

## **2013/2014. tanévi TDK Konferencia**

**Beltéri mérőegység helymeghatározása odometriával**

**Készítette: Lövei György**

**Konzulens:**

**Dr. Barsi Árpád, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék**

## Tartalom

Bevezetés.....	2
Odometria.....	2
A mérőegység rövid bemutatás .....	3
A próbakonfiguráció .....	4
A saját készítésű mérőegység.....	13
Összeszerelés .....	13
A mérőegységgel végzett első mérések.....	15
Tapasztalatok és a mérőegység átalakítása.....	18
A módosítások után végrehajtott mérések.....	19
Mérések feldolgozása .....	20
Összefoglalás.....	26
Köszönetnyilvánítás .....	26
Felhasznált irodalom .....	27

## Bevezetés

A dolgozatom célja az volt, hogy létrehozzunk egy olyan beltéri integrált és mobil térképező rendszert, amivel rövid idő alatt elő lehet állítani épületbelső, például egy folyosószakasz 3D pontfelhőjét. A következőkben ennek a mérőegységnek az egyik legfontosabb elemét, a saját fejlesztésű odométert szeretném bemutatni. Az odométer a mérőegység relatív helymeghatározásáért felel. Ennek szükségességét a következő fejezetben tárgyalom. Szeretném röviden bemutatni a mérőegység összes elemét. Külön ki szeretnék térni a mérőegység összeszerelése előtt történt próbamérésekre és az ezekből nyert tapasztalatok bemutatására. Ezután be szeretném mutatni a mérőegység összeszerelésének menetét, az első méréseket, valamint az azokból származó tapasztalatokat, amik a mérőegység átalakításához vezettek. Végül be szeretném mutatni a véglegesnek tekinthető mérőegységet, az azzal végrehajtott méréseket, és a mérések eredményeit.

## Odometria

A rendszer egyik fontos összetevője a kerékfordulatszám mérő szenzor, az odométer. Az odometria kifejezés a görög odos, utazás és a szintén görög metron, mérés szavakból tevődik össze. Mivel a méréseink beltérik voltak, nem alkalmazhattunk „hagyományos” GNSS-en alapuló helymeghatározást, ezért erre a célra fentebb említett odométert használtuk. A helymeghatározásra ez csak bizonyos feltevések mellett volt alkalmas, mivel a szenzort csak egy kerékre szereltük fel, ezért csak annak az elfordulásait tudtuk regisztrálni. Így ha a mérőplatform kismértékű oldalirányú kimozdulásokat tett, akkor azok a méréseinkben nem jelentek meg. Ezt kétféleképp tudtuk volna kiküszöbölni, az egyik lehetőség az lett volna, hogy egy-egy odometriáért felelős szenzort rögzítünk két vagy több kerékre, így látható lett volna az egymás mellett elhelyezkedő kerekek elfordulásának különbsége, ha ezt és a kerekek távolságát ismerjük, akkor számolni lehetett volna a mérőplatform elfordulását; ezt az eljárást nevezzük differenciális odometriának [1]. Ez a megoldást akkor lehetett volna jól alkalmazni, ha ez a két kerék egy tengelyen helyezkedett volna el, sajnos a mérőplatform nem így lett kialakítva, így más megoldás után kellett nézni. A második megoldás egy újabb szenzor felhasználása adhatja. Egy inerciális mérőegység (IMU) felhasználásával mérhetőek az oldalirányú mozgások, ezt beépítve a modellbe pontosabb helymeghatározásra juthatunk. Manapság igen olcsón hozzá lehet jutni (~100 \$) egy 9 szabadságfokú inerciális mérőegységhez. Az ilyen IMU-k három darab három-szabadságfokú szenzort foglalnak magukba, egy giroszkópot, egy gyorsulásmérőt

és egy magnetométert [3]. Jelen esetben a giroszkóp által regisztrált adatokat lehetne felhasználni az oldalirányú mozgások számítására. Ezen írás keretein belül ezt a lehetőséget nem tanulmányoztam, de a diplomamunkámon belül szeretnék erre is bővebben kitérni.

Odometriát a leggyakrabban az autóiparban használják a kerekek forgási sebességének meghatározására. A szenzor továbbítja az adatokat az ABS, ASR, ESP vezérlőegységekhez, amik ezeket az adatokat a fékerő szabályozására használják: kerék blokkolás megelőzésére (ABS), kipörgés megakadályozására (ASR-nél illetve ESP-nél) és biztosítják a jármű stabilitását és kormányozhatóságát [2]. A szenzorok által mért adatok a jármű navigációban is felhasználhatóak, olyan esetekben mikor nem állnak rendelkezésre a GNSS holdak által sugárzott jelek (alagút, városi kanyon). Ezekben az esetekben az úgynevezett Dead-Reckoning alkalmazzuk [1]. A módszer lényege, hogy a jelvesztés után a differenciál odometria segítségével mérhető megtett utakból és tengelyelfordulásokból számíthatóak a jármű koordinátái. Az autóiparban két féle szenzort használnak odometriára: egy passzív, indukciós elven működő és egy aktív szenzort. A mai modern autóknál szinte kizárólag az aktív szenzort használják [4]. A manapság egyre népszerűbb robotok esetében is az odometria segítségével oldják meg azok helymeghatározását. Az előre betáplált trajektóriát a differenciális odometria segítségével járják be, vagy annak segítségével tudják beazonosítani, hogy éppen hol vannak és milyen a helyzetük, ezek alapján pedig tudják számítani, hogy mi a teendő annak érdekében, hogy be tudják azt járni trajektóriát.

## A mérőegység rövid bemutatás

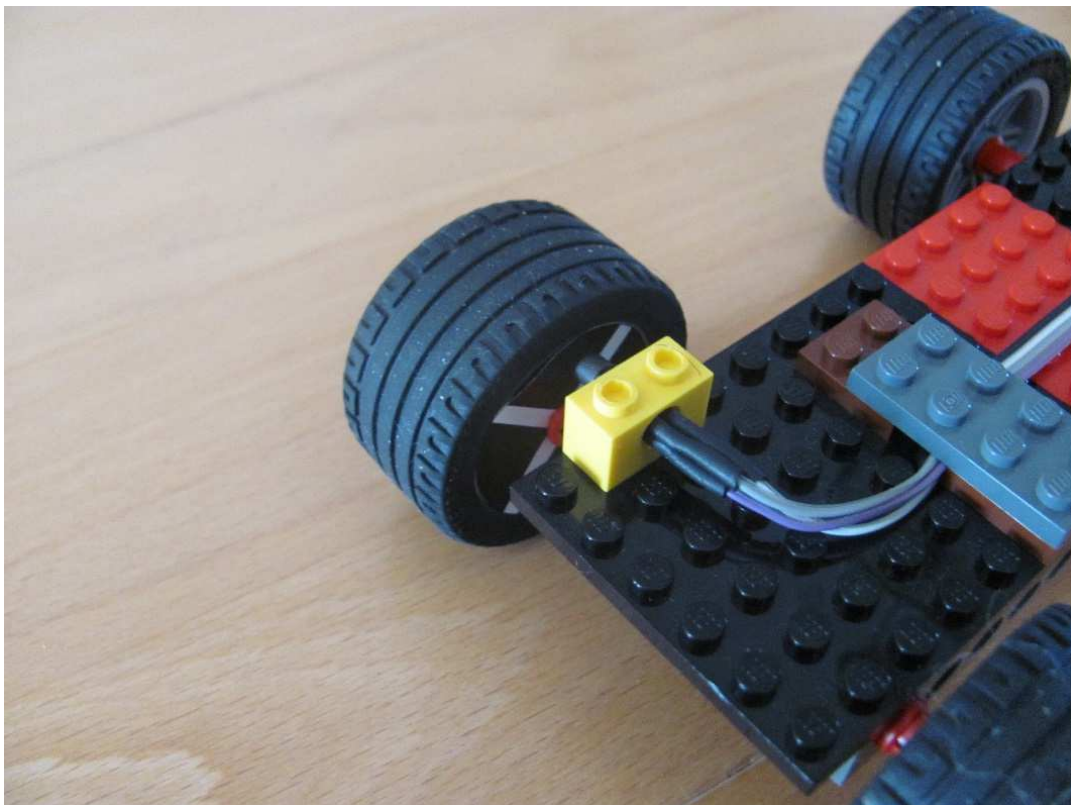
A mérőegység röviden a következő elemekből áll: egy mérőplatform, ami voltaképp egy kisméretű szállítókocsi. A kocsi kerekére szerelt szenzor, az odometria alapját képezi. Ez az aktív szenzor egy infravörös LED-ből és egy infravörös fény érzékelésre alkalmas diódából áll. A kerékre felragasztásra került egy nyomtatott, fekete alapon fehér csíkos minta.

A beérkező intenzitás értékeket számítógép segítségével rögzítettük, de hogy ezt meg tudjuk tenni az analóg feszültség értékeket, amik a szenzorból érkeztek digitális jelekké kellett alakítani, valamint ezeket a jeleket a számítógép felé kellett továbbítani. Ezt a feladatot egy Arduino Uno segítségével hajtottuk végre. A mérőegység talán legfontosabb eleme, a pontfelhő elkészültéért felelős profilszkennel, jelen esetben ez egy Sick által készített műszer, aminek a

típusa LMS100. A rendszer része természetesen a fentebb említett számítógép, ami a szenzorokból érkező adatokat rögzíti, időbélyegekkel látja el. A következőkben szeretném részletesen bemutatni a mérőegység részeit, valamint ezek összeszerelése közben tapasztaltakat.

