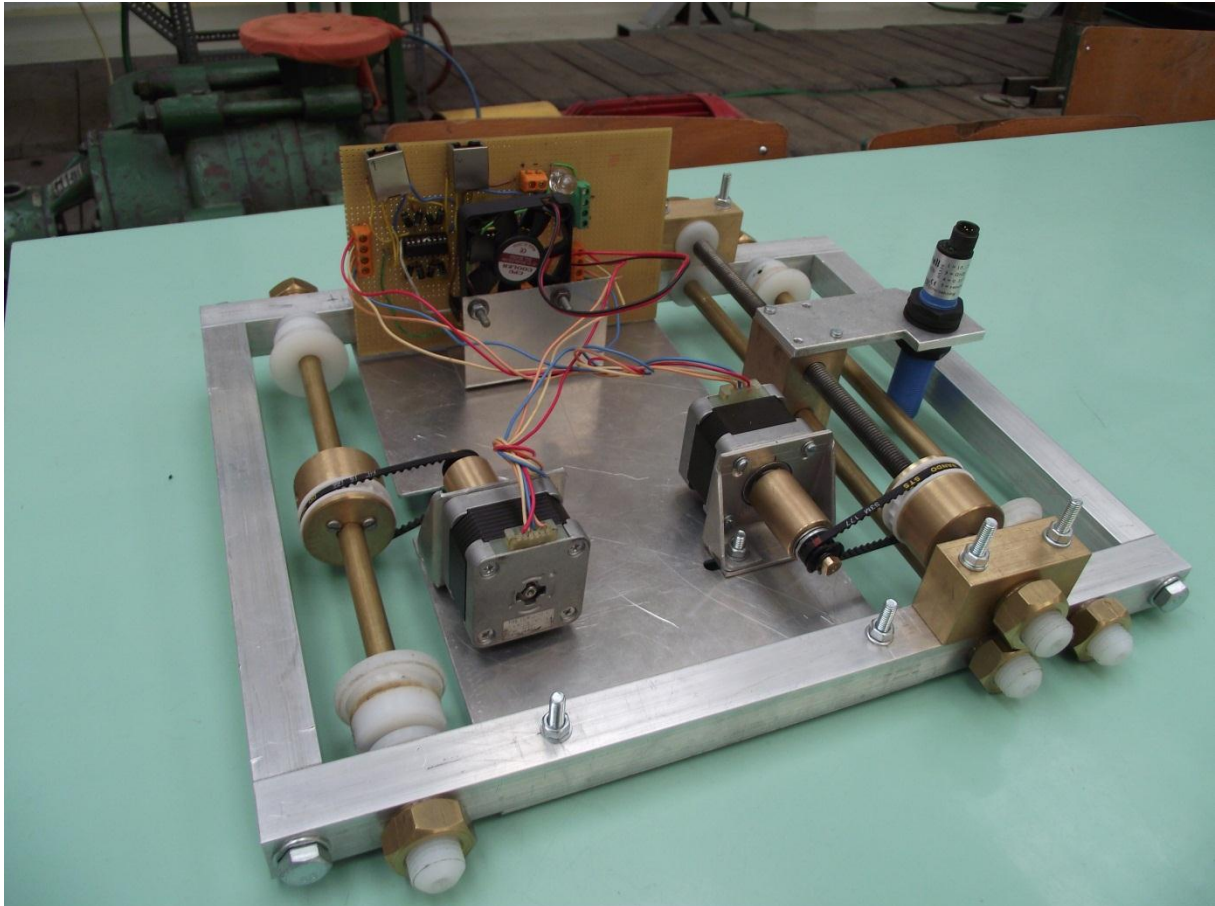


Ultrahangos felszínmérő eszköz tervezése, gyártása és vezérlése nyíltfelszínű csatornához

TDK dolgozat



Készítette: Haraszi Péter
BME Gépészmérnök hallgató, B.Sc., III. évf.
Konzulens: Bene József
BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, tudományos segédmunkatárs

Budapest

2012.

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás.....	2
Ábrák, képek és táblázatok jegyzéke.....	3
Absztrakt.....	4
A dolgozat felépítése.....	5
1. Bevezetés.....	6
1.1. Nyíltfelszínű áramlásokról ¹	6
1.2. Mérőkocsi alapkoncepciója.....	6
1.3. Motiváció.....	7
1.4. Kiindulás, követelmények.....	8
2. Tervezés.....	10
2.1. Alkatrészek, fizikai felépítés.....	10
2.1.1. Mérőfej.....	11
2.1.2. Keret és alaplemez.....	11
2.1.3. Tengely.....	12
2.1.4. Léptetőmotorok és hajtás.....	12
2.2. Elektronika.....	14
2.3. Program.....	19
3. Próbamérések és elemzésük.....	20
3.1. Csatorna kiürítés mérése.....	21
3.2. Hullámjelenség időbeli lefutásának mérése.....	22
3.3. Hosszirányú profilmérés tereptárggyal a csatornában.....	23
3.4. Tereptárgy mérése a csatorna keresztirányában.....	24
3.5. Vízu grás (1. mérés).....	25
3.6. Vízu grás (2. mérés) időbeli átlagolással.....	27
3.7. Mozgatás pontosságára vonatkozó teszt.....	29
4. Összefoglalás.....	30
5. Tovább lépési lehetőségek.....	31
6. Irodalomjegyzék.....	32
7. Mellékletek.....	33
8. CD melléklet.....	49

Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom írása alatt többektől kaptam segítséget, a következőkben őket szeretném megemlíteni.

Első sorban szeretném konzulensemnek, Bene Józsefnek megköszönni a kitartó segítséget, minden területen nyújtott támogatását, és ötleteit, valamint a ráfordított energiáját és idejét.

A laborban végzett munkámat Dr. Pandula Zoltán támogatta.

Emellett szeretném még megköszönni Dr. Hős Csaba konstruktív ötleteit és Farkas Bence kiértékelésben nyújtott segítségét.

A mérőberendezés fizikai megvalósítását a labor dolgozóinak köszönhetem.

Ábrák, képek és táblázatok jegyzéke

1. ábra Nyíltfelszínű csatorna vázlata ²	7
2. ábra Motorvezérlés	15
3. ábra Nyomtatott áramköri panel terve	16
4. ábra Csatornaürítés időbeli lefutása	21
5. ábra Hullámjelenség lefutása	23
6. ábra Hosszirányú profilmérés tereptárggyal a csatornában	24
7. ábra Tereptárgy mérése a csatorna keresztirányában.....	25
8. ábra Vízu grás (1. mérés)	26
9. ábra Vízu grás (2. mérés) időbeli átlagolással	27
10. ábra Vízu grás 1 mérési eredményei	29
1. kép A nyíltfelszínű csatorna.....	8
2. kép Sínpár	9
3. kép A mérőkocsi	10
4. kép Honeywell ultrahangos mérőfej	11
5. kép A mérőkocsi felülnézete	12
6. kép Hosszirányú hajtásrendszer	13
7. kép Orsómozgató hajtásrendszer.....	14
8. kép Nyomtatott áramköri panel elkészítve	17
9. kép Nyomtatott áramköri panel beültetve	18
10. kép Végleges nyomtatott áramköri panel.....	18
11. kép A vezérlőprogram felhasználói felülete	20
12. kép Vízu grás (2.mérés)	28
13. kép Vízu grás (2. mérés)	28
1. táblázat Méréshez használt eszközök adatai	20
2. táblázat Vízu grások tulajdonságai	25
3. táblázat Mozgatási pontosság mérése	30

Absztrakt

A nyíltfelszíni áramlások¹ észrevétlenül is igen fontos részét képezik az életünknek. Ilyen jelenség figyelhető meg természetes vizeinkben, például a folyókban is. Elég, ha csupán Szabadság-hídról a Dunára tekintünk, és máris láthatjuk a pillérek és a vízen úszó hajók körül kialakuló hullámjelenségeket és örvényeket.

A természet mellett az iparban is számos területen előfordul nyílt felszíni áramlás. Legyen szó akár csak egy egyszerű esővíz-elvezető csatornáról, egy térfogatáram-mérő műtárgyról, vagy akár egy nagyváros szennyvízelvezető csatornahálózatáról.

Könnyen belátható, hogy minél alaposabban megismerjük az ilyen áramlásokat, annál könnyebben, és pontosabban tervezhetjük a felmerülő ipari alkalmazásokat. A jelenségek megismerését segíti a BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék laboratóriumában található nyílt felszíni csatorna. Ehhez a csatornához terveztem egy olyan mérőberendezést, amely képes a csatornában kialakuló vízfelszínt mérni. Dolgozatomban ennek a mérőeszköznek a tervezését, gyártását, működését és a vele végzett méréseket mutatom be.

A mérőkocsi a csatorna tetején található sín páron, kerekeken gördülve mozog a csatorna hossza mentén. Az eszköz a rajta található mérőfejet képes a csatorna hossz tengelyére merőlegesen is pozícionálni, így a teljes vízfelszínt le tudja letapogatni. A mérőberendezés alapja egy ultrahangos mérőfej, ami a vízfelszín fejtől való távolságát méri. A mérőberendezés képes a csatorna felett egy pontban állva mérni a vízszint időbeli lefutását. Emellett alkalmas hossz- és keresztirányú vízfelszín profilmérésre is. A mérőkocsi felépítését én terveztem meg a kereskedelembe kapható, és a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék műhelyében elkészített, szintén általam tervezett alkatrészek felhasználásával. A mérőeszközt irányító elektronikát tartalmazó nyomtatott áramköri panelt ugyancsak én terveztem, gyártottam és szereltem össze. A mért adatokat feldolgozó és a kocsi mozgását koordináló számítógépes programot LabVIEW-t használva írtam meg.

A kész eszközt próbaméréseknek vetettem alá, így tesztelve a funkcióit és a mérés pontosságát. A próbamérések eredményeit összevetettem analitikus számítások eredményeivel, és értékeltem az általam tervezett mérőeszköz pontosságát.

¹ Hubert Chanson: (2010) The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Elsevier

A dolgozat felépítése

A 1. Bevezetés fejezetben le fogom írni a mérőkocsi tervezésének kiindulási körülményeit, a megépítést motiváló tényezőket. Kitérek a kezdetekkor már adott tényezőkre és az eszközzel szemben támasztott követelményekre, elvárásokra.

A 2. fejezet bemutatja a tervezés folyamatát a mérőeszköz elkészüléséig. Az egyes alfejezetek a különböző részegységek leírását, tervezésének menetét és az egységben betöltött szerepének leírását foglalják magukba.

