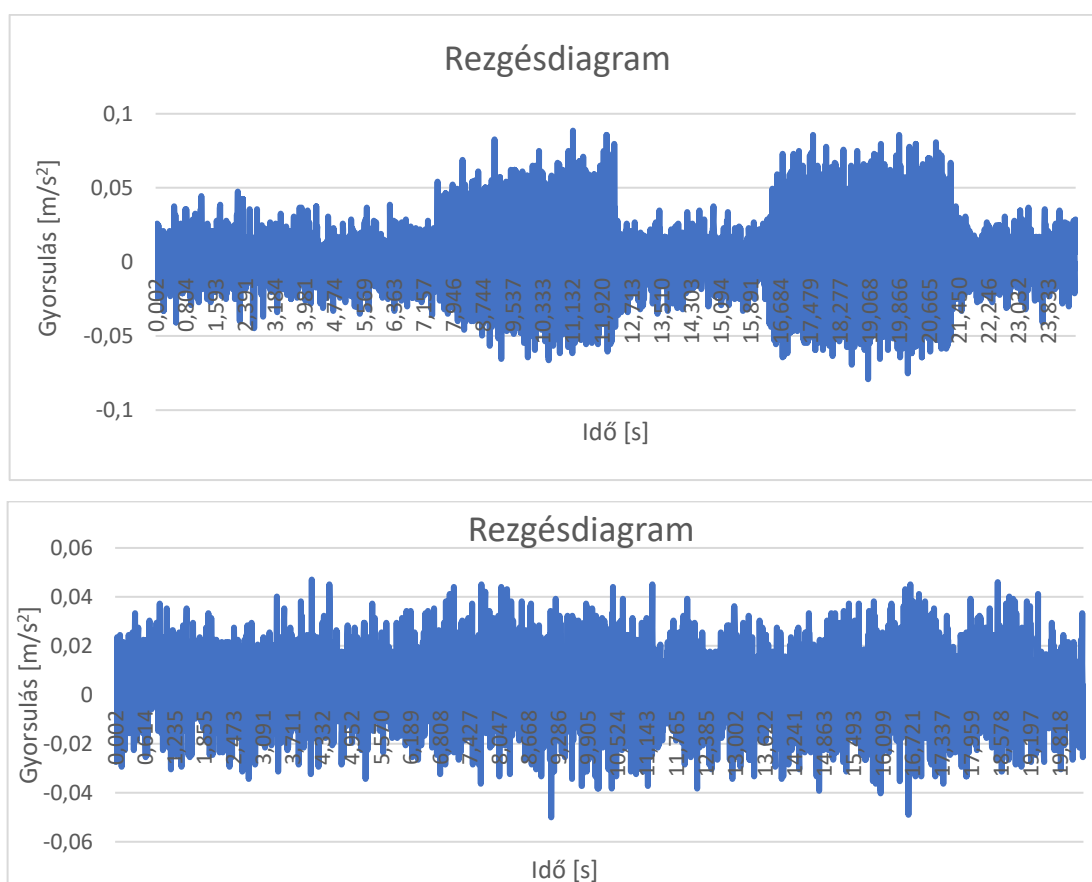
32. ábra: Gerjesztés kezdetének részletes grafikonja ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) esetében

X-tengely:

A 33. ábrán látható mérési eredmények nagyon hasonlóak az iDynamics ugyanezen a tengelyen mért értékeihez, és a lemezek rezgéképéhez. Ebben a mérési beállításban az X-tengely mentén látható a legnagyobb mozgásváltozás az ép lemeznél, illetve a két lemez közötti legjelentősebb különbség. Az első gerjesztés hanghatása a fokozatosan emelkedő hangerőnek köszönhetően nem okozott drasztikus gyorsulásnövekedést, ez az ép lemez grafikonjáról olvasható. A második gerjesztés nagyobb hatással volt a lemez mozgására, látványosabb az értékek hirtelen emelkedése a kezdeti szakasznál, illetve a magas gyorsulásértékek a teljes stádiumot végigkísérik. Szemben az ép lemez

eredményeivel a sérült lemezre ismét nem produkált hatást a gerjesztés, stagnálnak a nyugalmi állapotok a mérés teljes intervallumában.