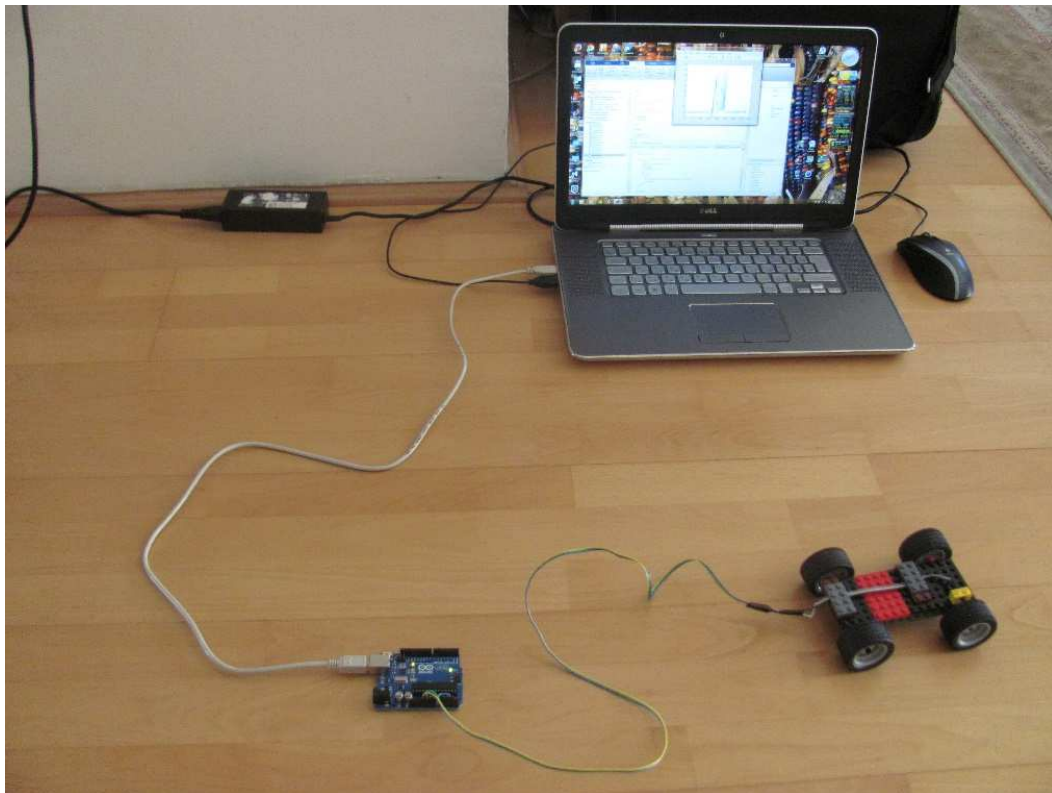
## A próbakonfiguráció

A mérőegység összeszerelését megelőzően próbaméréseket végeztünk az odométer működésének ellenőrzésére. A mérőplatformot itt egy Legóból készült kisautó helyettesítette (1. ábra). A kerekére ugyancsak felrögzítettünk egy mintát. A minta fekete alapon fehér csíkokból állt, amik egymással kilencven fokos szöget zártak be. Az intenzitás értékekért felelős szenzor a minta mellett lett rögzítve, így a kibocsájtott infravörös fény visszaverődött a mintáról, amit az infravörös fény érzékelésre alkalmas dióda folytonos feszültségértékenként továbbított.



*1. ábra A próbamérések alatt használt Lego kisautó, a szenzor és a kerékminta*

A fehér csíkoknál természetesen nagyobb feszültségértékek adódtak, a későbbiekben ezt felhasználva tudtuk számolni a kerékelfordulásokat, de ezt megelőzően az analóg, folyamatos feszültségértékeket diszkrét, digitális jelekké kellett alakítani. Ezt a fentebb már említett Arduino Uno segítségével hajtottuk végre. Ez a nyílt forrású hardver manapság igen népszerű, köszönhetően annak, hogy igen könnyen programozható, könnyen csatlakoztathatók hozzá különféle szenzorok, valamint a kedvező ára (~15€) miatt. Az Arduino Uno könnyen csatlakoztatható a számítógéphez, ahol a saját ingyenes szoftverén keresztül programozhatjuk. A mi esetünkben arra volt szükség, hogy bizonyos időközönként intenzitás értékeket tudjunk rögzíteni a számítógépen, amelyeket időbélyegekkel tudunk ellátni. A próbakonfiguráció az alábbi képen látható (2. ábra).

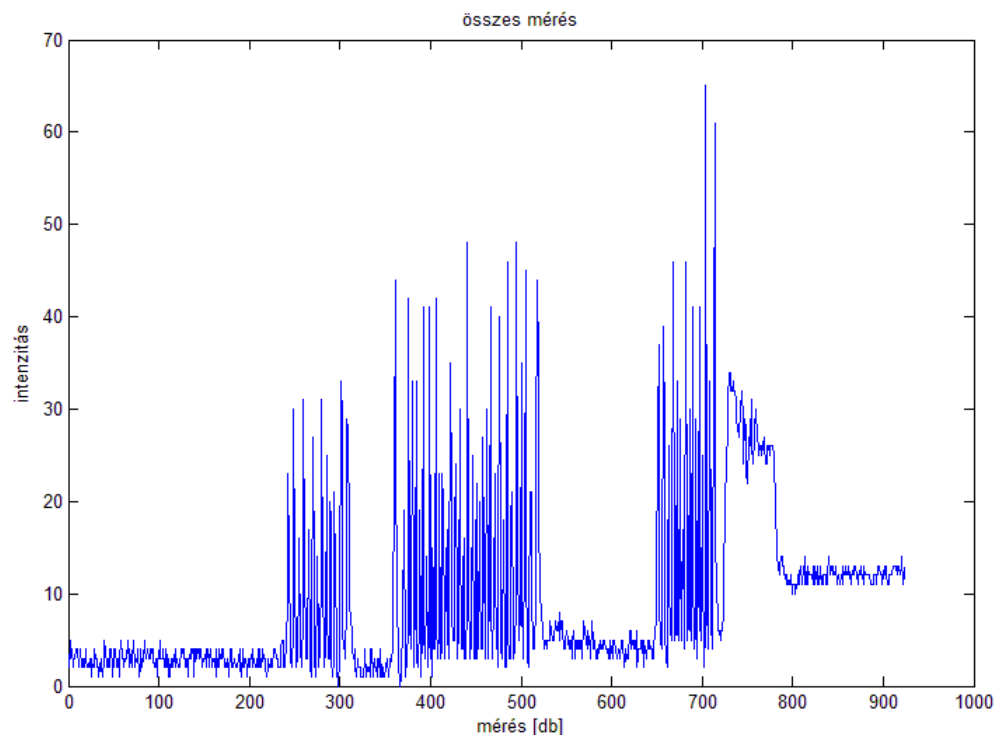


2. ábra A próbakonfiguráció (A Lego-kiskocsi, az Arduino Uno és az adatok regisztrálásáért felelős laptop)

A képen jól látható, hogy a szenzor az Arduino-hoz kapcsolódik, ami pedig a számítógéppel van összeköttetésben. Az Arduino a programja szerint 50 milliszekundumonként rögzít egy intenzitás értéket a szenzorból érkező feszültségértékek alapján, amit egy soros porton továbbít a számítógép felé, ahol a Matlab program alatt futó script a porton érkező nyers intenzitásértékeket menti el és ellátja a saját időbélyegével. A port átviteli sebessége 9600 bit/s volt. A méréseket egy teszt pályán végeztük, ami a következőképp nézett ki: a teljes pálya 219

centiméter hosszú volt és teljesen egyenes, amin belül 43 és 164 centiméternél egy-egy jel volt rögzítve. A teszt pályán öt különböző módon végeztünk méréseket:

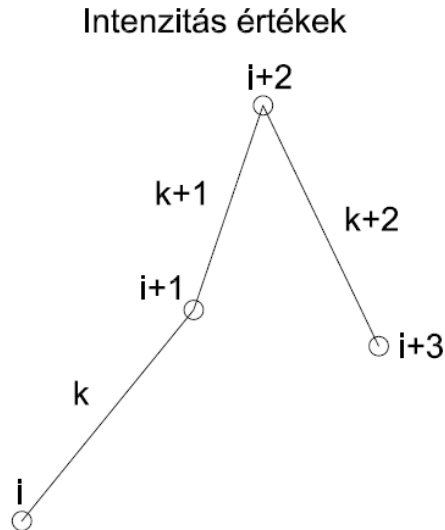
- 1. mérés: A kocsí mozgatása előtt néhány másodperc várakozás, az első jelnél 2 másodperc várakozás, a második jelnél szintén 5 másodperc várakozás, a célban pedig néhány másodperc várakozás. A kerék átmérője, amire a négy fehér sávval ellátott minta lett rögzítve, 43 mm volt. A Matlab segítségével rögzített intenzitás értékek a következőképp alakultak (3. ábra):



3. ábra Első próbamérés alatt mért intenzitás értékek

Az intenzitás értékeknél jól látszanak azok az időtartamok, amikor a kocsí állt. Szerencsére itt a kocsí megállításkor a szenzor a minta fekete részénél volt, viszont az automatikus feldolgozásnál számításba kellett venni azt az esetet is, mikor a fehér sávok felett áll meg, ezért a csúskeresés utolsó lépésnél ezt is figyelembe vettem. A tesztmérés során probléma adódott a mérések időbélyeggel való ellátásánál, ezért a mérési időközöket az eredeti 50 ms-os értékre vettem. A célom az volt, hogy a mért intenzitás értékek közül csak a minimumok és a maximumok maradjanak meg a feldolgozás következő lépése előtt, ezért az alábbi eljárást alkalmaztam: Vettem az egymást követő intenzitásértékek különbségét,  $I_{i+1}-I_i$ .