Az 3. fejezetben bemutatom a mérőeszközzel végzett méréseket, és értékelem őket több szempontból. A mérések kiválasztása során törekedtem a mérőberendezés minden funkciójának használatára, és inkább betekintést adni a lehetőségekbe, mint teljes körű felsorolást adni az elvégezhető mérésekről.

A 4. fejezetben összegzem az elvégzett munkát, levonom a következtetéseket, és értékelem a mérőeszközt.

A 5. fejezet a továbbfejlesztési lehetőségeket taglalja. A tervezés és a mérések során felmerült újabb igények megvalósítását és a meglévő részegységek további finomítását írom le.

1. Bevezetés

A bevezetésben ismertetem a nyíltfelszínű csatornában végezhető méréseket, azok fontosságát, és felhasználásának területeit. Emellett bemutatom a mérőberendezés alapkonceptióját, valamint a vele megvalósítható méréseket.

1.1. Nyíltfelszínű áramlásokról¹

Nyílt csatornáknak nevezzük azokat a csatornákat, melyekben a folyadék áramlá közben nyitott felszín alakot. Ilyen csatornák például a természetes patakok és folyók. Mesterséges környezetben is találhatóak ilyen kialakítások, például esővíz és szennyvíz elvezető árkok. Az esetek túlnyomó többségében az áramló közeg víz, és a légkörre nyílik a csatorna, tehát a felszínre atmoszférikus nyomás hat.

A legfontosabb tényező a nyíltfelszínű áramlások elemzésekor a szabad felszín, mely nem ismert előre. A nyílt felszín alakja számos változótól függ, például a csatorna szélességének vagy lejtésének megváltozásától. A vizsgálat során figyelembe vett paraméterek több csoportba bonthatóak. Ezek a paramétercsoportok a következők: anyagjellemzők (pl. viszkozitás, sűrűség), geometriai adatok (pl. csatorna szélesség, lejtés, fal érdesség) és az áramlásra jellemző értékek (pl. vízállás, térfogatáram).

A nyíltfelszínű áramlások előfordulnak a mindennapi életben, gyakran találkozunk ilyennel mind mesterséges, mind természetes környezetünkben anélkül, hogy észrevennénk, vagy különösebb jelentőséget tulajdonítanánk egy ilyen jelenségnek. Elég csak a gyors folyású hegyi patakok rohanására és örvényeire, vagy a Niagara vízesés hatalmas víztömegére gondolni, ahol látványosan előtérbe kerülnek az áramlási jelenségek. Az ember kéz alkotta mérnöki megoldások közül néhány példát említve a teljesség igénye nélkül: erőművi hűtővíz hálózat, gátak túlfolyó rendszerei, szökőkutak, és az utak és vasút mellett megtalálható vízelvezető árkok is a nyílt felszínű áramlások kialakulásának helyei.

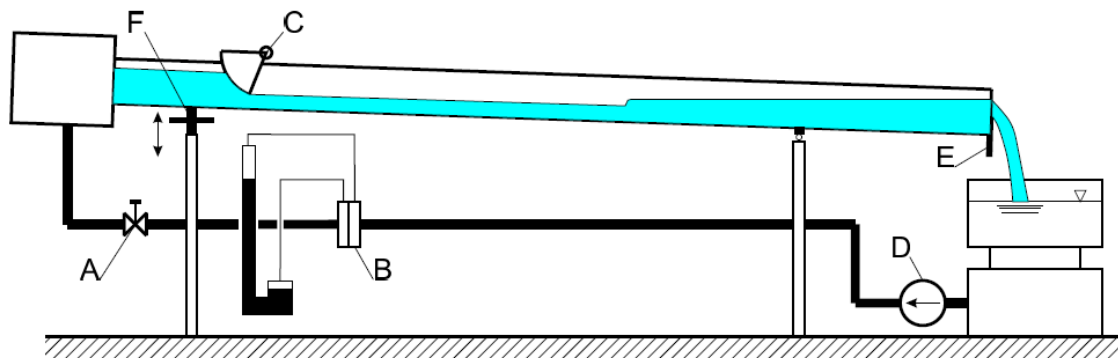
A nyílt felszínű áramlások igen széles méretskálán mozognak. A néhány centiméteres vízmélységű esővíz elvezetőtől a 10 méteres mélységű felduzzasztott folyóig. A térfogatáramok is több nagyságrendben térhetnek el egymástól. 0,001 l/s térfogatáramú öntözőtől a több, mint 10000 m³/s vizet szállító gát túlfolyó rendszerekig terjedő intervallumban bármilyen érték elfordulhat.

1.2. Mérőkocsi alapkonceptiója

A feladatom a nyíltfelszínű csatornában vizsgált áramlások vízfelszínének méréséhez egy berendezés tervezése és elkészítése. A mérőberendezést a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék laboratóriumában található nyíltfelszínű csatornához terveztem, melynek sematikus vázlata az 1. ábrán látható.

¹ Hubert Chanson: (2010) The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Elsevier

„A (D) jelű szivattyú keringeti a vizet, a térfogatáramot az (A) jelű pillangószeleppel állítjuk be és a (B) mérőperem segítségével mérhetjük. Az (F) orsóval a csatorna dőlését állíthatjuk be. A vízszinteket a (C) jelű alsókifolyású zsilippel és az (E) jelű bukógát segítségével állíthatjuk be.”²



1. ábra Nyíltfelszínű csatorna vázlata²

1.3. Motiváció

A mérőkocsi elkészítése előtt nem állt rendelkezésre automatizált mérőeszköz a csatornában. A méréseket eddig manuális módszerekkel, vonalzó, papírskala, és stopper segítségével végezték. Ezen módszerek alkalmazásával a mérés bizonytalansága, és hibái igen nagyok. A mérőkocsi alkalmazásával csökkennek a mérési hibák, és egyszerűbben elvégezhetőek a mérések. A mérések dokumentáltsága is javul köszönhetően a vezérlőprogram által készített fájloknak.

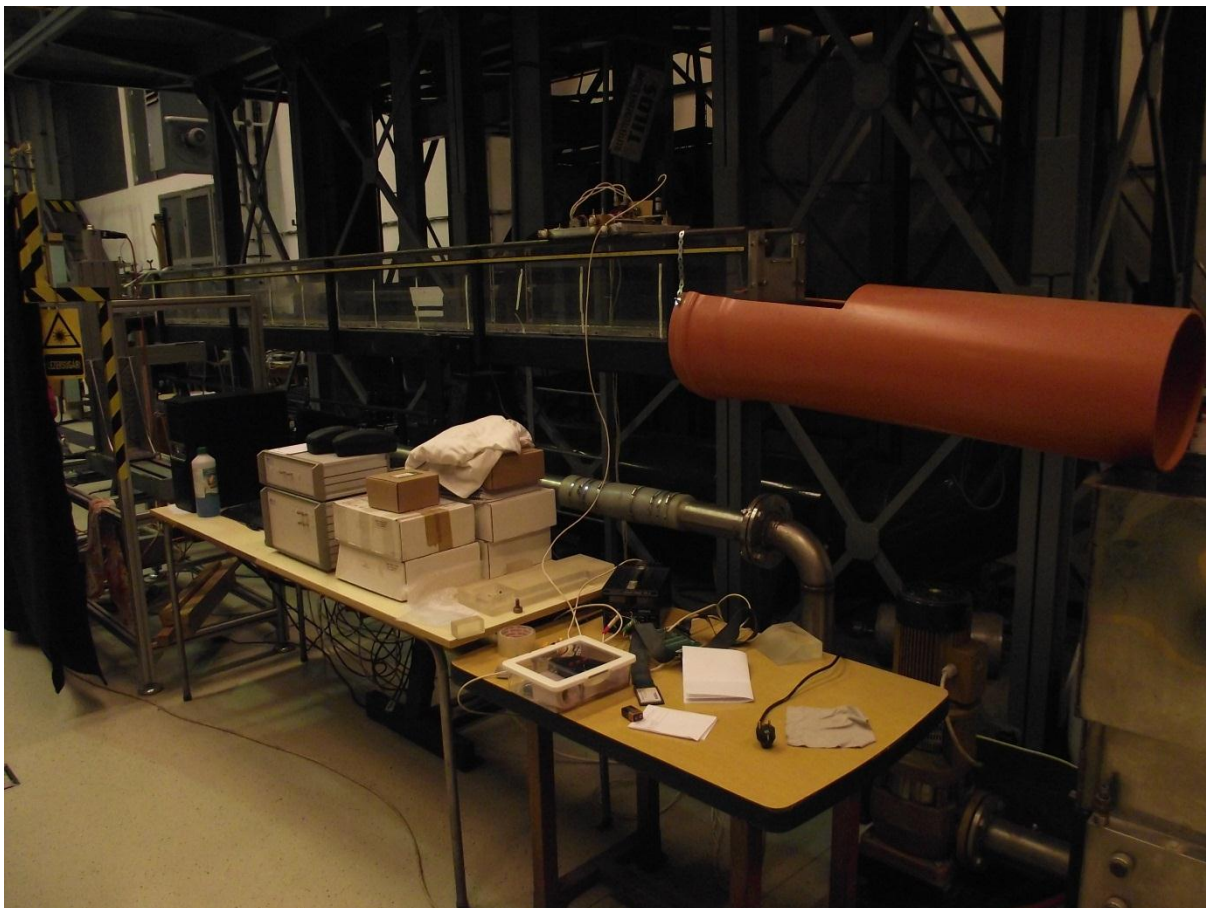
A munka megkezdése előtt rendelkezésre állt:

- A csatorna tetején futó sínpár
- Az ultrahangos távolságmérő műszer

A dolgozat készítése alatt elvégzett feladatok:

- Koncepció kidolgozása a követelmények és a céloknak megfelelően
- Kiskereskedelembe forgalmazott alkatrészek használatának lehetőségeit felmérni, majd az alkatrészekről információgyűjtés, kiválasztás és beszerzés
- A műhelyben gyártott alkatrészek tervezése
- A mérőeszközt vezérlő áramkör megtervezése, a felhasznált egységek kiválasztása, összehangolása
- A vezérlő áramkört tartalmazó nyomtatott áramköri panel megtervezése, gyártása és az áramköri elemek beültetése
- Az mérőberendezés teljes összeszerelése
- A vezérlő számítógépes program megírása, tesztelése
- Próbamérések végzése és értékelése
- Mérőberendezés dokumentálása, jelen TDK dolgozat műszaki dokumentációnak is tekinthető