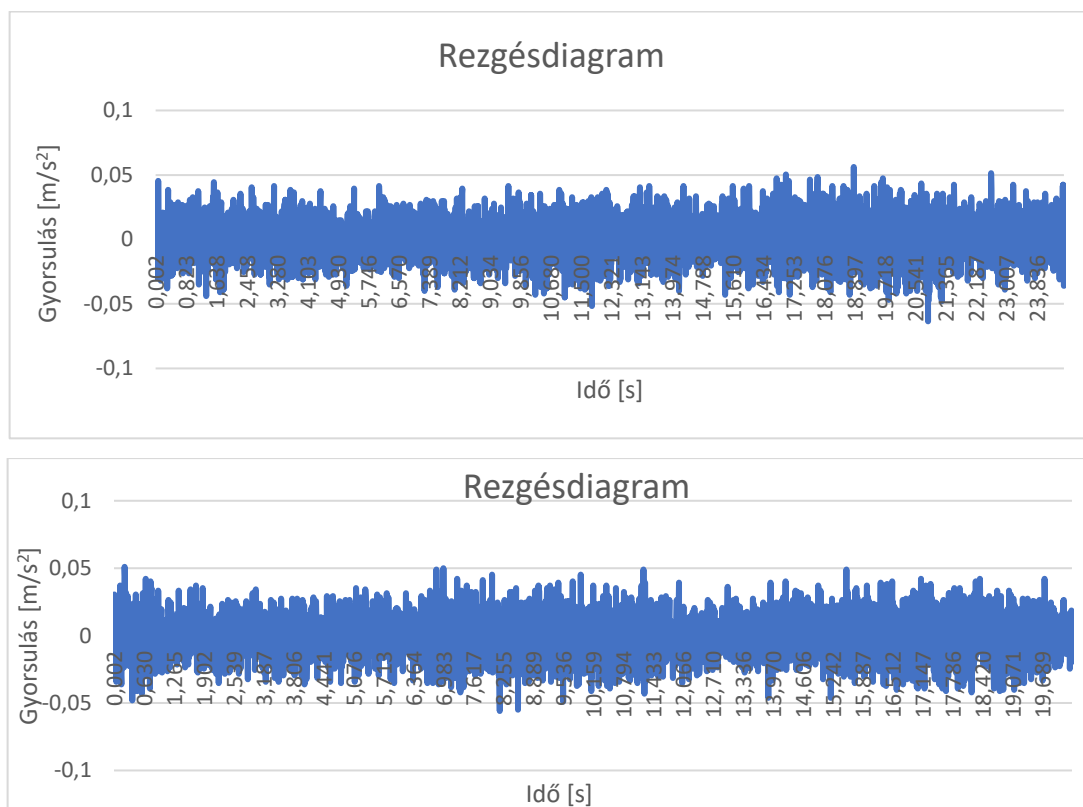
Az adatok alapján majdnem kétszeres a legnagyobb gyorsulásértékek között a különbség a két lemeznél. Ez az érték az ép lemeznél meghaladja a $0,08 \text{ m/s}^2$ -et, míg a sérült lemeznél csupán $0,05 \text{ m/s}^2$ ez az adat.



33. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az X-tengelyen

Y-tengely:

Ilyen irányban semmilyen hatását nem tudjuk megállapítani a gerjesztésnek egyik lemez esetében sem. A szélsőértékek, amelyeken belül a görbe mozog megegyeznek mindkét mérésnél, illetve mérés kezdési és lezárási erőhatások sem figyelhetők meg. Az egész mérés nyugalmi fázisban zajlik ezen a tengelyen. A legmagasabb értékek is mindkét esetben éppen csak meghaladják a $0,05 \text{ m/s}^2$ -es gyorsulást (34. ábra).



34. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Y-tengelyen

3. mérési beállítás:

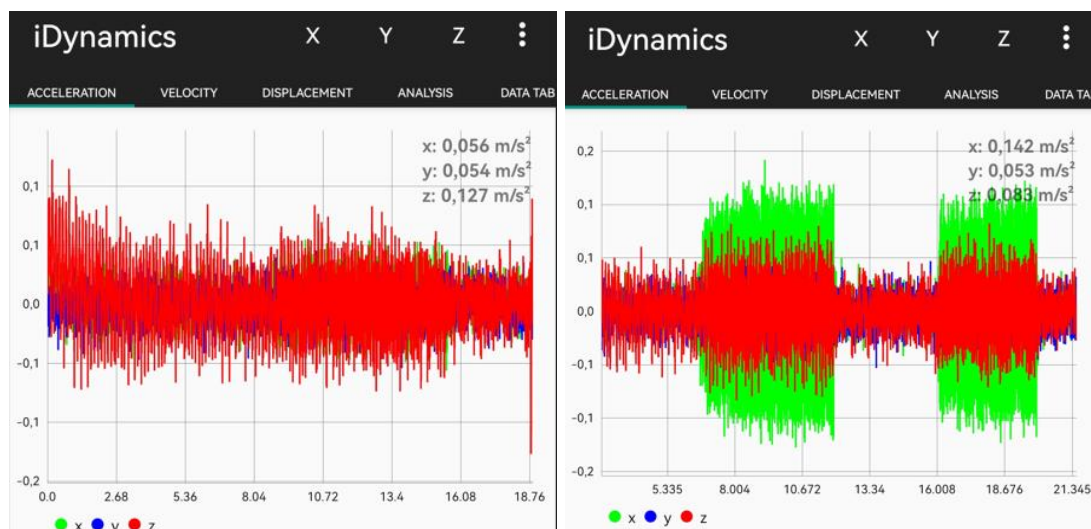
Alkalmazás: iDynamics

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 25 cm

Ennél a beállításnál különböző szélsőséges értékeket vehetünk észre, első sorban a sérült lemez reakciójánál. Az ép lemeznél a kezdeti zaj magas gyorsulásértékeket eredményezett. Viszonylag kis gyorsulásokkal reagált a gerjesztésre ezt követően, és mint a 35. ábrán felismerhető leginkább Z-tengely mentén. Ezzel szemben a sérült lemez kitörő értékeket produkált drasztikus gyorsulásnövekedéssel az X-tengely irányában.