Ha két egymást követő intenzitás érték azonos volt, akkor különbségük értelemszerűen nullára adódott, ilyen esetben ezeket leválogattam. A következő lépésben összeszoroztam a különbségeket, az ebből kapott eredményeket pedig vizsgálatnak vettem alá (4. ábra).



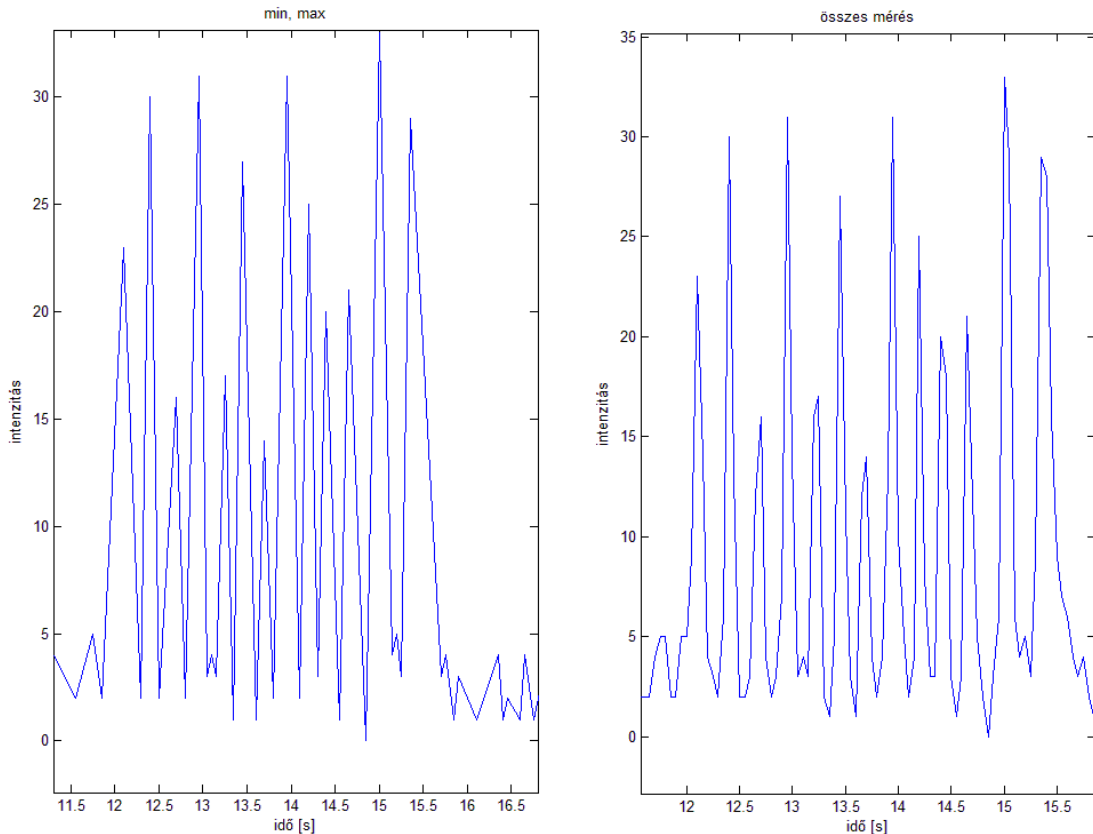
$$k = i+1 - i; k+1 = i+2 - i+1; k+2 = i+3 - i+2;$$

$$k * k+1 = +; k+1*k+2 = -;$$

4. ábra Egymást követő intenzitásértékek különbségeinek vizsgálata

Ha a két különbség szorzata pozitív volt, akkor a szorzathoz tartozó intenzitás értéket leválogattam ( $k * k+1 = +$ ;  $i+1$  leválogatva). Ha a szorzat negatív értéket vett fel, akkor az az intenzitás érték benne maradt az intenzitás értékeket tartalmazó mátrixban (mátrix, mivel az intenzitás értékek mellett az azokhoz tartozó időbélyeg is kiválogásra kerültek). Így sikerült elérni azt, hogy csak az egymást követő minimum és maximum értékeket tudjam vizsgálni a következőkben. Az alábbi ábrán bal oldalt a már szűrt, míg a jobb oldal az eredeti intenzitás értékek láthatóak (5. ábra).

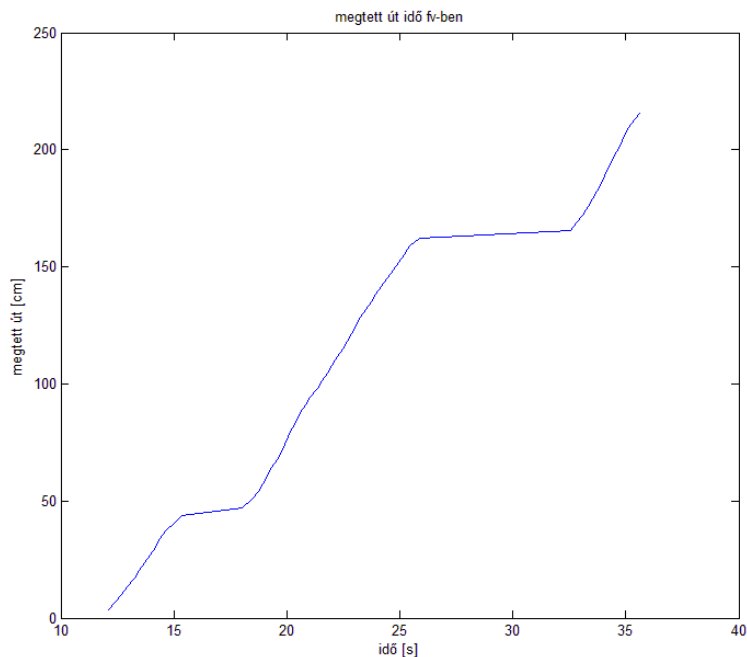




5. ábra Jobb oldalt az összes intenzitás érték az idő függvényében, bal oldalt ugyanaz, de csak a minimum és maximum intenzitás értékekkel

Jól látható, hogy a szűrt intenzitás értékek közt valóban csak az egymást követő maximum és minimum értékek szerepelnek. A következő lépésben megkerestem a maximum helyeket. Ezt úgy hajtottam végre, hogy ha az  $i$ -edik ponthoz képest az  $i-1$ -edik és  $i+1$ -edik kisebb volt akkor az  $i$ -edik pont maximum hely, ellenkező esetben pedig minimum, ezt persze az első és utolsó mérésre nem tudtam végrehajtani, de ezeknek nem is volt akkora jelentősége, köszönhetően a mérések elején és végén végrehajtott várakozásoknak. Így sikerült kigyűjtenem egy mátrixba az összes maximum helyet, amikhez hozzárendeltem a megfelelő időbélyegeket. Persze nem az összes maximum hely jelentett még sáváthaladást a szenzor előtt, azaz nem jelentettek kerékelfordulást. Még le kellett szűrni azokat a maximum értékeket, amik nem feleltek meg egy bizonyos kritériumnak. Ez a kritérium sajnos nem lehetett az, hogy egy bizonyos intenzitás érték alatt a maximum helyet nem veszem figyelembe, mivel ha például a mérés ellenőrzésének céljából megállunk és a szenzor pont a fehér sávnál áll meg akkor, sokkal több áthaladást regisztrál az automatikus feldolgozó algoritmus, mint ami a valóságban

megtörtént. Az is ez ellen a kritérium ellen szól, hogy napfény hatására az intenzitás értékek megugranak, így ha egy sötétebb helyen mérünk a minta fekete részén például nullához közeli intenzitásértékeket kapunk, a fehér sávoknál ez 20 körüli érték, viszont ha egy világosabb helyre érünk a kocsival, akkor a fekete résznél 10 körüli értékeket kapunk a fehér sávoknál viszont 40 körüli értékeket. Ebből jól látszódik, hogy nem vehetünk fel egy konstans értéket, ami felett egy maximum hely áthaladásnak számít, míg alatta nem. Ezért a következők szerint jártam el: a leszűrt, már csak minimum és maximum intenzitásértékeket tartalmazó mátrix segítségével kiszámítottam a maximum helyekhez képesti különbségeket az azokat megelőző és követő minimumhelyekhez képest. Ezután minden maximum helyen megvizsgáltam ezeket a különbségeket, ha legalább az egyik különbség abszolút értéke nagyobb volt, mint hét. Az előző feltételnek megfelelő maximum értékeket már a sáv áthaladásokhoz tartozó maximumértékeknek tekintettem, amikhez most is hozzárendeltem a megfelelő időbélyegeket. A megtett út számításához, valamint az út-idő görbe felrajzolásához a kerék kerületének ismeretére volt szükség. Az áthaladások számát össze kellett szorozni a kerület negyedével, mivel a minta a kerék kerületét négy egyenlő részre osztotta fel, és megkaptuk a teljes megtett utat, az időbélyegek segítségével pedig fel lehetett rajzolni az út-idő görbét. Az alábbi az első kísérleti méréshez tartozó (6. ábra).