² Nyíltfelszínű áramlások mérése, 6. ábra, BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/nyf_meres.pdf



1. kép A nyíltfelszínű csatorna

1.4. Kiindulás, követelmények

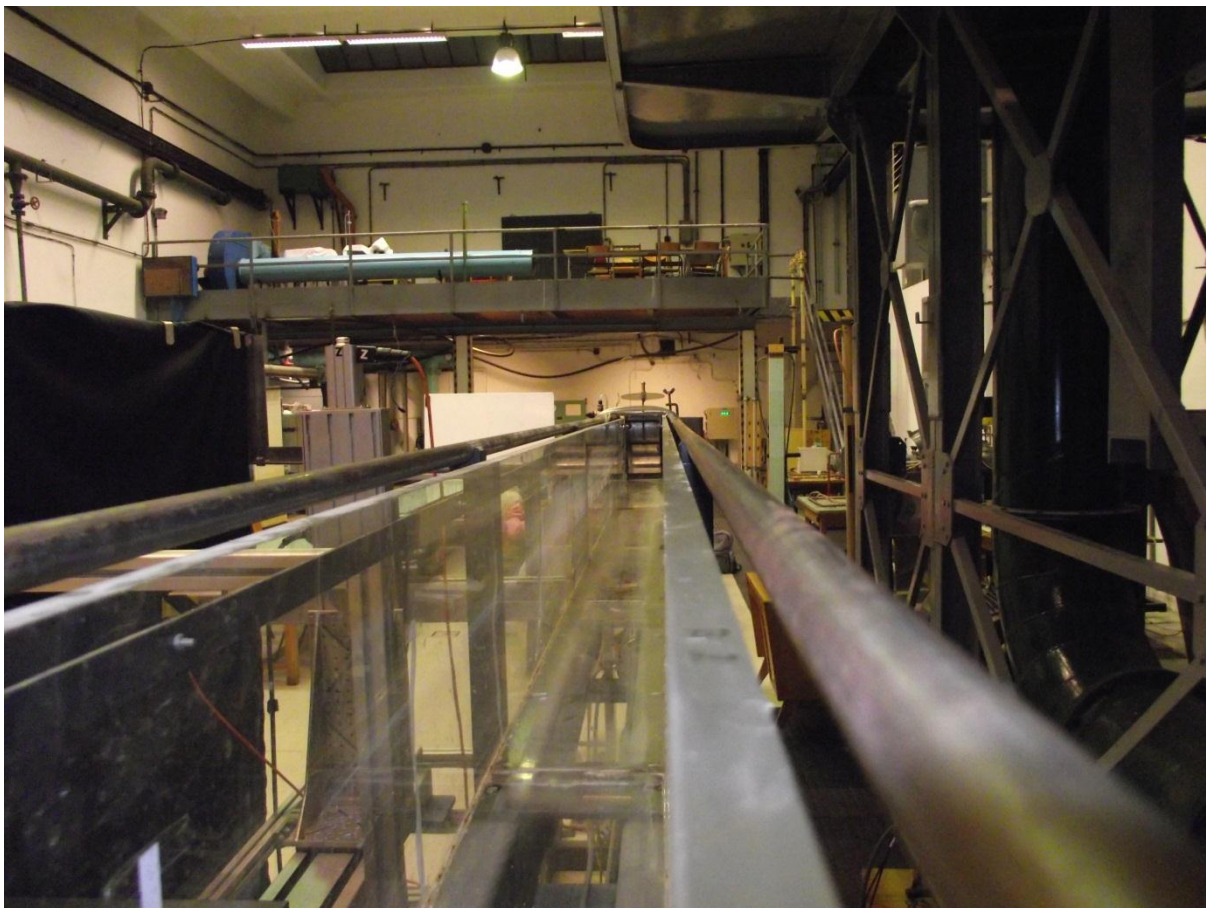
Már a tervezés során szükség volt a követelmények és elvárások megfogalmazására, a tervezés és gyártás során ezeket az elveket tartottam szem előtt.

Adottságok:

A csatorna felső részén már korábban kialakításra került egy sínpár, amit felhasználhatunk a mérőberendezés mozgatásához. Ez a sínpár $\varnothing 19$ mm-es kör keresztmetszetű rúdból áll, nyomtávja átlagosan 191 mm, azonban kissé változik (189,65 és 192,7 mm között), mely megnehezíti a leendő mérőberendezés mozgását.

A HDR Tanszék laborjában rendelkezésre állt egy Honeywell 943-F4V-2D-1C0-330E típusú ultrahangos távolságmérő eszköz. Ezt a távolságmérőt használtam fel a berendezés tervezésekor a vízfelszín letapogatására.

Az ultrahangos mérőegység által kibocsátott feszültségjelet egy National Instruments gyártmányú NI-6024E típusú mérőkártya segítségével dolgozom fel, és továbbítom a számítógépre. Ez a kártya képes analóg be, valamint digitális ki- és bemenetek kezelésére is.



2. kép Sín pár

Megfogalmazott követelmények:

Mérőberendezés tervezésekor az egyik, ha nem a legfontosabb szempont az elérhető legnagyobb mérési pontosság. A tervezés és gyártás során mindenhol törekedtem a pontosság növelésére, ezeket a törekvéseket az adott alkatrészek leírásánál fogom ismertetni.

A mérési tartománnyal kapcsolatban is állítottunk fel követelményeket. A csatorna több, mint 5 méteres hosszán és a lehető legnagyobb szélességében bárhol képes legyen a berendezés mérni. Még kiemelendő célkitűzés volt, hogy a csatorna végén található „gát” környezetében is lehetséges legyen a mérés. Alapvető elvárás volt, hogy a mérőberendezés az egész mérési tartományt számítógépen futtatott programból vezérelve, fizikai beavatkozás nélkül képes legyen elérni.

Számos célkitűzést foglaltunk meg a felhasznált alkatrészekre és a berendezés felépítésre vonatkozóan. Nagy hangsúlyt kapott a mérőkocsi moduláris felépítése. A tervezés során végig szem előtt tartottam az alkatrészek könnyű cserélhetőségét. Egy esetleges meghibásodás vagy későbbi továbbfejlesztés során szükséges lehet az alkatrészek cseréje. Fontos volt, hogy a beépítendő alkatrészek csakis 2 forrásból származzanak. Vagy kereskedelmi forgalomban beszerezhető, amennyiben lehetséges szabványos alkatrészeket használtam, vagy a HDR Tanszék műhelyében gyártható elemeket. A saját tervezésű alkatrészek esetében törekedtem a tanult géptervezési folyamat követésére, és a tekintettel voltam a műhelyben rendelkezésre álló szerszámokra és eszközökre. A könnyű szerelhetőség is követelmény volt, hogy az egyszerűbb javításokat bárki el tudja végezni, aki mérést végez az eszközzel. A tervezés alatt igyekeztem a költségeket alacsonyan

tartani, és a költséghatékonyságot maximalizálni. Az részegységeknek, és az egész mérőkocsi megfelel az alapvető biztonsági szabályoknak és elveknek.

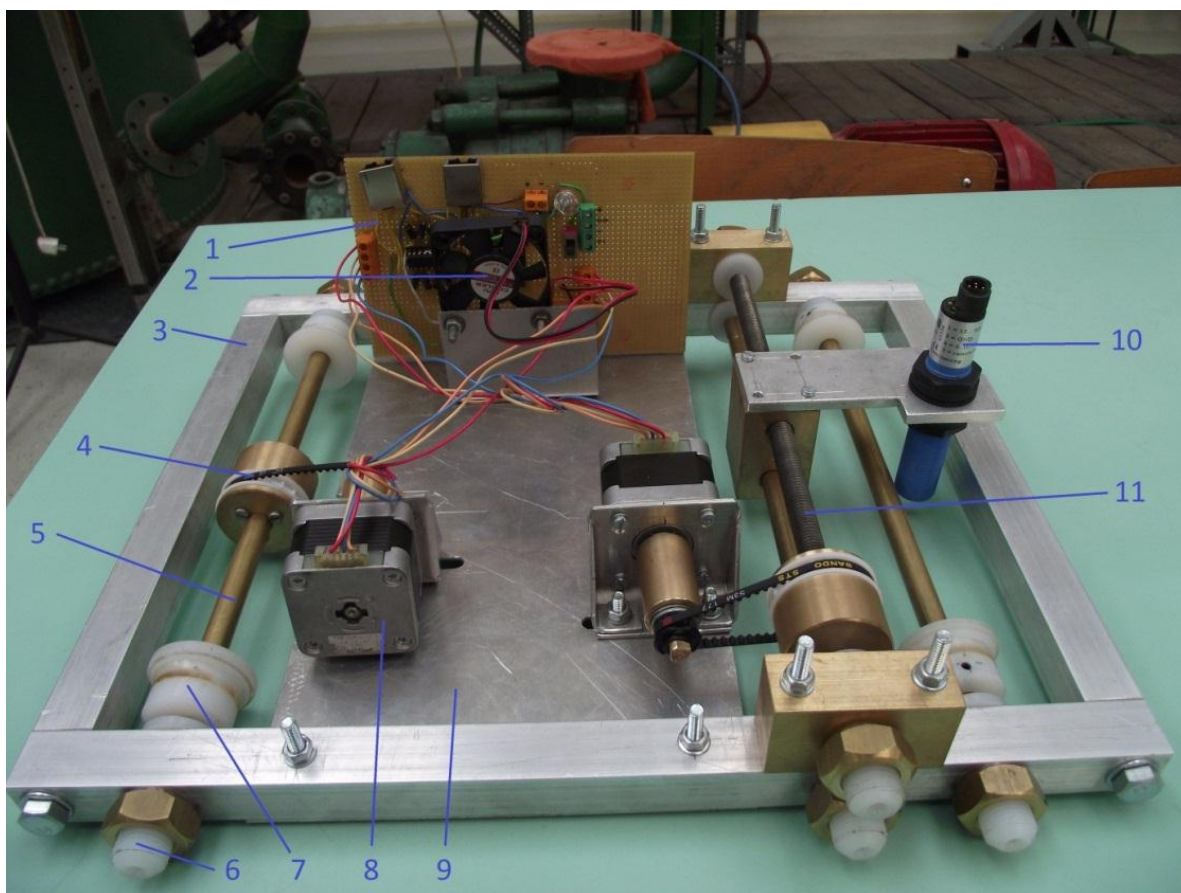
A tervezés kezdetén több felépítési mód közül választottam a követelményeknek megfelelően. A kiválasztott konstrukció egy mérőkocsi lett, ami a csatornán található sín páron, kereken gördülve mozog. A következő fejezetben ennek a mérőberendezésnek a tervezését mutatom be.