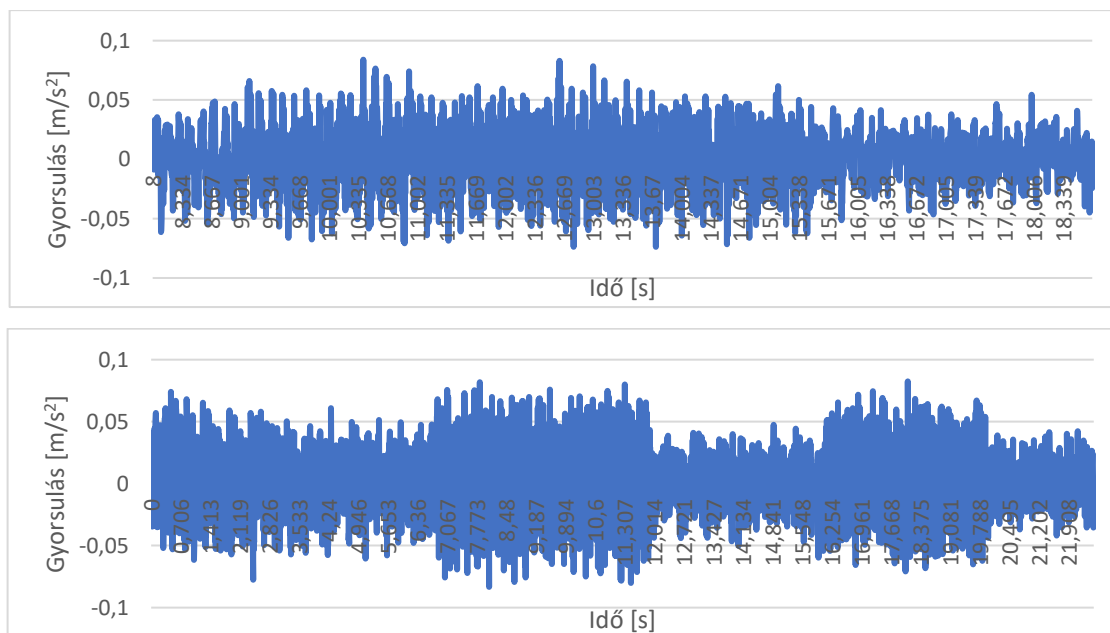
Megvizsgáltam a lemezek viselkedését külön-külön tengelyekre bontva is, hogy tisztább képet kapjunk az egyedi jellegzetességekről.



35. ábra: *Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgése (iDynamics)*

Z-tengely:

Ebben az irányban mindkét lemezre hatott a gerjesztés. Az ép lemeznel a kezdeti erőhatás (amely nincs teljes mértékben megjelenítve) lassú csillapodása miatt ez a fázis egybeolvad a gerjesztéssel. A hanghatás végét észlelhetjük viszont, az azt követő értékek alacsonyabb határok között mozognak. A sérült lemeznel ezzel szemben jobban elhatárolható változások léptek fel. Mindkét lemez maximális értékei meghaladják a $0,08 \text{ m/s}^2$ -es gyorsulást (36. ábra).

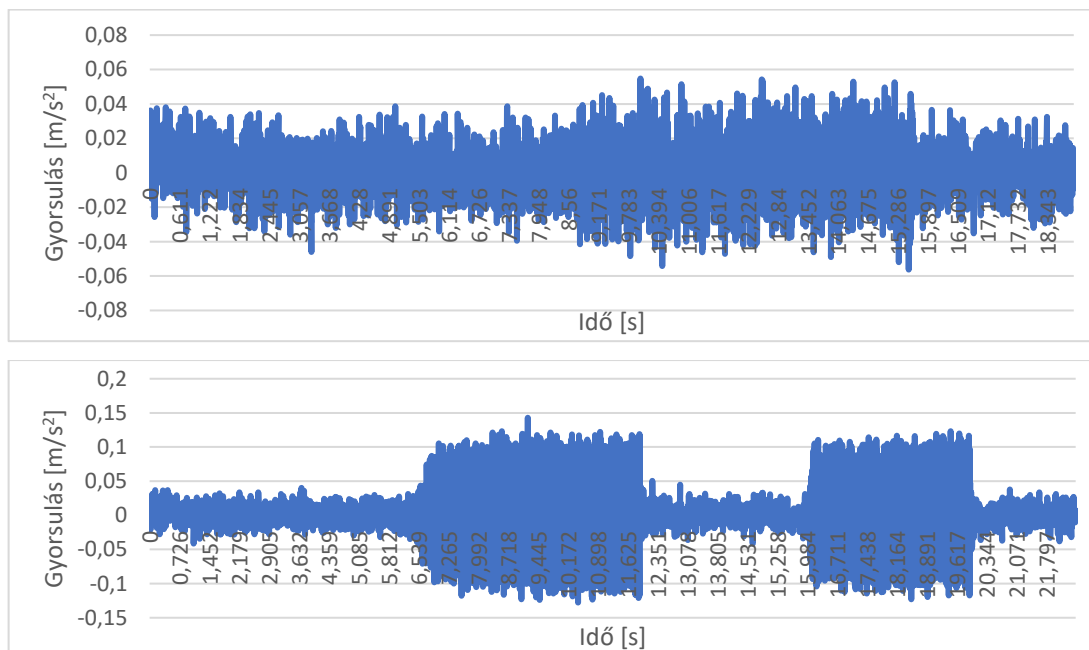


36. ábra: *Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Z-tengelyen*

X-tengely:

Ebben a beállításban (37. ábra) a legnagyobb változást és lemezek közötti különbséget ezen a tengelyen láthatjuk. Korábbiakkal ellentétben a sérült lemez produkálta ezt a számottevő gyorsulást, és a gerjesztés teljes ideje alatt magas értékek között oszcillált a mozgása. Az első gerjesztés kezdeténél megfigyelhető a lépcsős gyorsulásemelkedés, amely a korábbiakban említett hangerő növekedés következménye, a második alkalommal viszont már egy hirtelen értékelelkedést lehet felismerni a grafikonon. Mindkét esetben megfigyelhető, hogy a lemez magas vibrációja a hang kikapcsolása után azonnal abbamarad. Ugyan az ép lemeznél is észrevehető némi reakció, és látszik, hogy a gerjesztés alatti tartomány (kb. 8.5 – 15,5 másodperc között) és nyugalmi stádium közötti értékeknél másfélszeres a differencia, a sérült lemez eredményei mellett ez mégis eltörpül. Legmagasabb gyorsulásérték az ép lemez esetében $0,056 \text{ m/s}^2$ negatív irányban, a sérült lemez esetében ez $0,143 \text{ m/s}^2$ pozitív irányban.