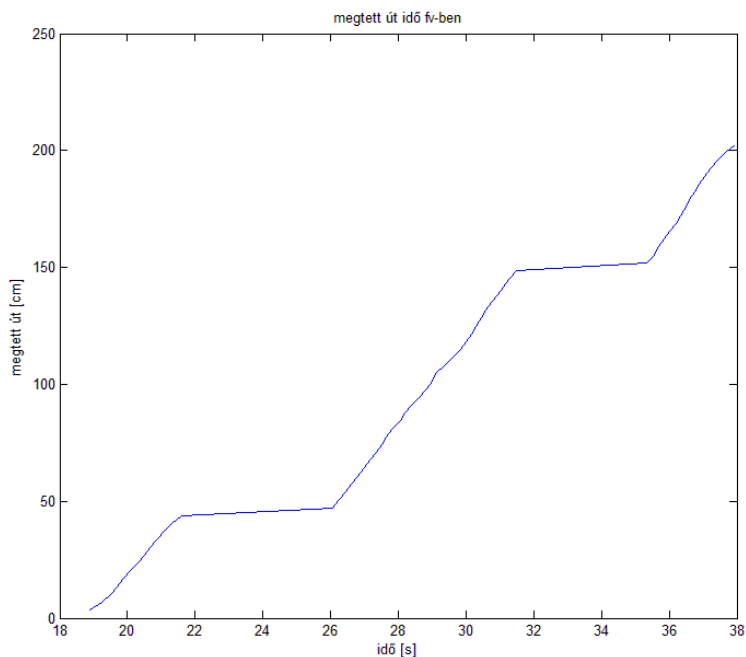


6. ábra Az első próbamérés út - idő görbéje

A grafikonon jól látható, hogy az szakaszos és az utat kifejező növekedés egyenletes meredekséggel írható le, azaz a kocsi sebessége egyenletes. A két megállás az automatikus feldolgozás szerint 43,9 cm-nél és 162,1 cm-nél volt, valamint a kocsi 216,1 cm-t járt be, tehát elmondható, hogy igen jól megközelíti az eredeti pályát. A minimális eltérések a kerék kis méretéből és a mintavételezés időbeli sűrűségéből adódhattak. A szenzor a 43 mm átmérőjű kerék középpontjához viszonyítva körülbelül 15 mm-re lett elhelyezve, vagyis körülbelül 9,4 cm kerületű a kerék azon része, amit a szenzor megfigyel. A kocsi ebben az esetben 16,85 másodpercet töltött mozgással és 219 cm utat tett meg, tehát körülbelül átlagosan 13 cm/s-es sebességgel haladt. Ez azt jelenti, hogy azon a részen ahol a szenzor megfigyelte a kereket, az 8,67 cm/s-al forgott, ez nagyjából egy fordulat/másodperc. A fehér sávok, amiket a szenzor megfigyelt, 3 mm szélesek voltak. A szenzor 50 milliszekundumonként végzett mérést, tehát 20 mérést tudott végezni másodpercenként. Ha a 9,4 cm-es kerületet elosztjuk hússzal az 4,7 mm-re adódik, tehát előfordulhat az, hogy a 3 mm-es sáv pont áthalad két mérés között, és így az áthaladás nem kerül regisztrációra. Ezen többféleképp segíthetünk, vagy a kocsi sebességét csökkentjük, vagy a sáv szélességét növeljük, vagy a mintavételezés frekvenciáját növeljük. A tényleges mérésnél látni fogjuk, hogy egy nagyobb kerék és szélesebb sávok jóval kedvezőbb intenzitás „tüskéket” mutatnak.

A másik négy próbamérés eredménye felsorolásszerűen:

- 2. mérés: elindulás előtt kb. 10 másodperc várakozás, 3 másodperc várakozás az első jelnél, 2 másodperc a másodiknál, néhány másodperc a célban (7. ábra)

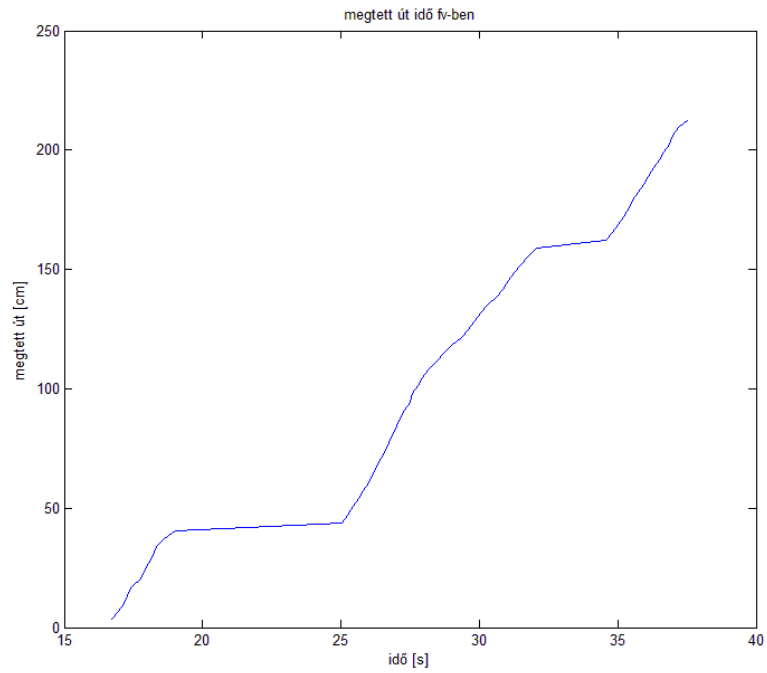


7. ábra A második próbamérés út –idő görbéje

A megtett út itt csak 202 cm-re adódott, ez annak „köszönhető, hogy a kocsí itt mozgással körülbelül 11 másodpercet töltött, tehát nagyobb volt az átlagos sebessége, így a szenzor mérései közt lévő „rések” nagyobbak voltak, így az nagyobb eséllyel siklott át sávátaladás felett. A közbenső jeleknél a megtett utak a következők voltak: az első jelnél 43,9 centiméter, a második jelnél 148,6 centiméter.

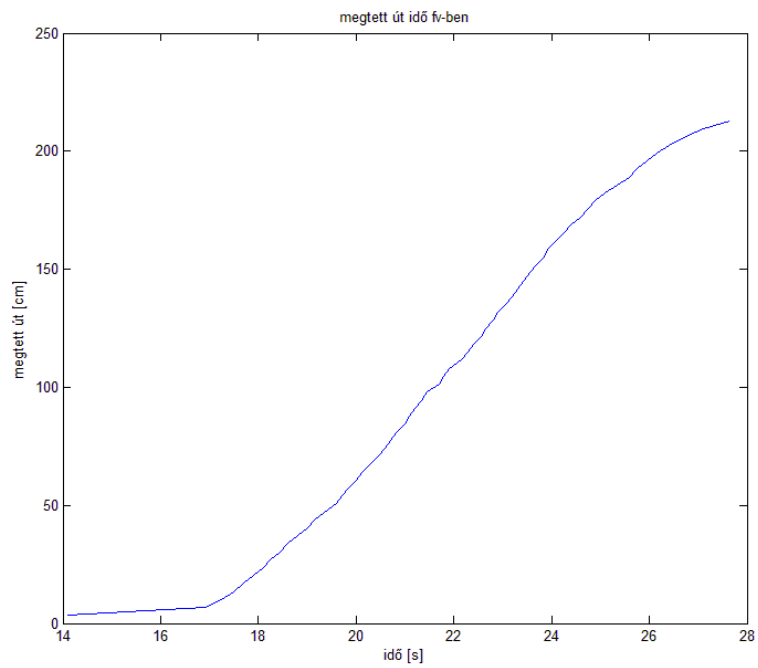
- 3. mérés: indulás előtt kb. 10 másodperc várakozás, 1. jelnél 5, a 2.-nál 2 másodperc várakozás, a célban kb. 10 másodperc (8. ábra)

A megtett út itt 212 cm-re adódott és a közbenső pontoknál is egész jó eredményeket kaptunk. Ezek szám szerint: az első jelnél a kisautó az automatikus feldolgozás szerint 40,53 centiméter utat tett meg, a második jelnél pedig 158,7 centimétert.



8. ábra A harmadik próbamérés út – idő görbéje

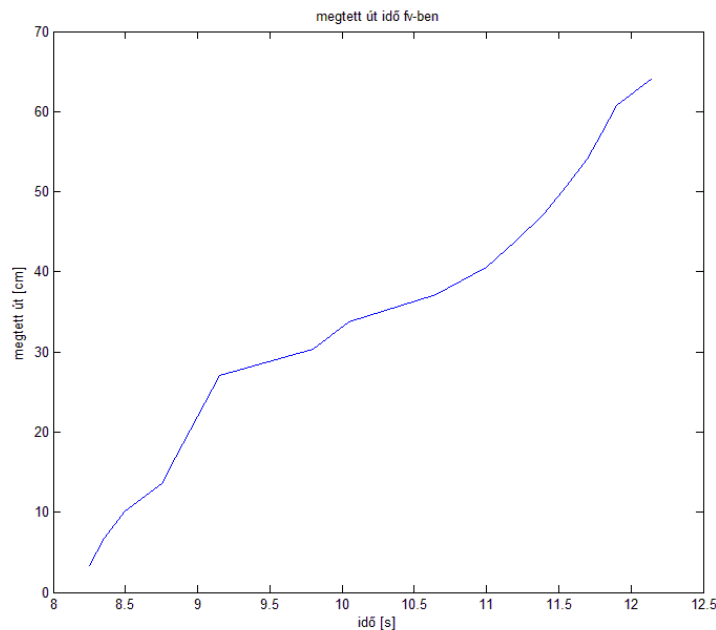
- 4. mérés: 10 másodperc várakozás az elindulás és a célban, közben nincs megállás (9. ábra)



9. ábra A negyedik próbamérés út – idő görbéje

Ez esetben a teljes megtett út 212,8 centiméterre adódott.