2. Tervezés

Ebben a fejezetben bemutatom a mérőkocsi alkatrészeit, elemeit, és a tervezés, valamint a gyártás folyamatát. Részletesen bemutatom a mérőkocsi egészének és részeinek működését és kapcsolatukat.

2.1. Alkatrészek, fizikai felépítés

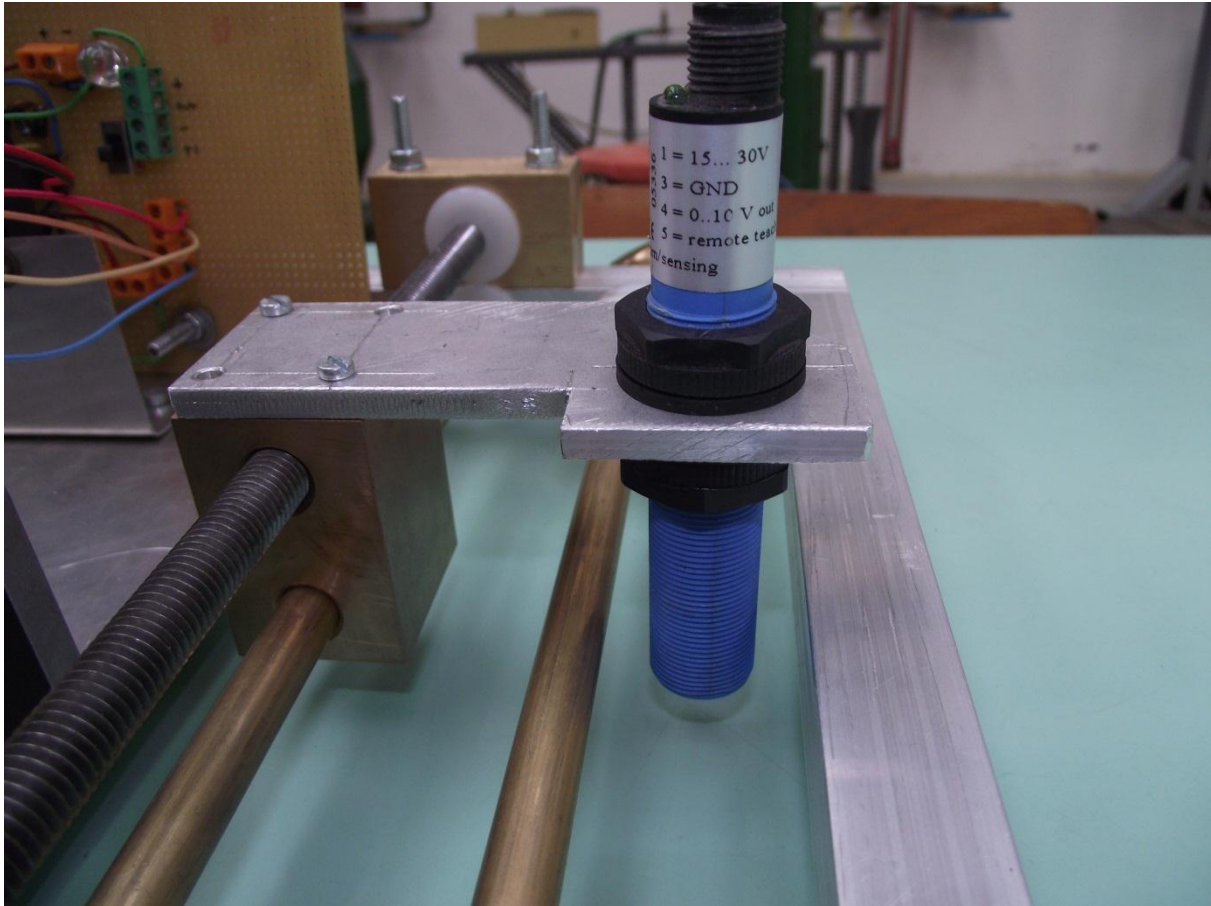
Ezen alfejezetben ismertetem a legyártott és kereskedelmi forgalomban vásárolt alkatrészeket. A mérőkocsi alapja egy alumínium profilból álló keret (1. kép 3. szám), amely biztosítja a kellő merevséget. A keretbe csatlakozik perselyek (6) segítségével a mérőkocsi 2 tengelye (5), melyből az egyik hajtott. A hajtást fogas szíj (4) segítségével valósítottam meg. A tengelyekre fixen van rögzítve a 4 műanyag kerék (7), melyek szilikon abronccsal vannak ellátva. A mérőfej egy menetes orsó (11) és egy vezető sín segítségével mozgatható. A kerethez csatlakozik egy alaplemez (9), melyhez rögzítve vannak a léptetőmotorok (8), és egy alumínium tartóeleme keresztül a nyomtatott áramköri panel (1) és a hűtőventilátor (2). A mérőkocsi összeállítási rajzát a 16. Melléklet tartalmazza.



3. kép A mérőkocsi

2.1.1. Mérőfej

A vízfelszín letapogatásához használandó ultrahangos mérőfej Honeywell gyártmányú, 943-F4V-2D-1C0-330E típusú szenzor.³ Ez a mérőeszköz 60 és 500 mm-es távolság között képes megfelelően mérni. A távolságmérő 2 kimenetén a mért távolsággal arányos feszültségjel mérhető. A mérőegységet „be kell tanítani”, ami azt jelenti, hogy a mérés elején megfelelő kimenetek földelésével eltárolja a mérendő minimális, és maximális távolságot a mérőfejtől. Ehhez a távolsághoz skálázza a kimeneti feszültségjelet, ami 0 és 10 V között lehet.

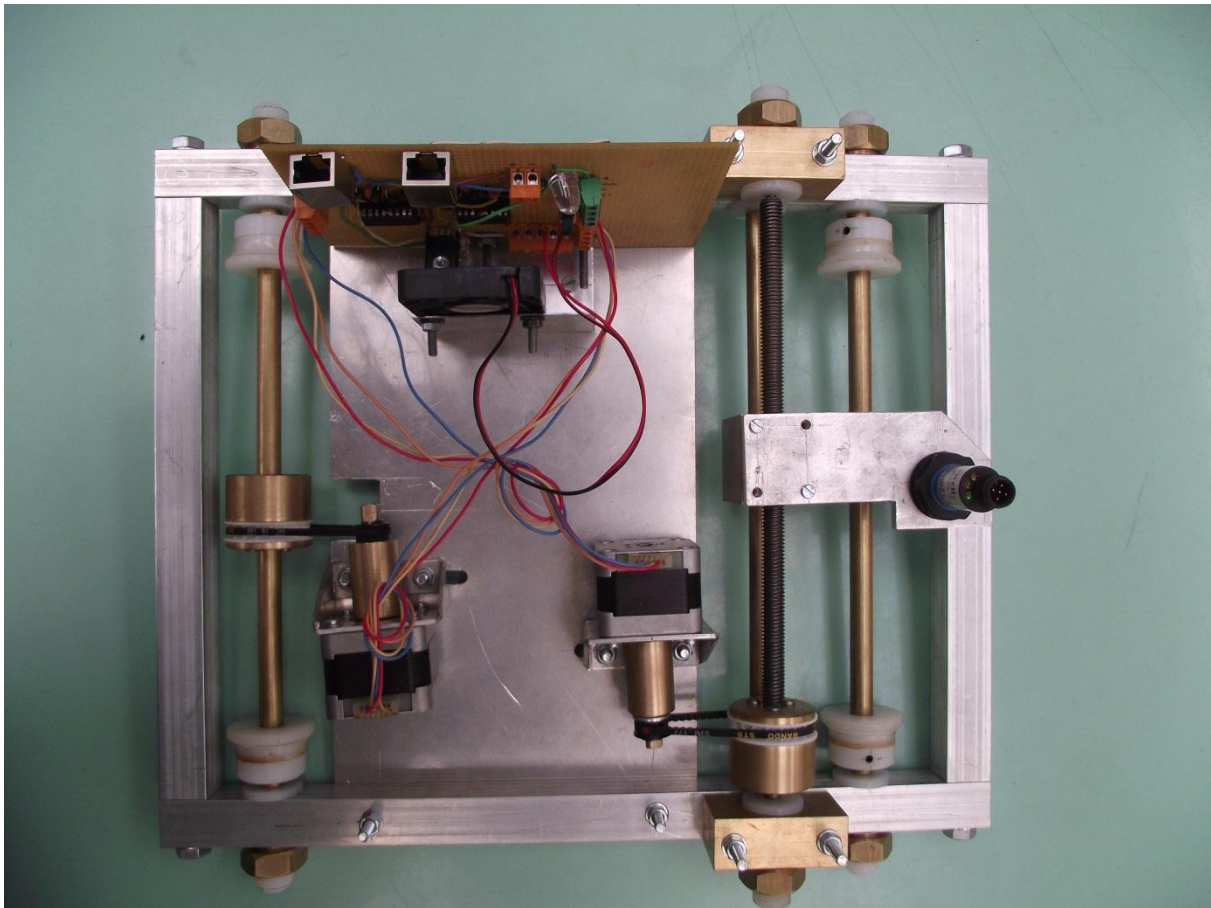


4. kép Honeywell ultrahangos mérőfej

2.1.2. Keret és alaplemez

A mérőberendezés alapját egy 20 mm oldalhosszúságú négyzet keresztmetszetű rudakból összeállított keret (13. és 14. melléklet) és az ehhez csatlakozó alaplemez (7. melléklet) adja. Ezek az alkatrészek csavarkötéssel kapcsolódnak. Ennek a kialakításnak több előnye is van. A csavarkötéssel szerelt alkatrészek könnyebben cserélhetők, illetve a mérőkocsi szét- és összeszerelése is egyszerűbb a kötés oldhatósága miatt. A hegesztett keretet a fenti okok, és a hőterhelés miatti esetleges deformáció miatt elvettem. Súlycsökkentés céljából mind a rudak, mind a lemez alumíniumból készültek; és szabványos, metrikus csavarokkal kapcsolódnak. Az ilyen módon kialakított keret a hordozója minden fontosabb alkatrésznek.