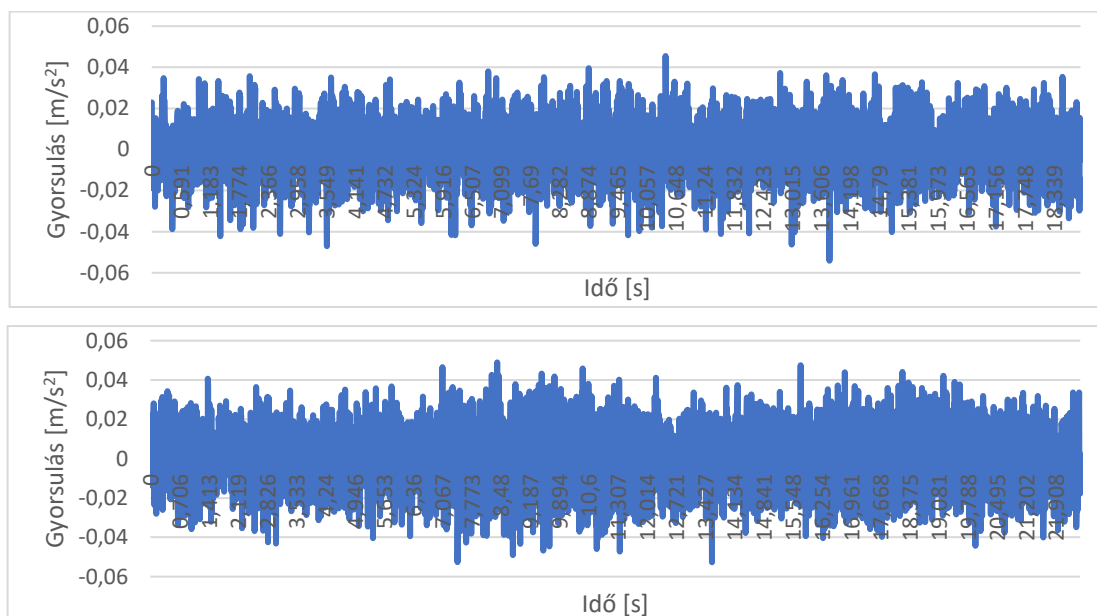
Láthatjuk tehát, hogy közel 40%-os a gyorsuláskülönbség a sérült lemez javára.



37. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az X-tengelyen

Y-tengely:

Ilyen irányban nem volt reakció észlelhető. Mindkét lemez ugyanazon értékeket produkálta a már megszokott nyugalmi fázisban. Néhány kiugró értéktől eltekintve, amelyek a $0,06 \text{ m/s}^2$ -es gyorsulást közelítették, nem volt számottevő hatás (38. ábra).



38. ábra: *Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Y-tengelyen*

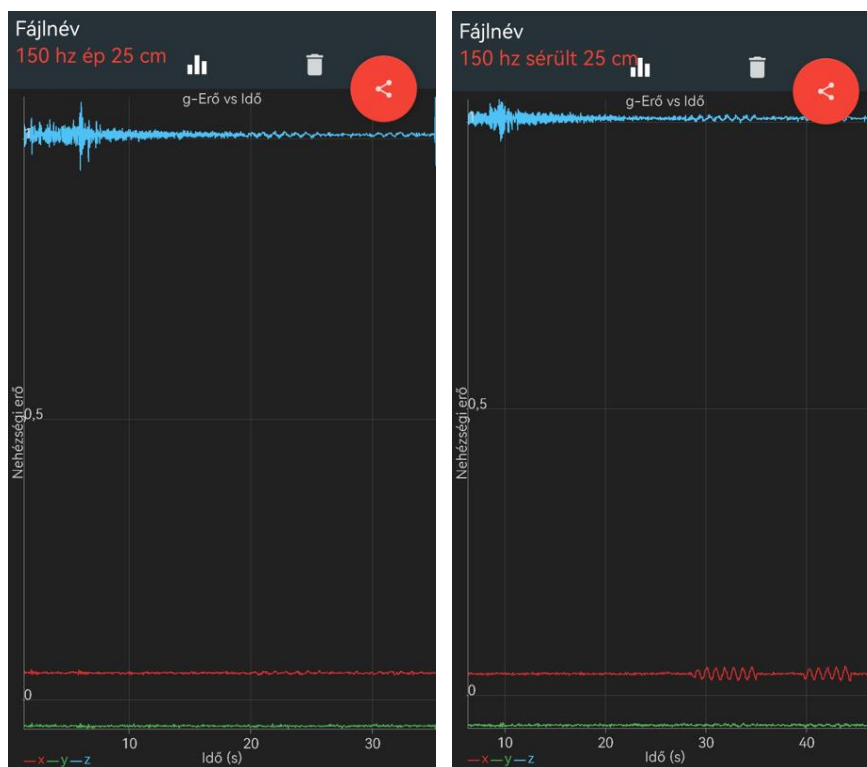
3. mérési beállítás:

Alkalmazás: Physics Toolbox Sensor Suite

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 25 cm

A harmadik beállítás a 25 cm-es kilógással a Physics Toolbox alkalmazásnál is hasonló eredményeket hozott, mint az iDynamics esetében. Már az alkalmazás kevésbé részletes ábrájából is megállapítható, hogy Y-tengely mentén a reakciók szintén nem jelentősek (39. ábra). Z-tengely mentén a magas indítási zajok következtében a csillapodási idő viszonylag hosszú, a gerjesztésre ezután minimális reakció észlelhető. Az X-tengely irányában azonban a sérült lemez szintén kiugróan reagált a hanghatásra, a vibráció számottevően felerősödött.