- 5. mérés: gyors mozgás, megállás nélkül (10. ábra)



10. ábra Az ötödik próbamérés út – idő görbéje

Ennél a mérésnél a megtett út már teljesen rossz volt, mindez annak köszönhető, hogy a kocs mindössze 4 másodpercet töltött mozgással, tehát 54 cm/s átlagos sebességgel haladt, tehát a szenzor nem érzékelte a sáváthaladások nagy részét.

## A saját készítésű mérőegység

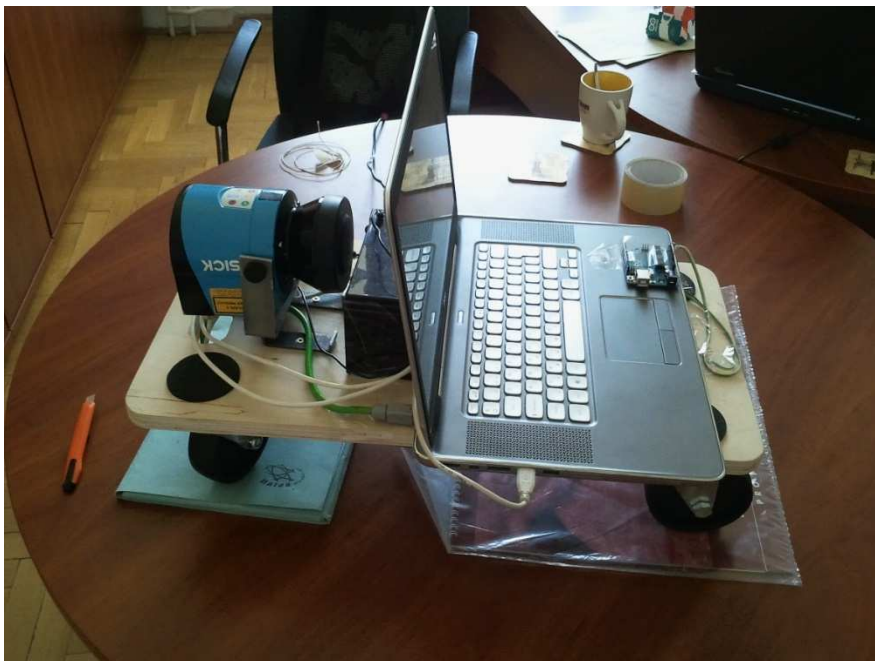
### Összeszerelés

A mérőegység a fentebb már említett elemekből áll: tehát a kocsiból, az odometriához szükséges elemekből: az aktív szenzor, ami a kerékre rögzített mintát figyeli, az Arduino Uno-ból, ami a szenzor analóg jeleit alakítja digitálissá és továbbítja a számítógép felé és a pontfelhő elkészültéért felelős Sick LMS100 profilszkennerből.

A tényleges mérőegység esetében, az odométer elemeinek összekapcsolása azonos volt a korábbiakkal, tehát a szenzor egy mintával ellátott kereket figyel, ez a szenzor összeköttetésben van az Arduino Uno-val ami a jelátalakítással, valamint ezek továbbításával foglalkozik a számítógép felé. A számítógép Matlab program segítségével rögzíti a beérkező jeleket és időbélyegekkel látja el. Mint már említettem, a próbamérések alatt probléma adódott az időbélyegek rögzítésénél, ez a későbbiekben szerencsére nem fordult elő.

A próbamérésekkel ellentétben itt már a profilszkenner is a mérőegység részét képezte. A beérkező lézerszkenelési adatokat ebben az esetben nem a Matlab rögzítette, hanem a Sick saját, SOPAS nevű szoftvere. A szoftver ebben az esetben is időbélyegekkel látta el az egyes időpontokhoz tartozó méréseket. Az időbélyegek mindkét esetben a számítógép órája alapján lettek előállítva, így a két szenzor mérései szinkronizálhatóak. Ennek pontos végrehajtásáról a diplomamunkámban fogok írni.

A mérőegység első megvalósulása az alábbi képen látható (11. ábra).



*11. ábra A mérőegység első megvalósulása*

A képen jól láthatóak a mérőegység elemei, ez alól csak az odometriában részt vevő szenzor és a kerékre ragasztott minta, képez kivételt. A minta és a szenzor a kocsikerekek belsejére került rögzítésre, annak érdekében, hogy a minta minél jobban el legyen zárva a

külső fényforrások elől. A későbbiekben látni fogjuk, hogy ennek ellenére a napfény okozta hatások jól elkülöníthetően meg fognak jelenni az intenzitásértékekben. A szenzor és a minta jól látható az alábbi képen (12. ábra).



12. ábra A kerékre rögzített kerékminta és szenzor

A minta egy 38 milliméter sugarú tele kör volt, amiből belülről egy 20 milliméter sugarú kört vágunk ki és kaptunk egy körgyűrűt. Fekete alapon nyolc fehér, 5 milliméter vastagságú sáv helyezkedett el, amik egymással 45 fokos szöget zártak be. Ettől a sűrűbb sávazástól azt reméltük, hogy pontosabb képet kapunk a kocs mozgásáról. A 11. ábrára visszatérve a profilszkennert a kocs elejébe lett rögzítve egy fém tartó segítségével. Az adatok rögzítéséért felelős laptop és a profilszkennert közé helyeztük el a szkennert tápellátására szolgáló akkumulátort. Az Arduino Uno-t a laptopra rögzítettük, mint ahogy az a képen is látható. A mérőegység ebben az állapotában már képes volt a mérésre.

### A mérőegységgel végzett első mérések

A méréseinket az egyetem első emeletének számozás szerinti 30-as és 90-es folyosóján végeztük. A 90-es folyosón méréseink ellenőrzésére három, a járófelületen korábban



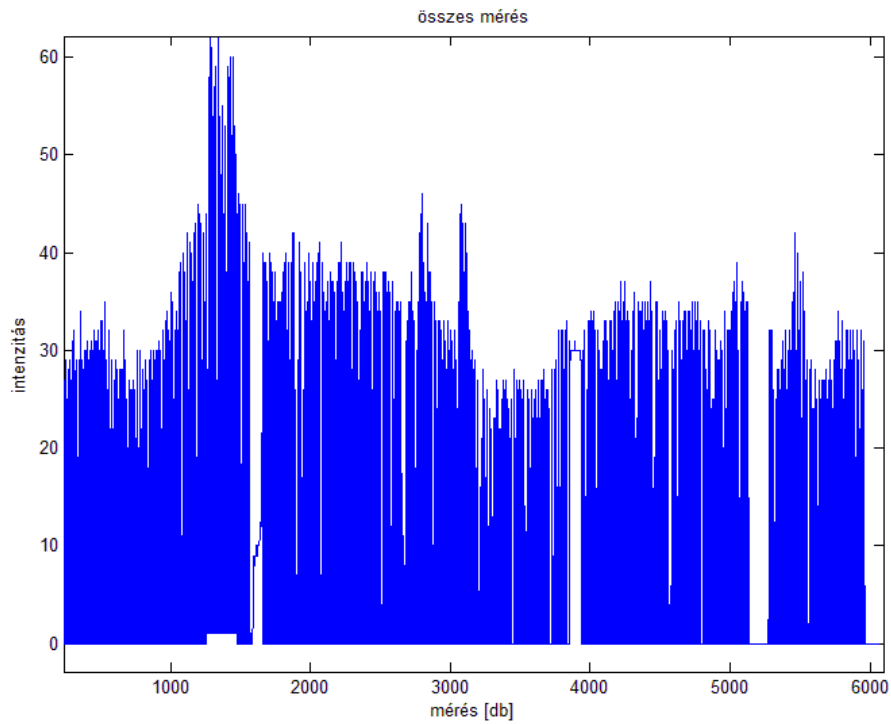
állandósított jel (az egykori Felsőgeodézia Tanszék Alapvonala) is rendelkezésre állt (13. ábra). A jelek távolsága a következőképp alakul: a déli bejáratától számított első jel és a második jel között 20 méter a távolság, a második és a harmadik jel között pedig 30 méter. A méréseket úgy végeztük a 90-es folyosón, hogy mindhárom jelnél megálltunk néhány másodpercre. Ettől azt reméltük, hogy jó ellenőrzés lesz, mivel a szakaszok pontos hossza ismert és a megállások jól kivehetőek az intenzitásértékeknél, valamint a már számított út-idő görbén.