³ Installation Instructions, Honeywell, http://sensing.honeywell.com/pk104142_10_0104.pdf



5. kép A mérőkocsi felülnézete

2.1.3. Tengely

A keretbe fúrt furatokba illeszkednek a perselyek (12. melléklet), melyekben forognak a tengelyek (1. melléklet). A persely anyaga bonamid, és a végükön metrikus menet került kialakításra. A perselyeket a belső oldalról egy váll, a külső oldalról pedig egy anya rögzíti a kerethez. A perselyben forgó réz tengelyekre a kereteken belül hernyócsavarral vannak rögzítve a szintén bonamidból készült kerekek (5. melléklet). Haladás közben a tengely forog a perselyben, ez indokolta a bonamid-réz anyagpárosítást. A kerekek jobb tapadása érdekében szilikonból készült abroncsok kerültek rájuk, melyet kereskedelmi forgalomban kapható szilikongumi csőből levágva készítettem el.

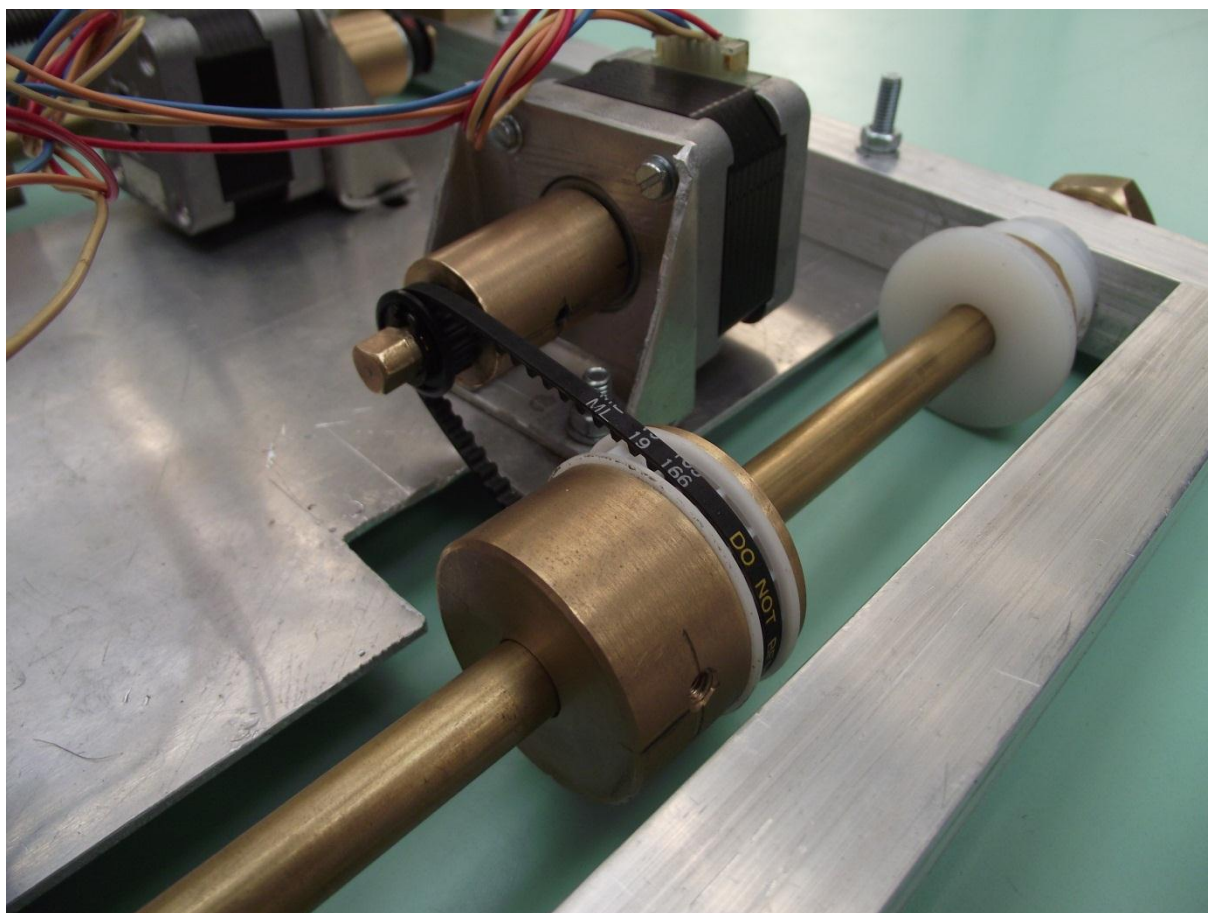
2.1.4. Léptetőmotorok és hajtás

A mérőberendezést a csatorna mentén egy Sanyo-Denki gyártmányú 103H5205-5140 típusú⁴ léptetőmotor mozgatja. Ez a típusú motor kiskereskedelmi forgalomban is könnyen beszerezhető, így a későbbiekben is lehetséges cserélni. A léptetőmotor legfontosabb tulajdonsága, hogy a tengelye 1,8°-os lépésekben forgatható a megfelelő vezérléssel, tehát egy fordulat 200 lépésre van osztva. Az állandó mágnesű, megfelelő kiképzésű forgórész egy 2 tekercsel ellátott állórészben forog. A tekercsek kivezetéseire egyenáramot kötünk, melynek polaritását megfelelően változtatjuk. A 2 tekercsen folyó áramok összesen 4 féle mágneses teret hozhatnak létre az állórész belsejében. A 4 lehetséges állapotot megfelelő sorrendben váltogatva forgatható a motor.

⁴ Sanyo-Denki, Sanmotion 2-phase stepping systems:
<http://www.sanyo-denki.com/Data/Servo/catalogs/F2.pdf>

Ezzel a megoldással nagyon precízen tudjuk az adott pozícióba állítani és ott tartani a mérőberendezést. A motor az alaplemezhez van rögzítve, és fogasszíj hajtással hajtja a mérőberendezés hátsó tengelyét. A fogasszíj-hajtás kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy alakzáró nyomatékátvitelt valósít meg.

Az alakzáró hajtásnál nincs csúszás, tehát a valódi, gyakorlatban tapasztalt áttétel megegyezik az elméleti áttétellel. A motor tengelyére egy közvetítőelemen (8. melléklet) keresztül csatlakozik a fogasszíj tárcsája. A motor hátsó tengelyének közepén szintén egy közvetítőelem (6. melléklet) segítségével csatlakozik a másik szíjtárcsa. A szíjtárcsák és a fogas szíj távirányítós RC autóhoz készültek. Szintén könnyen beszerezhető alkatrészek, és elég nagy precizitással készülnek, sokkal nagyobb teljesítményre, mint ami mérőkocsi hajtásához szükséges, tehát használatuk üzembiztos.



6. kép Hosszirányú hajtásrendszer

Az ultrahangos mérőegységet a mérőkocsin egy menetes orsóból (10. és 11. melléklet), és vezetősínből álló rendszer mozgatja a csatorna hosszára merőleges síkban. A menetes orsót ugyanúgy hajtja egy léptetőmotor, ahogy a mérőkocsi hajtott tengelyét, teljesen azonos alkatrészekből épül fel ez a hajtás is.

A léptetőmotor $1,8^\circ$ -ként képes lépni, tehát egy fordulatot 200 lépésből tesz meg. Ezek alapján számítható az egy lépésre megtett távolság.

Hosszirányú lépéstávolság (a motor 1 lépésre a mérőkocsi ekkora utat tesz meg):

$$l_{hossz} = \frac{K * i}{200} = \frac{D * \pi * i}{200} = \frac{28,8 * \pi * \frac{16}{36}}{200} = 0,201 [mm]$$

Ahol:

$D=28,8$ [mm] a kerékátmérő

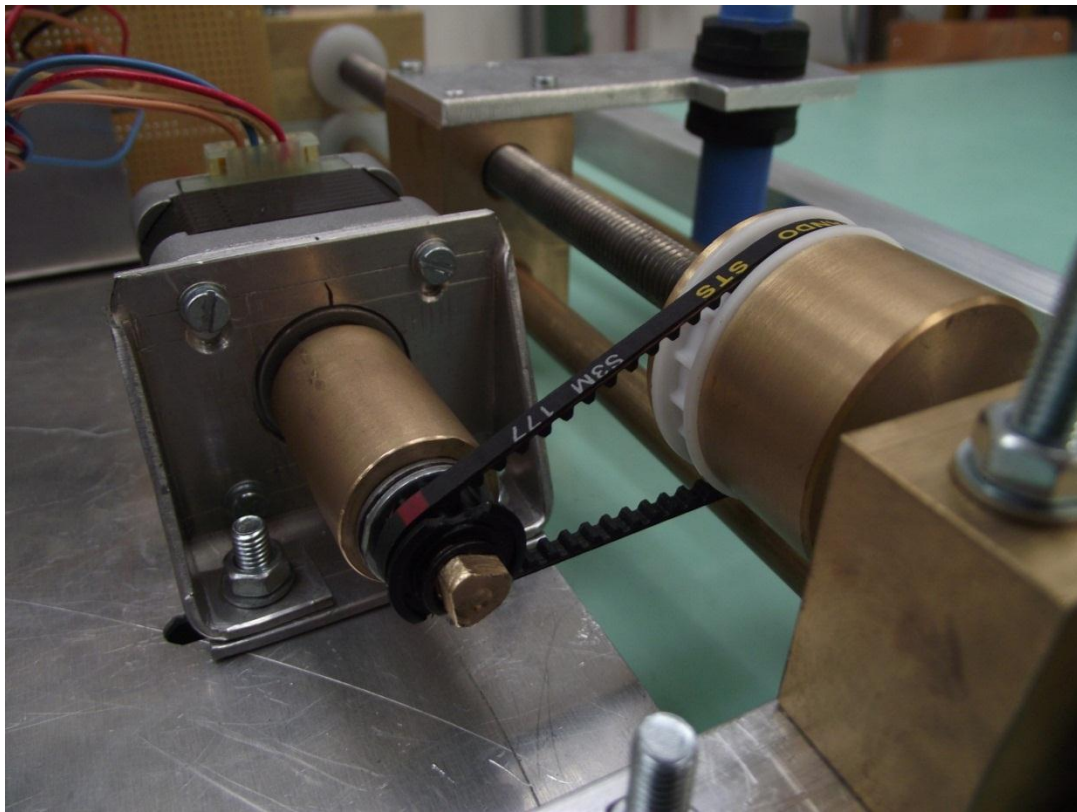
$i = \frac{16}{36}$ [-] a fogasszík áttétel