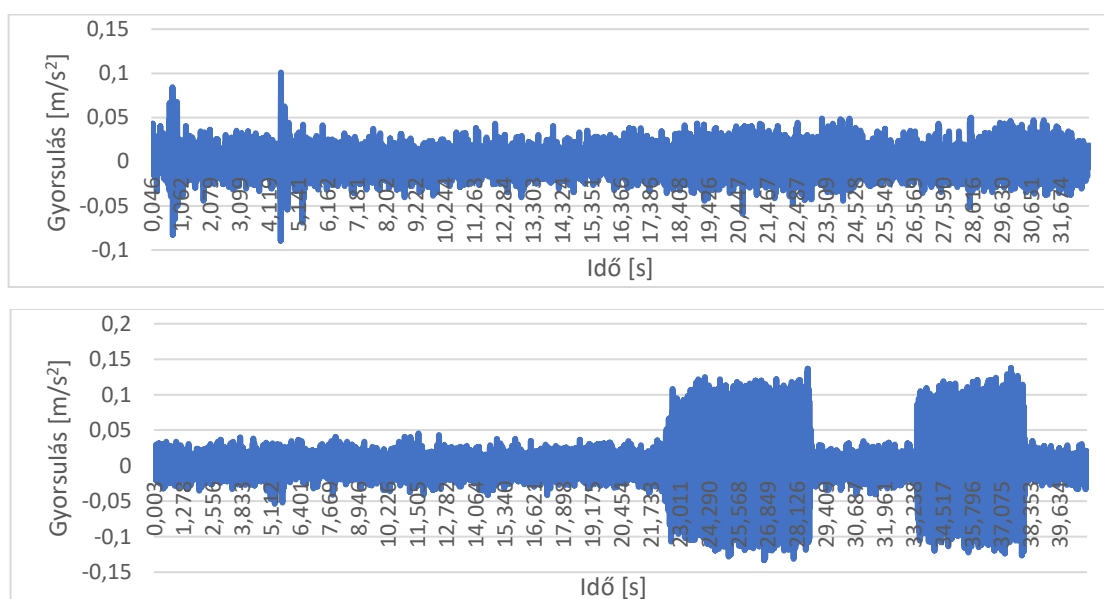
39. ábra: Ép lemez (bal) és sérült lemez (jobb) rezgése (Physics Toolbox)

X-tengely:

X-tengely irányában mértem a legmagasabb elmozdulást mindhárom tengely közül. Itt figyelhető meg a két munkadarab közötti legnagyobb eltérés is. A kezdeti mérés indítási erőhatás az ép lemez mentén jelentkezett kizárólag, bár nem idézett elő szabályos periodikus mozgást, csak néhány kiugró értéket. Ezekről eltekintve az ép lemeznél a gerjesztést minimális szinten lehet felfedezni. 28,5 másodperccel a mérés indítása után látható egy magasabb gyorsulásérték ennek jeleként, ezt pedig egy rövid visszaesés után újra magasabb gyorsulások követik.

A hanghatás sérült lemezre gyakorolt hatása ezzel szemben megkérdőjelezhetetlen. Az első gerjesztési szakasznál a növekvő amplitúdó egyre nagyobb gyorsulást eredményezett, ez vehető észre a diagram fokozatos görbéjén 21,7 másodperctől. A gerjesztés végénél egy újabb magas érték zárja a szakaszt, ezt pedig drasztikus lassulás követi a hanghatás hiányában. A második gerjesztésnél ugyanez a tendencia figyelhető meg: hirtelen értékváltozások, magasan kiugró gyorsulások, drasztikus lassulás.

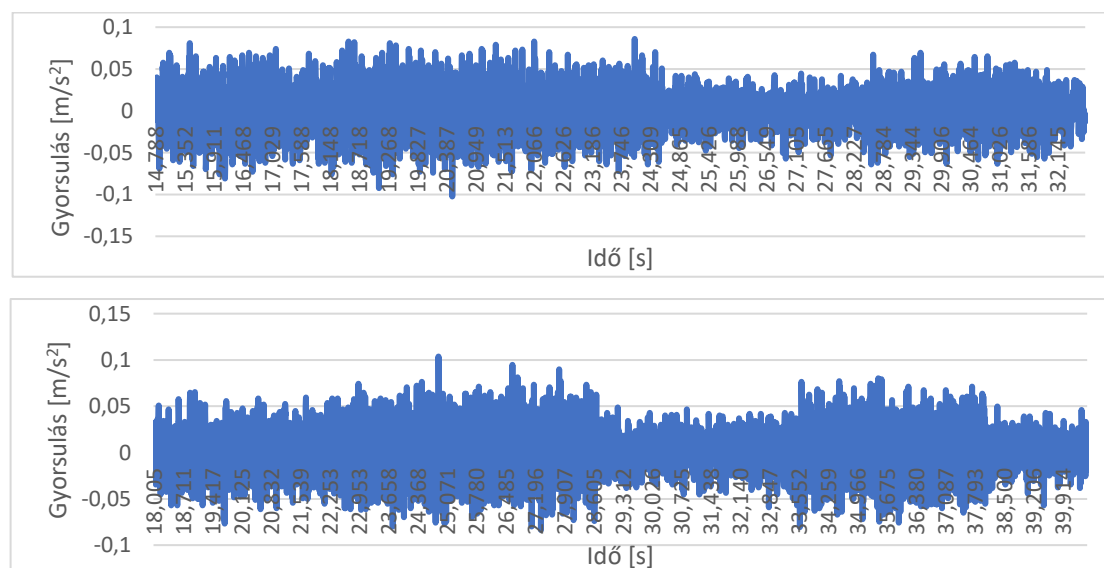
Legmagasabb értékeket összehasonlítva az ép lemez maximális gyorsulása $0,05 \text{ m/s}^2$, míg a sérült lemeznél ez $0,14 \text{ m/s}^2$.



40. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az X-tengelyen

Z-tengely:

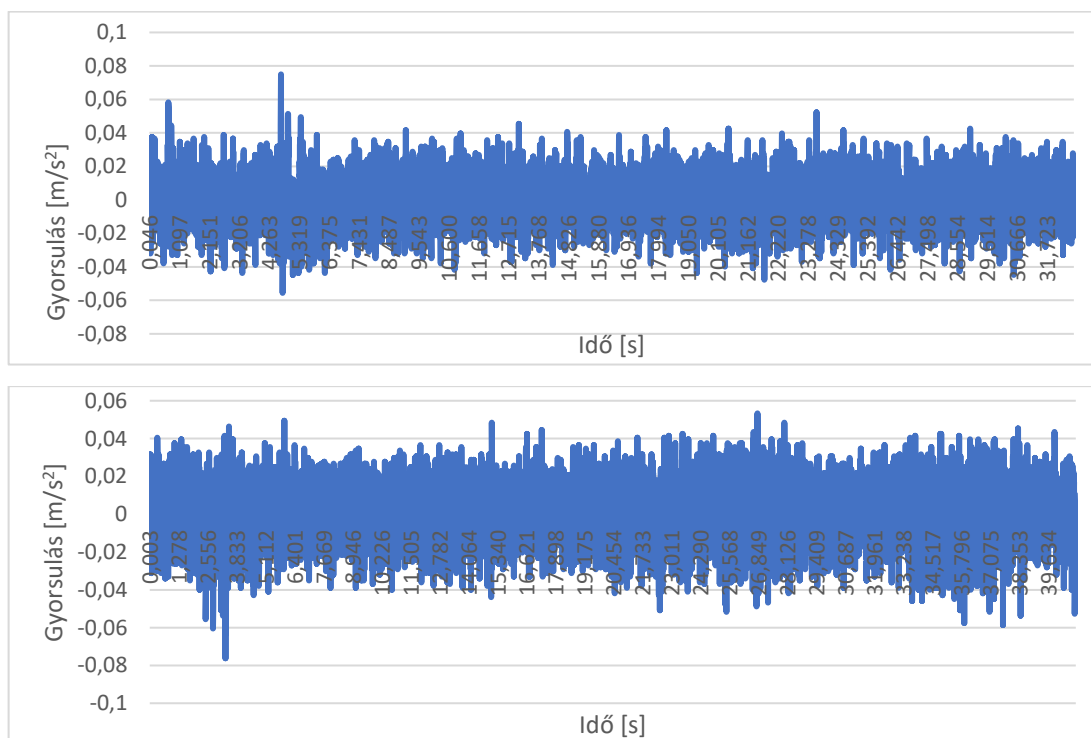
Ebben az irányban hasonló értékek születtek mindkét lemez gerjesztése során (41. ábra). Mindkét diagramon felismerhetőek a hanghatások, bár ugrásszerű gyorsulásnövekedés nem tapasztalható általuk. A grafikonok elején a kezdeti erőhatások jelentősen befolyásolták a munkadarabokat, így a tengelyek megfelelő láthatósága miatt ezeket nem jelenítettem meg az ábrákon. Legnagyobb gyorsulások meghaladják a $0,1 \text{ m/s}^2$ -es értéket a gerjesztési fázisban, a nyugalmi időszakban viszont ennek csak a felét közelítik.



41. ábra: Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Z-tengelyen

Y-tengely:

Y-tengelyen e mérés során sem fedezhetünk fel különösebb reakciót a gerjesztésre. A mérés kezdeti erőhatások következménye a néhány kiugró érték, melyek mindkét lemeznél közelítik a $0,08 \text{ m/s}^2$ -es határt, azonban ettől eltekintve az összkép nagyjából változatlan (42. ábra).



42. ábra: *Ép lemez (felső) és sérült lemez (alsó) rezgésdiagramja az Y-tengelyen*

3.4. Eredmények összegzése

1. mérés:

Frekvencia: 50 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

Az első mérési beállítás eredményeit az iDynamics alkalmazáshoz az 1. táblázat tartalmazza. Mindkét lemez legnagyobb gyorsulásértékeit vezettem össze gerjesztés alatt lévő időintervallumban negatív és pozitív irányban is egyaránt, mindhárom tengelyen külön-külön. Megvizsgáltam a három tengely mentén megállapított eredményeket a Physics Toolbox alkalmazással is (2. táblázat).

1. táblázat: 1. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (iDynamics)

	Ép lemez [m/s ²]			Sérült lemez [m/s ²]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,048	0,051	0,115	0,053	0,039	0,053
Minimum	-0,061	-0,047	-0,087	-0,045	-0,046	-0,059

2. táblázat: 1. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (Physics Toolbox)

	Ép lemez [m/s ²]			Sérült lemez [m/s ²]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,071	0,112	0,210	0,053	0,059	0,053
Minimum	-0,076	-0,113	-0,260	-0,042	-0,044	-0,054

Az eredményekből kiderül, hogy az iDynamics alkalmazás legnagyobb elmozdulása az ép lemezzel történt Z-tengely mentén, és ugyanez mondható el a Physics Toolbox adatairól is. E tengely menti drasztikus elmozdulások oka lehet, hogy ha vízszintesen kitoljuk a lemezt, és az egyik végét szabadon hagyjuk, mint egy szabad végű tartószerkezet, akkor nincs semmi, ami megakadályozná a lehajlást, és a gravitáció is ilyen irányba kényszeríti azt. Másik indok lehet, hogy a hangszóró a lemez alsó része felől sugároz felfelé, tehát a hanghullámok is Z-irányban terhelik a munkadarabokat. Az értékek különbsége viszont elgondolkodtató. Az ép lemez esetében a Physics Toolbox mindhárom tengelyen jóval nagyobb értékeket rögzített, az Y és Z tengelyeknél pedig több, mint kétszeres a gyorsuláskülönbség az iDynamics eredményeihez viszonyítva. Ahhoz viszont, hogy az azonos környezetben mért különbségek okait egyértelműen meg lehessen magyarázni újabb mérési paraméterekkel lenne érdemes kísérletezni, újabb mérési beállításokat kellene tesztelni, ami viszont jelen dolgozat terjedelmét meghaladja. Az ép lemezzel ellentétben a sérült lemez szélsőértékei szinte minden tengely mentén vagy megegyeznek, vagy minimálisan térnek el összehasonlítva a két applikációt, amely a mérés helyességére utal.