13. ábra A járófelületen korábban állandósított jelek egyike

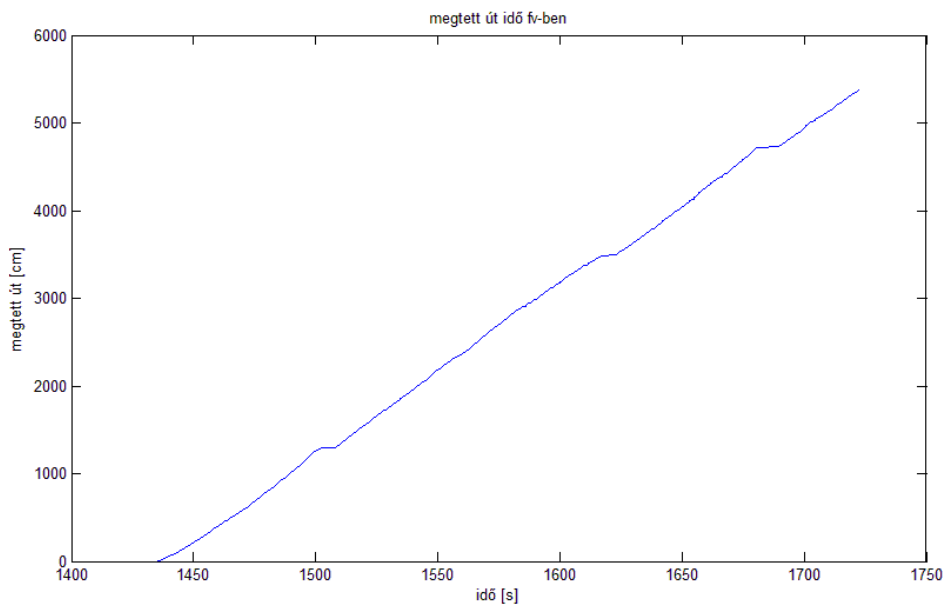
A következőkben csak a 90-es folyosón végzett mérést szeretném bemutatni, mivel a feldolgozás alatt fény derült arra, hogy a méréseinket hiba terhelte, ezt pedig legkönnyebben a fent említett jelek segítségével tudom bemutatni.

A feldolgozás során a korábban már bemutatott eljárást alkalmaztam a sáváthaladások detektálására. A megtett út számítása tehát az egyes áthaladások és a kerék kerület bizonyos hányadának szorzatából adódott. A kocsni kerekének átmérője, amit a szenzor megfigyelt, 10,2 centiméter volt. A fehér sávok száma nyolc volt ebben az esetben, tehát azok nyolc egyenlő részre osztották a kerék kerületét. Tehát minden egyes regisztrált áthaladás esetén a megtett úthoz hozzáadtam 4,045 centimétert ( $10,3 \cdot \pi / 8$  cm). A rögzített intenzitás értékek az alábbi ábrán láthatóak (14. ábra).



14. ábra A 90-es folyosón mért intenzitás értékek

A három jelnél történt megállás jól látható az intenzitás értékek esetében. Az automatikus feldolgozás a következő út-idő görbét eredményezte (15. ábra).



15. ábra A 90 folyosó út – idő görbéje

## Tapasztalatok és a mérőegység átalakítása

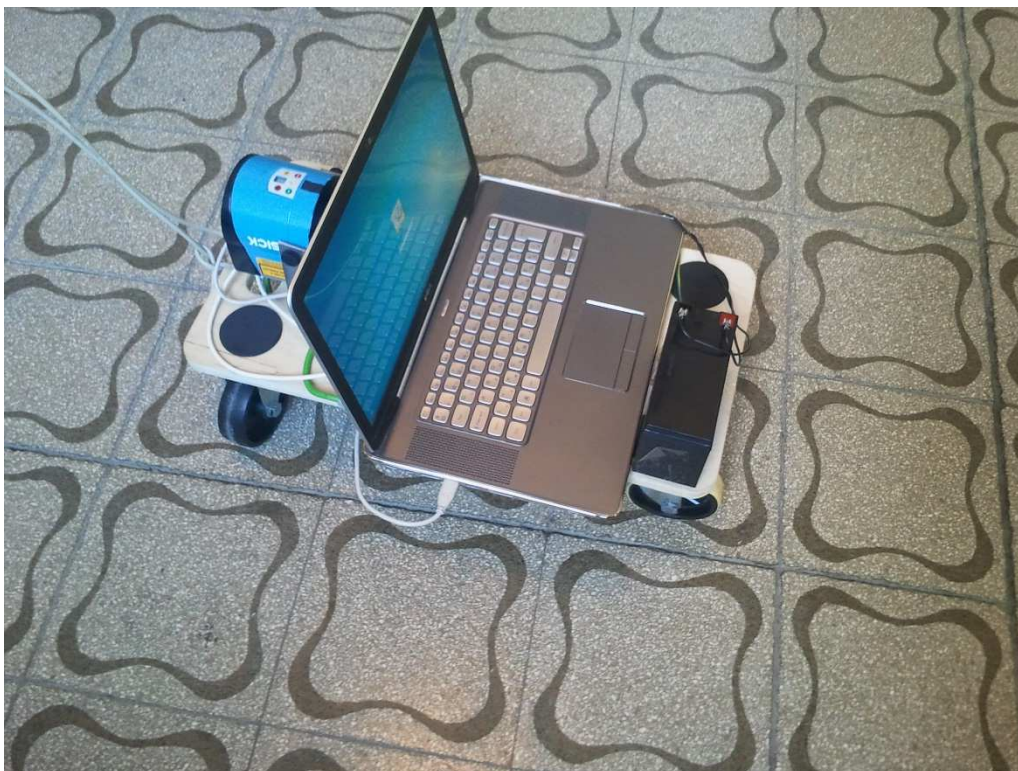
Az ábrán látható, hogy a megállások között sajnos nem az elvárt hosszúságú út lett regisztrálva. Az első szakaszon, a harmadik és második jel között a megtett út a mérés szerint 21,85 méter, míg a második szakaszon 12,45 méter volt. Sajnos ez meg se közelítette a valós távolságot. A mérés közben megfigyeltük, hogy a kerék csúszik, nem ér hozzá a járőfelülethez minden esetben. Valamint abban sem voltunk biztosak, hogy a szenzor minden egyes áthaladást érzékelt. A tapasztalatokból tanulva a következő változtatásokat hajtottuk végre: a profilszkennert és a laptop között lévő akkumulátort áthelyeztük a fölé a kerék fölé, amire a minta és a szenzor került. Ettől azt reméltük, hogy az akkumulátor súlya „lenyomja” a kereket, így az nem emelkedik el a talajtól. A kerék futófelületén is változtatásokat eszközöltünk. A futófelületre egy textilcsíkot ragasztottunk, amit bevontunk egy vékony gumi réteggel, azt remélve, hogy így az esetleges megcsúszásokat megakadályozzuk. Ennek köszönhetően a kerék átmérője egy milliméterrel nagyobb lett, 10,3 centiméter. Az odometriánál használt minta is lecserélésre került. A nyolc fehér sáv helyett csak négy sávot használtunk, amik 90 fokos szöget zártak be egymással. A sáv vastagságát is megnöveltük, az 5 milliméter helyett 11 milliméterre növeltük (16. ábra).



16. ábra A megváltoztatott futófelület és kerékminta

### A módosítások után végrehajtott mérések

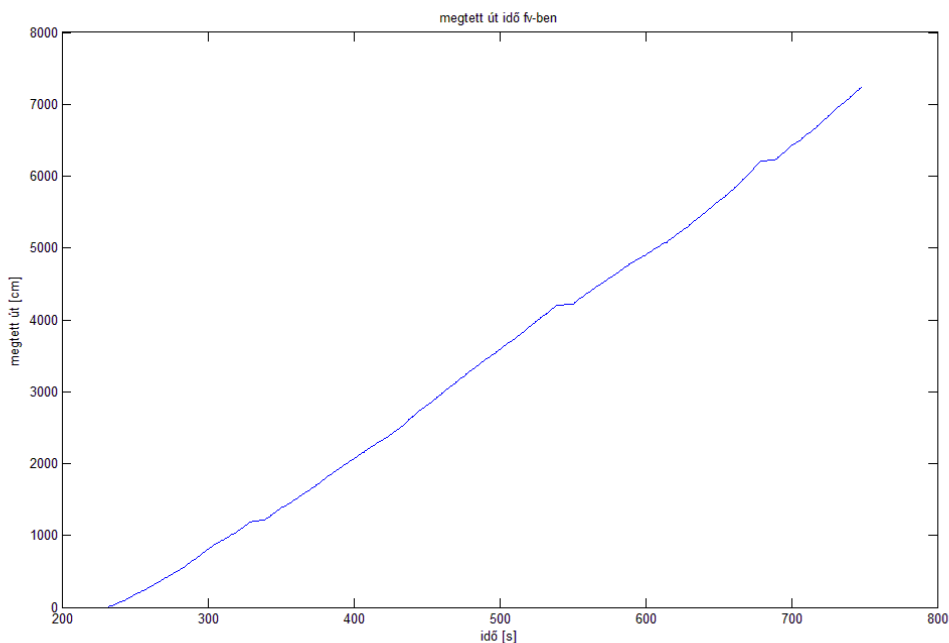
A méréseket ismét elvégeztük az egyetem első emeletén található 30-as és 90 es folyosón. A mérések elvégzése hasonlóképp alakult, mint azt megelőzően. A szenzorok által mért adatokat a laptop rögzítette és látta el időbélyeggel, az odométer esetében a Matlab, még a profilszkennerek esetében a SOPAS. A mérések közben ügyeltünk arra, hogy a kocsik a lehetőségekhez képest a leg egyenesebb pályán mozogjanak, sajnos ezt tökéletesen nem lehetett kivitelezni. Ezen TDK-munkám során a mozgást egyenesnek feltételeztük, de a diplomamunkám során megkísérlem majd a kisebb oldalirányú mozgásokat (a folyosótengelyhez képest) figyelembevételét a feldolgozás során. Ezt a már korábban említett IMU segítségével fogom végrehajtani. A véglegesnek tekinthető mérőegység az alábbi ábrán látható (17. ábra).