Keresztirányú lépéstávolság:

$$l_{kereszt} = \frac{P * i}{200} = \frac{1 * \frac{16}{36}}{200} = 0,0022 [mm]$$

Ahol:

$P=1$ [mm] az orsó menetemelkedése



7. kép Orsómozgató hajtásrendszer

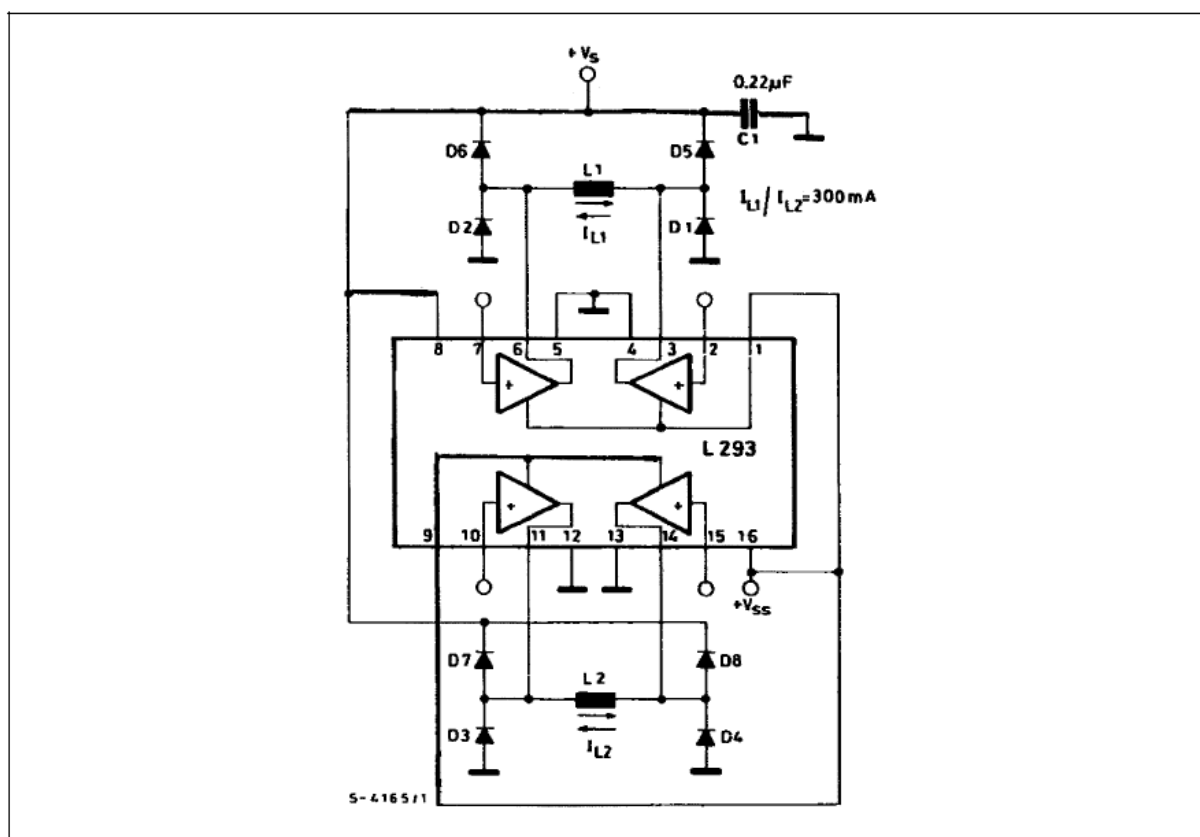
2.2. Elektronika

Ebben az alfejezetben tárgyalom részletesen az elektronika tervezését, felépítését, gyártását és működését, mely az előzőekben leírt mérőkocsi vezérlését valósítja meg.

A mérőkocsi funkcióit nem lehet közvetlenül a számítógépről elérni, ezért szükség van egy, a kocsihoz szerelt elektromos panelra. Az itt található kapcsolást az alkatrészek katalógusainak felhasználásával

terveztem. Az áramkör egyik legfontosabb funkciója a léptetőmotorok vezérlése. A számítógépről a mérőkártyán keresztül logikai jelek érkeznek a panelra. Motoronként 4 darab egymáshoz képest meghatározott fázisban lévő négyszögjel irányítja a motorokat. Ezek a jelek logikai jelek, tehát 5 V feszültségűek, és nagyon kis áramerősségűek. A motornak 24V feszültségre, és fázisonként 0,5 A áramerősségre van szüksége. A logikai jelekből motoronként egy darab L293B típusú motorvezérlő integrált áramköri elem állít elő megfelelő feszültségű és erősségű áramot. A motorok meghajtásához a katalógusban⁵ található kapcsolást valósítottam meg kisebb módosításokkal.

Ehhez szükség volt egy egyenirányítóból álló híd-kapcsolásra, és 2 darab nagy sebességű kerámiakondenzátorra. Az IC egyenértékű 4 darab műveleti erősítővel, de az L293B használatával sokkal átláthatóbb, logikusabb áramkör építhető, mint különálló erősítővel, vagy tranzisztorokkal, illetve FET-ekkel. Ezzel a módszerrel helyet takarítunk meg, és kevesebb a forrasztási pont. A motorvezérlő IC működés közben felmelegszik, ezért a katalógusa is ajánlja (passzív) hűtés alkalmazását. Kereskedelmi forgalomban nem kapható ehhez a típusú tokozáshoz hűtőborda, ezért én aktív hűtést alkalmaztam, egy számítógép processzorhűtő ventilátorát helyeztem a vezérlő IC-k mellé.

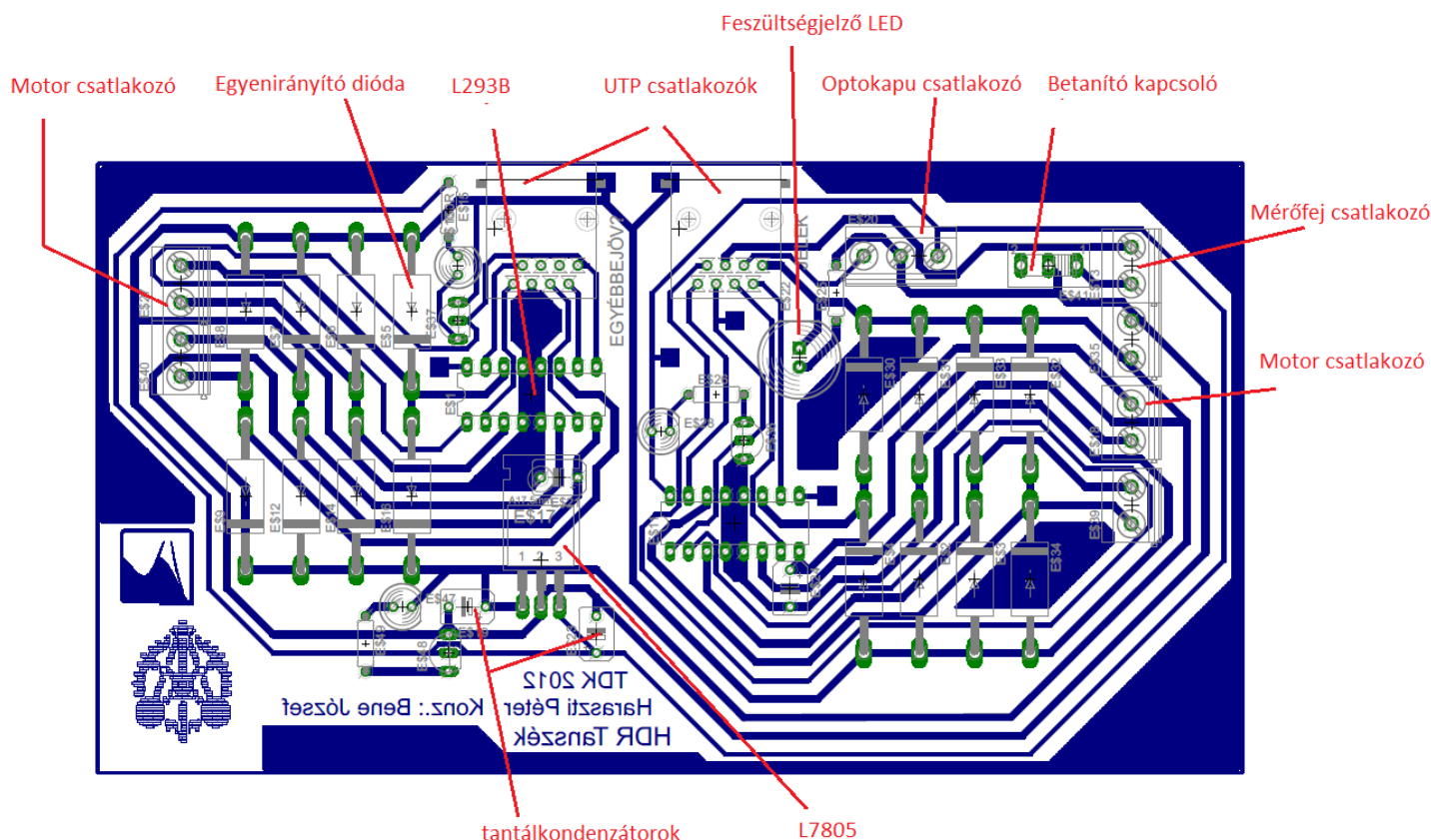


2. ábra Motorvezérlés⁵

A 2. ábrán látható kapcsolásnál a motort vezérlő jelek az IC 2, 7, 10, 15 lábán érkeznek a panelra. Az L1 és L2 jelzi a motor tekercseit.

⁵ L293B datasheet, ST Microelectronics

http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000058.pdf



3. ábra Nyomtatott áramköri panel terve

Az L293B IC-nek szüksége van logikai tápfeszültségre, tehát egyik lábára +5 V feszültségű áramforrást kell kötni. Használható lenne külső tápegység, de az eggyel több vezetékkel járna, és több helyet igényelne. Az áramkörbe beépítésre került egy L7805 típusú feszültség szabályozó és stabilizáló IC. Ez az áramköri elem képes a panelon elvezetett, a motoroknak szükséges +24 V-os feszültségből stabilizált +5 V-ot előállítani. A 7805 IC hűtését egy megfelelő méretű hűtőbordával biztosítottam. A katalógus ajánlása alapján az IC be- és kimeneti pozitív feszültségű ágai és a földelés közé 1-1 tantálkondenzátort iktattam be. Ezek feladata a feszültségek zajszűrése, stabilizálása, és az áramkör védelme.