2. mérés:

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 15 cm

A második beállítással kapott meghatározó értékeket szintén táblázatos formában vezettem össze. A 3. táblázat az iDynamics alkalmazás eredményeit ismerteti, a 4. táblázat a Physics Toolbox adatait tartalmazza.

3. táblázat: 2. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (iDynamics)

	Ép lemez [m/s^2]			Sérült lemez [m/s^2]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,098	0,067	0,075	0,049	0,064	0,088
Minimum	-0,077	-0,068	-0,073	-0,053	-0,052	-0,074

4. táblázat: 2. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (Physics Toolbox)

	Ép lemez [m/s^2]			Sérült lemez [m/s^2]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,089	0,056	0,071	0,047	0,050	0,070
Minimum	-0,079	-0,063	-0,063	-0,050	-0,056	-0,077

Ebben a beállításban a maximális kitérések nagyon hasonló értékeket produkáltak mindkét alkalmazás esetében. A legmeghatározóbb eredmény X-tengely irányában történt a várt Z-tengely menti elmozdulások helyett. Mindkét alkalmazás grafikonjaiból ugyanazokat a reakció jellegeket lehetett megállapítani, a maximális értékektől kezdve az ábrák jelleggörbéjéig. Ebben az irányban is az ép lemeznek volt a nagyobb kitérése, és ennek is megvannak a lehetséges okai. Mivel az ép lemez felülete nagyobb a sérült lemezénél (a bevágások által csökkentett a felület), így a gerjesztett nyomáshullám jobban ki tudta fejteni rajta a hatását 50 Hz-es frekvencián, a sérült lemez pedig elnyelte ezeket. Az X-tengely menti elmozdulás pedig valószínűleg arra vezethető vissza, hogy az asztal szélével nem párhuzamosan került sor a lemezek leszorítására, hanem közel 45°-os szögben. Ennek az aszimmetrikus megfogásnak a következtében a lemezeket érhetne olyan terhelés, ami kimozdította őket a megszokott síkból.

3. mérés:

Frekvencia: 150 Hz

Lemez kilógás: 25 cm

Az 5. és 6. táblázatban láthatóak a 3. mérési beállítás eredményei.

5. táblázat: 3. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (iDynamics)

	Ép lemez [m/s^2]			Sérült lemez [m/s^2]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,055	0,045	0,084	0,143	0,049	0,082
Minimum	-0,056	-0,054	-0,074	-0,128	-0,053	-0,083

6. táblázat: 3. mérési beállítás legmeghatározóbb értékei (Physics Toolbox)

	Ép lemez [m/s^2]			Sérült lemez [m/s^2]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Maximum	0,050	0,052	0,086	0,138	0,053	0,104
Minimum	-0,059	-0,048	-0,102	-0,133	-0,059	-0,084

A 3. beállításban ismét X-tengely mentén tapasztaltam hatalmas változásokat, mint a 2. beállításban. Mindkét mérési frekvencia 150 Hz volt, viszont a korábban kapott adatokkal ellentétben itt a sérült lemezre gyakorolt jóval nagyobb hatást a gerjesztés. Ez az eredmény pont az ellenkezője annak, amit eredetileg várni lehetett volna a méréstől, illetve amit az első két mérés során tapasztaltam. Ez a jelenség lehet a következménye annak, hogy a választott frekvencia valamilyen módon közelít ennek a lemeznek a sajátfrekvenciájához. Feltételezhető, hogy mivel be van vágva több helyen is a munkadarab, így a lemez sajátfrekvenciája el lett hangolva, és a sérülés következtében valamilyen szinten rezonált a gerjesztéssel. Ezek a módosítások a tömeg és felület csökkenésével is jártak és a megváltozott paraméterek együttesen ilyen hatást eredményeztek. Annak érdekében viszont, hogy ki tudjuk deríteni, és adatokkal alá tudjuk támasztani az elmélet helyességét, további kísérletek lennének szükségesek. A méréseknél minden egyes esetben a lemezek ép része volt befogva a szorítóba, viszont célszerű lenne olyan vizsgálatokat is végrehajtani, amikor a kritikus keresztmetszet kerül befogásra. Ebben az esetben ugyanakkora erőkarral is jóval instabilabb lehet a szerkezet, és lehetséges, hogy közelebb jutnánk a probléma megoldásához.

5. Összefoglalás

Az okostelefonok mérés technikai használata a mai napig kiaknázatlan terület annak ellenére, hogy számos alkalmazás áll a rendelkezésünkre a készülékben található szenzorok tesztelésére. Ennek következtében az volt a célom a dolgozattal, hogy bizonyítani tudjam az okostelefon mérőeszközként való sikeres alkalmazhatóságát, és hogy a két mérendő munkadarab közötti különbséget a rezgésdiagnosztika felhasználásával kísérletekkel tudjam alátámasztani.