*17. ábra A végleges mérőegység*

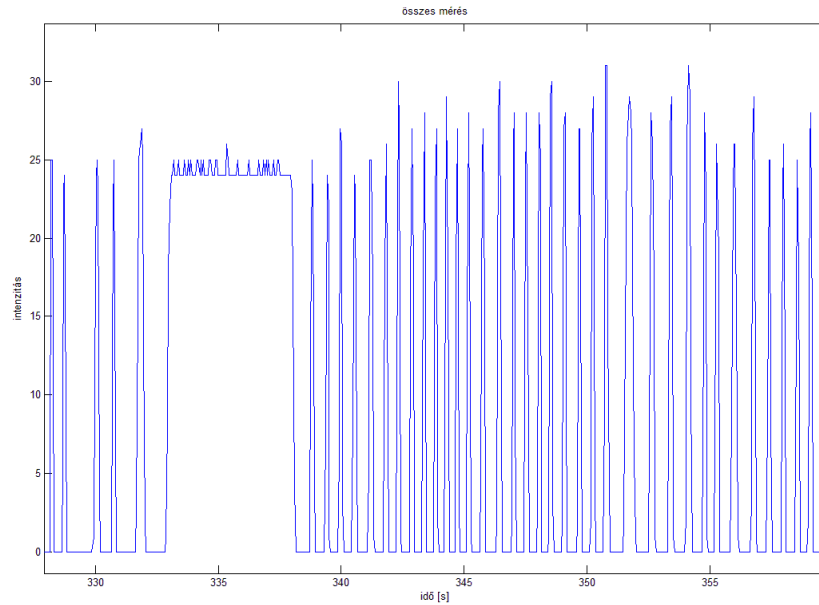
## Mérések feldolgozása

A mérés után a kapott adatokat, a korábbiak szerint dolgoztam fel. A mérőegységen végrehajtott változtatásoktól azt reméltük, hogy az már pontosabb képet tud adni a megtett út nagyságáról, valamint annak időbeli eloszlásáról. A feldolgozást most is a 90-es folyosóval kezdtem, ahol lehetőség volt méréseink ellenőrzésére. Az út-idő görbéje a következőképp alakult (18. ábra):



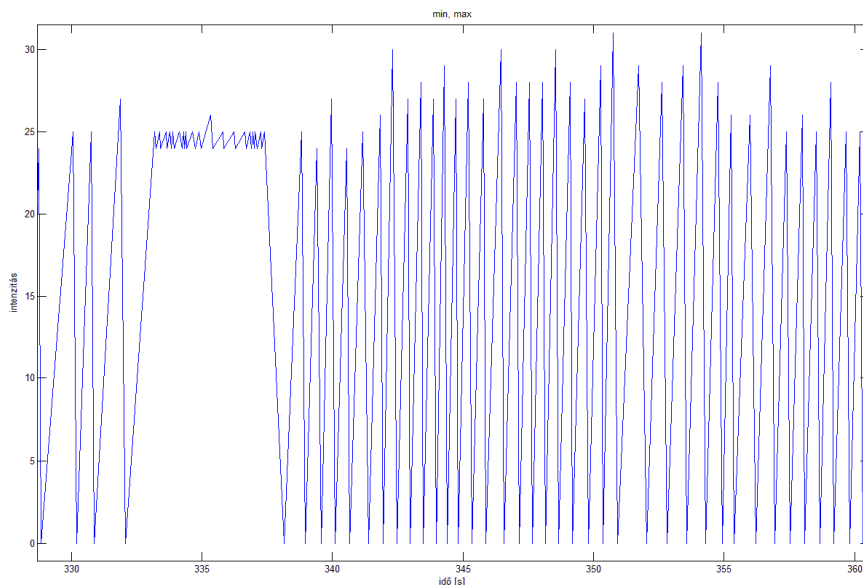
18. ábra A 90-es folyosó út – idő görbéje

A 90-es folyosó esetében a mérést annak az egyetemi főbejárat felőli oldalán kezdtük. Az ábrán is látható, hogy első jelnél megtörtént az első várakozás, arra a mérés során ügyeltünk, hogy a várakozásoknál a kocsi mindig ugyanazon pontja essen a jelhez. A kocsi itt a mérés megkezdése után 12,13 métert tett meg. A második jelnél ismét várakoztunk, itt a feldolgozás szerint a megtett út 42,15 méter volt. A megtett út tehát 30,02 méter volt a két jel között. Az utolsó jelnél a megtett út 62,21 méter volt. Tehát a második szakasz hossza az automatikus feldolgozás esetén 20,06 méter volt, a két szakasz együttesen pedig 50,08 méter. Ezek az értékek már jóval közelebb állnak a valósághoz. A teljes szakasz esetében mindössze nyolc centiméter volt az eltérés, és ez is pozitív előjelű volt, ami talán annak köszönhető, hogy a kocsi minden próbálkozás ellenére sem haladt tökéletesen egyenes pályán, így több utat tett meg, mint a három jel közötti legrövidebb út. A kocsi a teljes mérés alatt 72,32 métert tett meg. Ez a nagymértékű javulás a fentebb említett változtatásoknak volt köszönhető, például a minta sávszámának csökkentése és azok vastagságának növelése sokkal egyenletesebb „tüskéket” eredményezett az intenzitás- idő görbén, így nem eshetett meg, hogy két sáv intenzitásértékei „egybeolvadnak”.



19. ábra Intenzitás értékek az idő függvényében a 90-es folyosón

Jól látható, hogy a még szűrés előtt álló intenzitásértékek is jól elkülönülnek (19. ábra). A képen látható folyamatos, magas intenzitásértékek az egyik jelnél történő várakozást mutatják. A szenzor éppen az egyik fehér sáv fölött állt meg, ez persze nem jelent problémát, mivel az algoritmus figyeli az egyes maximum értékek különbségét az azt megelőző és követő minimum értékekhez képest, áthaladásnak csak azokat a maximumhelyeket regisztrálja, ahol a két különbség közül legalább az egyik meghaladja a hetet.

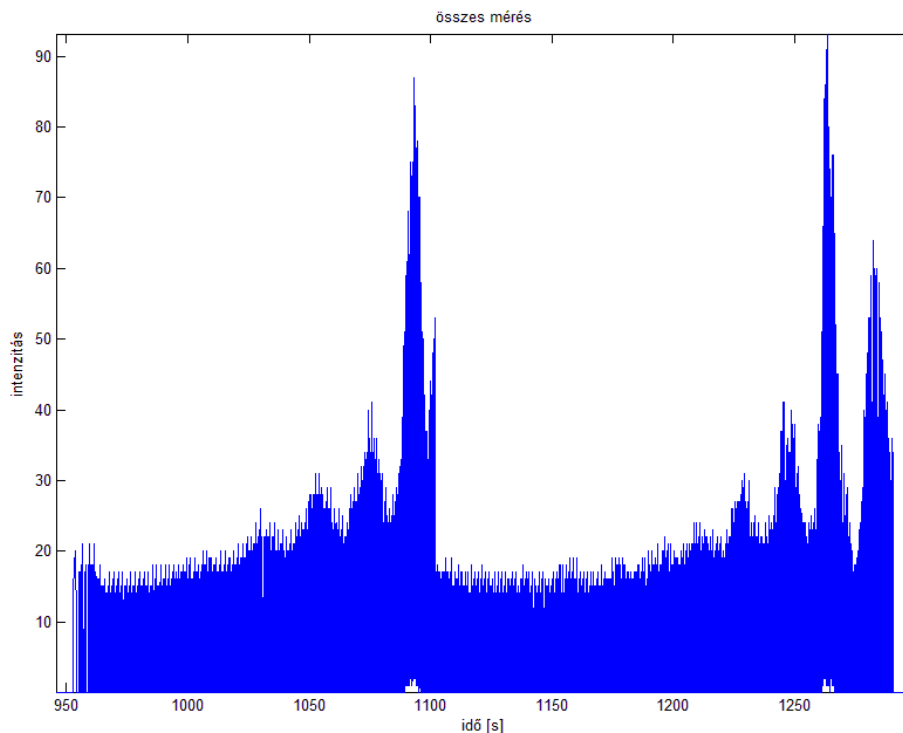


20. ábra Szűrt intenzitás értékek az idő függvényében a 90-es folyosón

A fenti ábrán (20. ábra) a 19-as ábrán már látott időintervallumra vonatkozó intenzitásértékek láthatóak, azzal a különbséggel, hogy itt már csak az egymást követő minimális és maximális intenzitásértékek szerepelnek.

Megállapítható, hogy ilyen átlagos sebesség mellett, 516 másodperc alatt 72,32 métert tett meg a kocsí, tehát 14 cm/s átlagsebességgel haladt, az odométer tehát jó közelítéssel képes a megtett út számításához szükséges adatok előállítására.

A 90-es folyosó méréseinek ellenőrzése után a 30-as folyosón mért adatokat is feldolgoztam. Az alábbi ábrán a mért intenzitás értékek szerepelnek az idő függvényében (21. ábra).