Az elektromos panel és a mérőkártya közötti kommunikációt UTP kábelen keresztül valósítottam meg. A kábel a mérőkártyára csavaros csatlakozóval van rögzítve, a panelra pedig az eredeti csatlakozón keresztül kapcsolódik. Azért esett a választás az UTP kábelre, mert egy kábelben belül 8 eret tartalmaz, így 2 kábellel biztosítható a kommunikáció. Felmerült, hogy a szalagkábelt is alkalmazható lenne, de az UTP kábel egyszerűbben kezelhető és mozgatható. A tápellátást egy másik 2 eres, nagyobb átmérőjű rézkábellel biztosítottam. A panelhoz a többi be- és kimenő vezeték csavaros csatlakozóval rögzül, így megkönnyítve a szerelést.

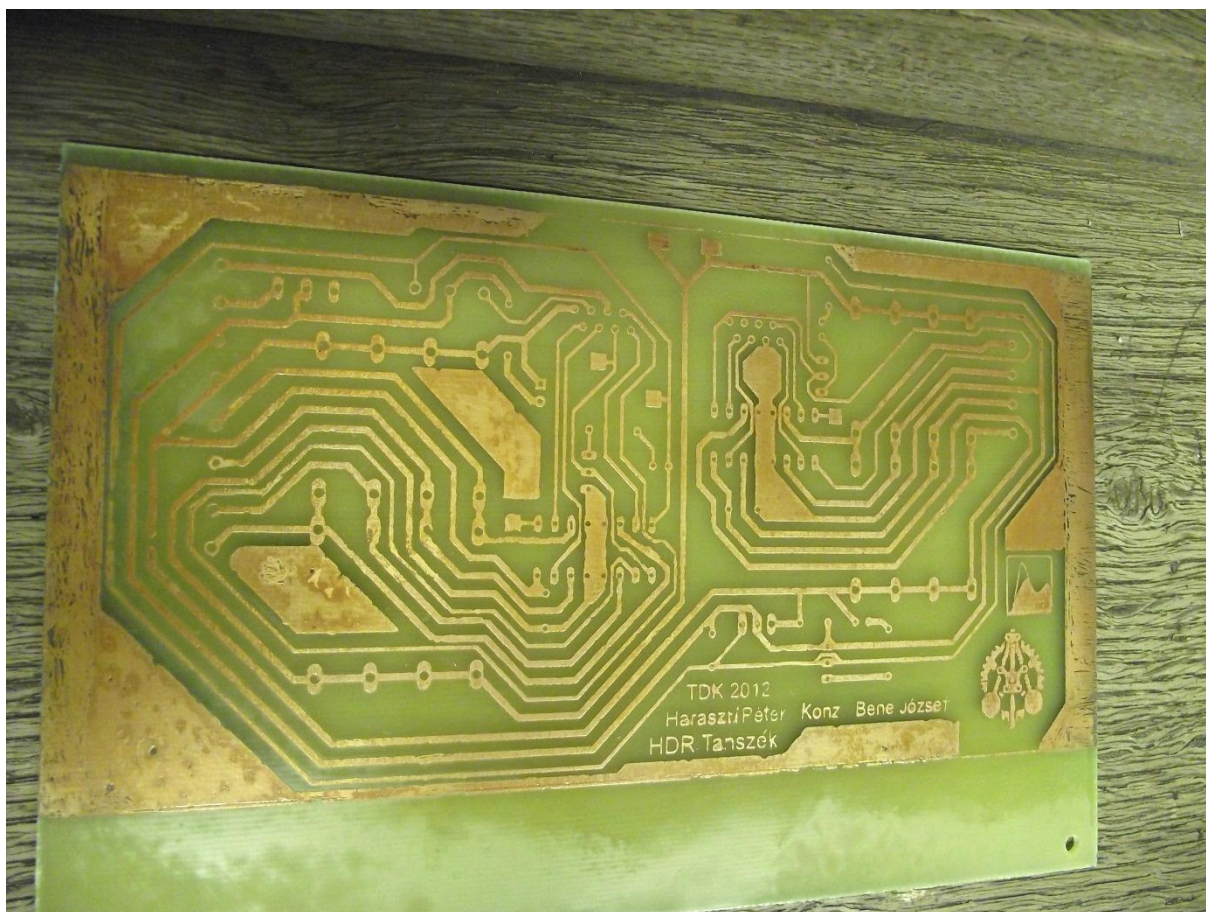
Az egyes funkciók könnyebb ellenőrizhetősége miatt a nyákra helyeztem 4 darab nagyfényerejű LED-et is. Ebből egy piros színű jelzi, hogy a panel feszültség alatt van. A maradék 3 darab sárga színű LED a feszültség szabályozó és a motorvezérlő IC-k működését jelzi. Ezek beépítésével növeltem a biztonságot és könnyítettem a hibakeresést.

A véglegesnek szánt áramkört egy nyomtatott áramkörrel valósítottam meg. Ez a módszer átláthatóbb letisztultabb áramköri panelt eredményez, és kevesebb a forrasztási pont. A NYÁK-ot az Eagle program 5.11-es verziójú próbaverziójával terveztem.

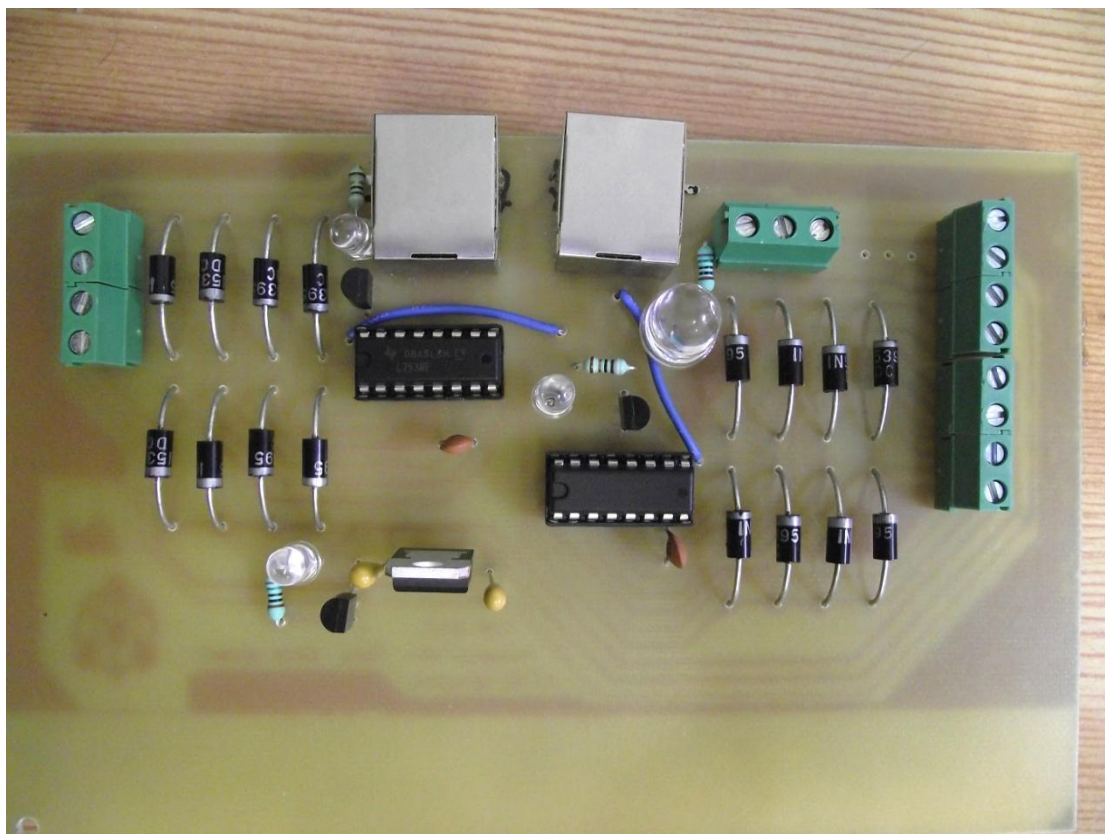
Az áramkört egy nyers panelből készítettem lézernyomtató és FeCl₃-alapú gyorsmarató segítségével. Az elkészült panelt nyákvédő lakk-kal kezeltem, ez segíti a forrasztást, és védi a rézfóliát a későbbi korróziótól. Ezután elvégeztem az áramköri elemek beültetését és beforrasztását. Az L293B IC-hez foglalatot is használtam az IC-k könnyebb cserélhetőségének érdekében, és hogy elkerüljem az IC nagy hő terheléssel járó közvetlen beforrasztását.

A nyákon kialakításra került egy optokapu csatlakoztatási pont. Ez egy továbbfejlesztési lehetőség, amit egy későbbi fejezetben részletesen bemutatok.