Kezdeti feltételezésként arra számítottam, hogy minden paraméter vizsgálatakor az ép lemez elmozdulása lesz a szignifikánsabb, mivel a sérült lemezhez képest nagyobb felülettel rendelkezik, így a nyomáshullámok nagyobb hatást tudnak rá kifejteni. Ez a feltételezés az első két mérési beállításnál bizonyosságot is nyert, és a várt eredményeket kaptam. Mindkét alkalmazás hasonló rezgéseképeket generált a szenzor által érzékelt adatokból, ami megerősítette az elmélet helyességét. Az X-tengely irányában megfigyelt szokatlan reakció valószínűleg az aszimmetrikus befogás következménye, viszont célszerű lenne további kísérleteket végezni ezen okok felderítésére.

Az első két méréssel ellentétben a harmadik beállítás szokatlan eredményekkel szolgált. Az ép lemez elmozdulása helyett a sérült munkadarab produkált magas gyorsulásokat X-tengely mentén. Ennek a váratlan mérési eredménynek az lehet a magyarázata, hogy a 150 Hz-es frekvencia közelíti az adott paraméterekkel rendelkező sérült lemez sajátfrekvenciáját. Lehetséges tehát, hogy mivel be van vágva a munkadarab, így az ép lemez sajátfrekvenciája el lett hangolva, és a kiugró értékek a rezonancia jeleire utalhatnak.

Összességében úgy gondolom, hogy a dolgozat sikeres eredményekkel zárult. A kitűzött célokat teljesítettem, és egyértelműen bebizonyosodott, hogy lehet rezgéstani felméréseket végezni okostelefonos alkalmazásokkal. Ugyanakkor látható az is, hogy számtalan kérdés merült fel a vizsgálatok közben, melyek megválaszolásához újabb kísérleteket kellene elvégezni.

A mai rohamosan fejlődő világban ez a terület jelentős potenciállal rendelkezik. A telefon ott van mindenki zsebében, és csupán néhány kattintásra vagyunk attól, hogy számottevő kísérleti eredmények után kutathassunk.

6. Summary

The use of smartphones for measurement is still an untapped area, despite the many applications available for testing the sensors of the device. As a consequence, my aim with this thesis was to demonstrate the successful applicability of smartphones as a measurement tool and to experimentally demonstrate the differences between two steel plates using vibration diagnostics.

As an initial assumption, I expected the displacement of the intact plate to be the most significant when testing all parameters, as it has a larger surface area compared to the damaged plate, and therefore can be affected much more by pressure waves. This assumption was confirmed for the first two measurement setups and the expected results were obtained. Both applications generated similar vibration patterns from the data detected by the sensor, confirming the correctness of the theory. The unusual response observed in the direction of X-axis is probably due to asymmetric capture, but further experiments would be useful to investigate this cause.

In contrast to the first two measurements, the third setup gave unusual results. Instead of displacement of the intact plate, the damaged workpiece produced high accelerations along the X-axis. This unexpected measurement result could be explained by the fact that the frequency of 150 Hz approximates the natural frequency of the damaged plate with the given parameters. It is therefore possible that, since the workpiece is notched, the natural frequency of the intact plate has been detuned and the outliers could be indicative of resonance.

Overall, I believe that the thesis has produced successful results. I have fulfilled the objectives set and it has been clearly demonstrated that it is possible to perform vibration surveys using smartphone applications. However, it can be seen that numerous questions have arisen during the investigations, which should be answered by further experiments. In today's rapidly developing world, this field has considerable potential. The phone is in everyone's pocket and we are only a few clicks away from being able to search for significant experimental results.

7. Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/vibration-analysis#HowDoesVibrationAnalysisWork>
- [2] Dubravko MILJKOVIĆ - Brief Review of Vibration Based Machine Condition Monitoring. Hrvatska elektroprivreda, 2015.
- [3] Lee Bartel - Abdullah Mosabbir: Possible Mechanisms for the Effects of Sound Vibration on Human Health. Faculty of Music, University of Toronto, Toronto, ON M5S2C5, Canada, 2021.
- [4] Vishnu Kv - Anoop Bk - Adarsh Ks: Vibration Analysis: A Literature Review. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, 2015. szept-okt. p. 35-39.
- [5] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Loudspeaker-bass.png>.
- [6] Chernof, J.: Principles of loudspeaker design and operation. 1957. AU-5(5), 117–127. doi:10.1109/tau.1957.1166025
- [7] R. O'Reilly - A. Khenkin - K. Harney: Managing Acoustic Feedback: MicroElectroMechanical Systems (MEMS) Contact Microphones for Musical Instruments. Acoustics Today, 2008. július
- [8] <https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>
- [9] Adam Ciecko: Analysis of the Accuracy and Usefulness of MEMS Chipsets Embedded in Popular Mobile Phones in Inertial Navigation. 2019. IOP Conf. Ser.: Earth Environment
- [10] D. N. Lu - D. N. Nguyen - T. H. Nguyen - H. N. Nguyen: Vehicle mode and driving activity detection based on analyzing sensor data of smartphones. *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 4, 2018 április, doi: 10.3390/S18041036.
- [11] Túrós László-Zsolt – Székely Gyula: Érzékelők és mérőhálózatok. Scientia Kiadó, Kolozsvár. 2022. ISBN 978-606-975-060-5
- [12] <https://engineerguy.com/elements/>
- [13] iDynamics - TU Kaiserslautern
<https://www.bauing.uni-kl.de/en/sdt/idynamics/manual#c100082>

- [14] A. Feldbusch-H. Sadegh-Azar - P. Agne: Vibration analysis using mobile devices (smartphones or tablets). X International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2017. 2790-2795.
- [15] Physics Toolbox Sensor Suite
<https://www.vieyrasoftware.net/sensors-sensor-modes>