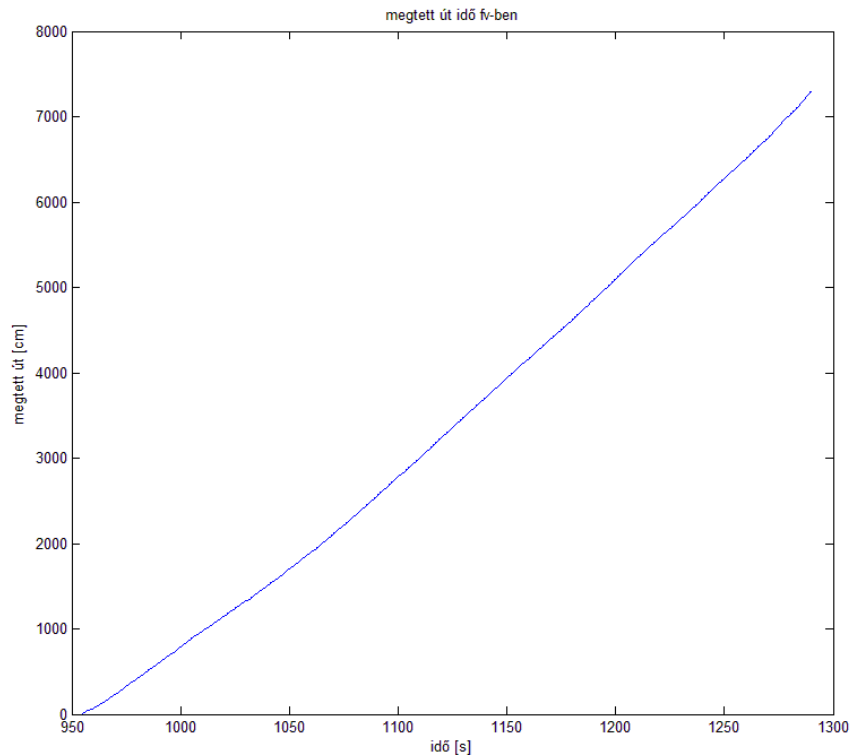
21. ábra Az összes intenzitásérték az idő függvényében a 30-as folyosón

Az ábrán látható, hogy itt jelek hiányában nem voltak megállások, a mérőegység mozgatása folyamatos volt. Jól látszik az intenzitásértékeken, hogy nem folyamatosan ugyanazt a maximális értéket veszik fel, hanem azok szakaszosan változnak. Ez a szakaszos változás a folyosó fényviszonyainak köszönhető, ahol magasabb maximális intenzitásértékek



szerepelnek, ott valószínűleg egy ablak mellett haladt el a mérőkocsi. Ez a tendencia a 90-es folyosó méréseiben is jól látható.

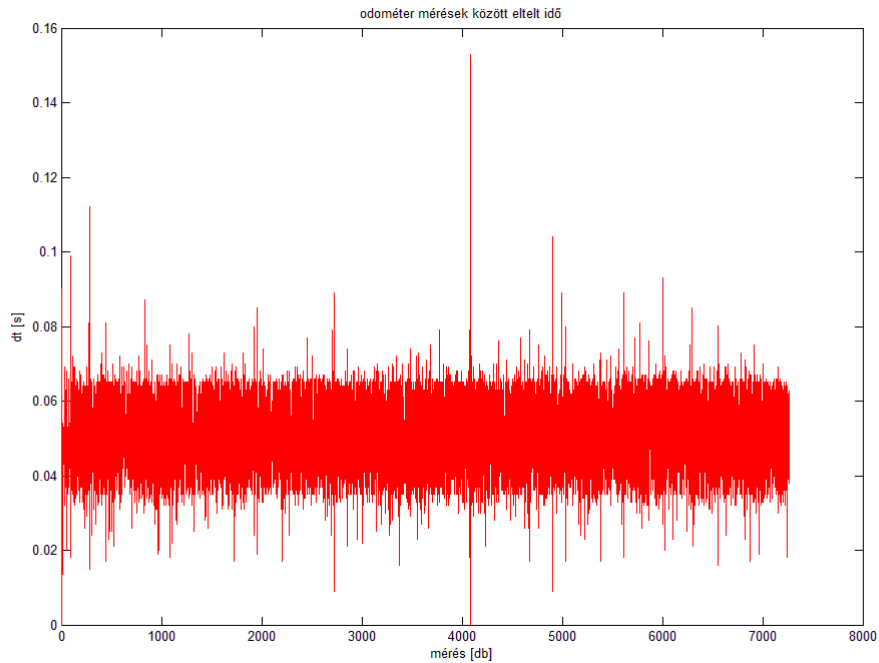
A 30-as folyosó feldolgozása után a megállás nélküli mozgás az alábbi út - idő grafikonon is jól látható (22. ábra).



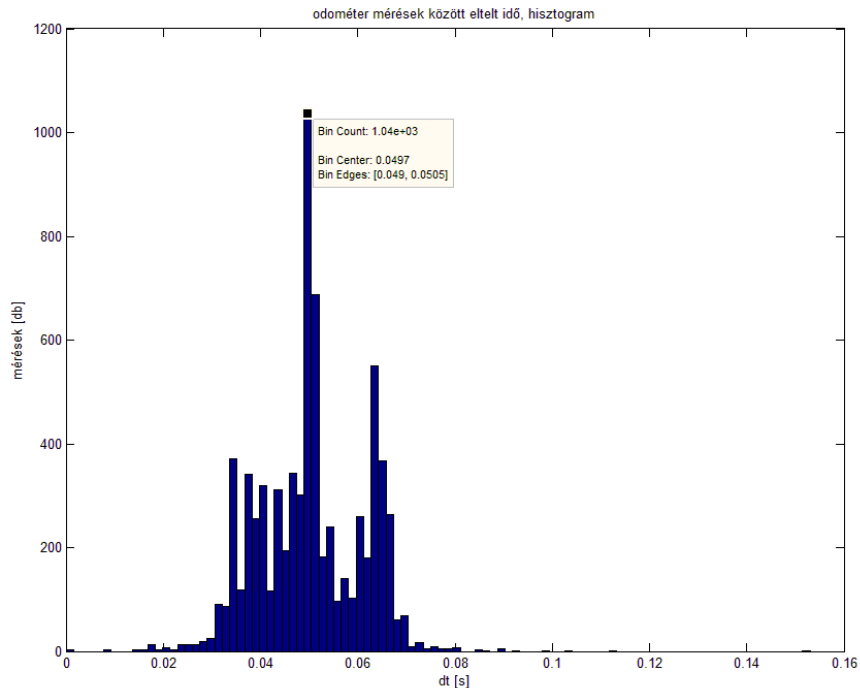
22. ábra A 30-as folyosó út-idő görbéje

A második mérés során a kocsi 73,05 métert tett meg 335 másodperc alatt, tehát az átlagos sebessége 21,81 cm/s volt. A szenzor a kerék középpontjától számítva körülbelül 3,5 centiméterre helyezkedett el, tehát a kerék szenzor által megfigyelt része körülbelül 14,4 cm/s átlagsebességgel forgott. A szenzor mérőfrekvenciája az Arduino Uno scriptje szerint 20 Hz volt, de a Matlab időbélyegei szerint az egyes mérések közt eltelt idő nem konstans 50 milliszekundumos érték volt. Ez valószínűleg az Arduino Uno és a laptop kapcsolatát megteremtő port késleltetéséből adódott. Az időbélyegeket vizsgálatnak vettem alá. Az egyes mérések időpontjai közt eltelt idő ( $dt$ ) a következőképp alakult. A  $dt$  értékek a kívánt 50 milliszekundum körül oszcilláltak. Az elvégzett statisztikai számítások a mérések közt eltelt időintervallumokra a következő eredményeket hozták a második mérés esetében: az átlagos  $dt$

érték 50,2 milliszekundumra adódott, az időintervallumok szórása 10,7 milliszekundum volt, a móduszuk pedig 49 milliszekundum. A mérések további feldolgozásánál a kívánt 20 Hz-es mérési frekvenciától való eltéréseket figyelembe vettem, ezt a diplomamunkámban részletesen be fogom mutatni. Az alábbi két ábrán a mérések közti időintervallumok láthatók, az elsőn a mérések függvényében (23. ábra), a másodikon pedig egy hisztogramon (24. ábra.).



23. ábra Mérések közt eltelt idő ( $dt$ ) a mérések függvényében



24. ábra A mérések közt eltelt idő hisztogramja

## Összefoglalás

A mérőegység tehát sikeresen elkészült. Ehhez szükségesek voltak a próbamérések a Lego kisautóval, a mérőegység összeszerelésénél és első méréseinél nyert tapasztalatok. Az ezeket követő változtatások már egy jól használható odométerhez vezettek. A feldolgozott mérési eredmények jól mutatják, hogy a mérőegységen elhelyezett odométer segítségével jól meg lehet állapítani annak út-idő görbéjét. Ezáltal lehetőség nyílik arra, hogy a mérőegységen ugyancsak elhelyezésre került profilszkennerek méréseit, azok időbélyege alapján elhelyezzük a „térben” (időben). Ha ezt el tudjuk érni, akkor megkapjuk a folyosó 3D pontfelhőjét.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Barsi Árpádnak a mérőegység összeszerelésénél, a méréseknél, a feldolgozásnál, valamint e dolgozat elkészítésénél nyújtott segítségével. Köszönettel tartozom még Ujvári Istvánnak, a mérőegység

összeszerelésénél nyújtott segítségéért. Valamint meg szeretném köszönni a próba konfiguráció Lego-autójának összeszerelését Barsi Márknak.

## Felhasznált irodalom

[1] Dr. Barsi Árpád – Dr. Lovas Tamás – Siegler Ádám – Dr. Schuchmann Gábor, Intelligens közlekedési rendszerek és járműnavigáció, Oktatási segédlet

[2] [http://rs1.sze.hu/~szauter/tetelek/041\\_TETEL.pdf](http://rs1.sze.hu/~szauter/tetelek/041_TETEL.pdf)

[3] Dr. Lovas Tamás – Dr. Berényi Attila – Dr. Barsi Árpád, Lézerszkennelés, Monográfia

[4] Dr. Pordán Mihály, Kerékfordulatszám-érzékelők a műhelygyakorlatban, <http://autotechnika.hu/uploads/files/archiv/2005/04/44-45.pdf>

[5] Dr. Barsi Árpád, Integrált és mobil térképezés, Oktatási segédlet