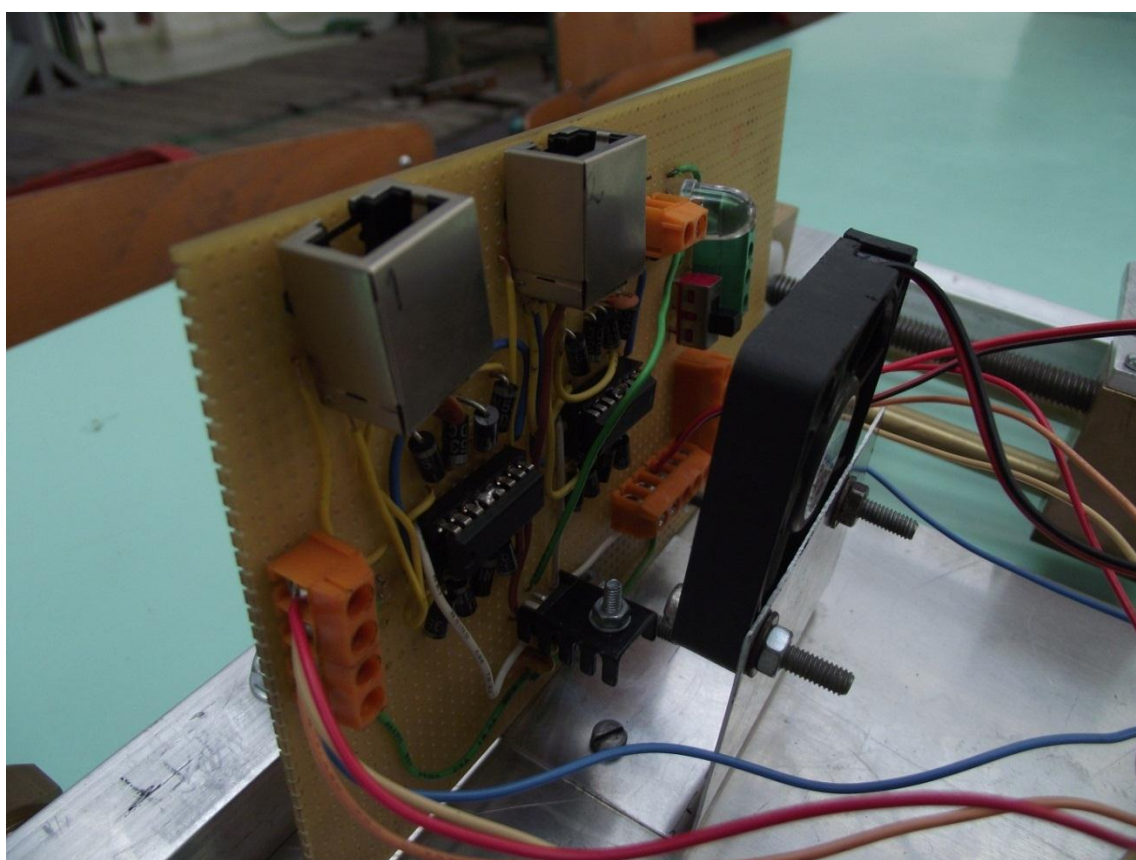
Az általam mart nyomtatott áramköri panelről a tesztelés során bebizonyosodott, hogy nem képes akkora teljesítmény átvitelére, amennyi a léptetőmotorok igényelnek. Ez valószínűleg a házi nyomtatott áramkör marási technikai hiányosságaiból adódik. Bár terheletlenül (a kocsit „hátra fordítva”) a nyomtatott áramkör tökéletesen ellátta funkcióit, a kocsit meghajtani már nem volt képes, lépésvesztés következett be. Ezért a végleges, mérőkocsira kerülő áramkört univerzális nyák és vezetékek segítségével készítettem el, ez látható a 10. képen.



8. kép Nyomtatott áramköri panel elkészítve



9. kép Nyomatott áramköri panel beültetve



10. kép Végleges nyomtatott áramköri panel

2.3. Program

A mérőkocsi számítógépről történő vezérlését először Matlab program alól terveztem megvalósítani. Az első kísérleti áramkörnél azonban felmerült egy probléma a Matlab-bal kapcsolatban. A léptetőmotor vezérlése működött, azonban túl kicsi fordulatszámra volt képes a program miatt. A programnak olyan sok ideig tartott a motorokat vezérlő négyzögjeleket a mérőkártyán keresztül kiadni, hogy a több, mint öt méter hosszú csatornán 6-7 perc alatt ért volna végig a mérőkocsi. Ezt túl lassúnak ítélttem, ezért áttértem Labview-ra. A Labview is a National Instrumental terméke, ahogy a mérőkártya is, így gördülékenyebb volt a vezérlőprogram megvalósítása.

A program írásának kezdetén a következők voltak a kitűzött célok:

- A program képes legyen a két léptetőmotort egymástól függetlenül vezérelni mindkét forgásirányba.
- A léptetőmotorok lépésszámából képes legyen az ultrahangos mérőegység pozícióját folyamatosan nyomon követni
- A Honeywell ultrahangos egység által kiadott feszültség értékeket beolvassa, grafikonon kijelezze és tárolja az ultrahangos egység pozíciójával együtt.
- A korábbi mérésekből származó fájlokat beolvasni és grafikonon megjeleníteni.
- A mérés végeztével az utolsó pozíciót egy, a mérési adatoktól független fájlban tárolja, majd a program következő elindításakor ezt beolvassa jól ismerje fel a mérőkocsi helyzetét. Legyen lehetőség ugyanakkor a pozíció újrakalibrálására is.

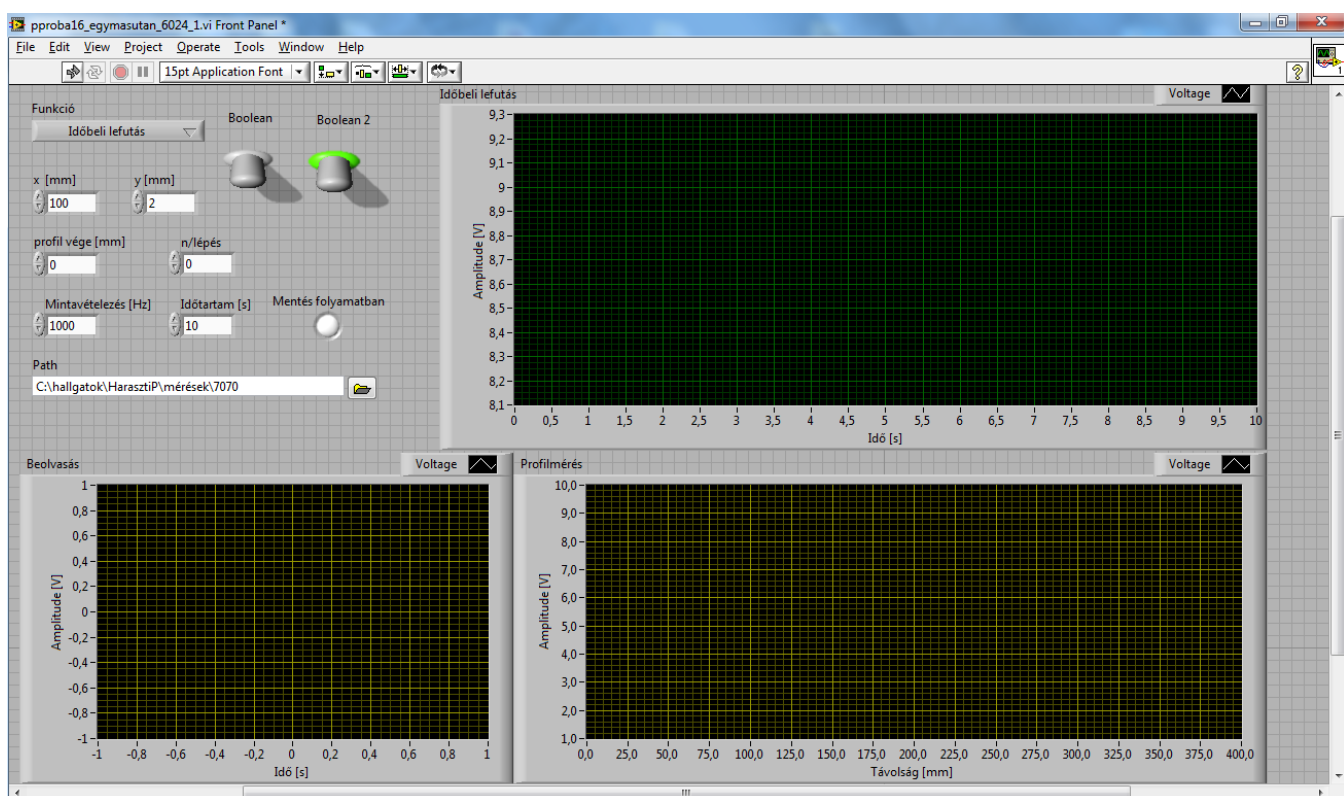
A mérőkocsit a számítógéphez csatlakoztatott mérőkártyán keresztül vezérli a számítógépen írt saját program. A mérőkártya és a nyák közötti kommunikációt UTP kábelén keresztül valósítottam meg, annak kis helyigénye (8 ér egy vékony kábelben) és könnyű csatlakoztathatósága miatt.

A mérési feladathoz alkalmazkodva a program különböző funkciói használhatók:

- Időbeli lefutás: A mérőkocsit egy megadható pontba állítja, majd megadott ideig, és frekvenciával méri a vízfelszín időbeli változását.
- Hosszirányú profilmérés: A mérőeszközt egy tetszőleges kezdőpontba állítja, majd a csatorna hosszirányában megadott hosszúságú útvonalon méri a vízfelszín hely szerinti magasságát. A programban beállítható, hogy egy lépésre, azaz egy pontban hány mérést végezzen.
- Keresztirányú profilmérés: Hasonló a hosszirányú méréshez, azonban ezzel a beállítással arra merőlegesen, a csatorna keresztirányában mozogva végez mérést.
- Beolvasás: Ezzel a funkcióval beolvasható egy korábban végzett mérés során készült fájl.

A 11. képen látható Boolean és Boolean 2 kapcsoló a mérőkártyák közötti váltáshoz volt szükséges.

Az elkészült program fájl és a programkódról készült kép a CD mellékleten található.



11. kép A vezérlőprogram felhasználói felülete

3. Próbamérések és elemzésük

A méréseket a BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékének laboratóriumában végeztem (1111 Budapest Bertalan Lajos utca 7. L épület). Az itt felállított nyíltfelszínű csatorna adatai a következők:

Hosszúság: 5100 mm
 Szélesség: 150 mm

A csatorna vízellátását egy váltóáramú szivattyú (1.ábra D betűjel) végzi, melynek áramellátása frekvenciaváltón keresztül történik, így szabályozható a munkapontja. A térfogatáramot a csatornát tápláló csőbe épített mérőperemhez csatlakoztatott fordított U-csöves, vízzel töltött manométerrel mértem.

1. táblázat Méréshez használt eszközök adatai

Megnevezés	Típus	Gyári szám
Szivattyú	Grundfos CR30-10	P4307/1293
Szivattyú motor	Grundfos 90SA2-24F165	85 101006
Frekvenciaváltó	Danfoss VLT6006HT4B20STR3DLFOO	17527008
Fordított U-csöves manométer	Házi gyártmány	-
Ultraszónusos mérőfej	Honeywell 943-F4V-2D-1C0-330E	05336
Mérőkártya	NI-6024E	187168C-02
Laptop	Compaq Evo N1020V P240X5400WC250 HUNG	9X35LDL Z60JR
Labortápegység	Voltcraft Digi 35	512584

A mért adatokat tartalmazó szövegfájlokat MATLAB-bal dolgoztam fel. Ahol szükséges volt, gyors Fourier sorfejtéssel összetevőire bontottam a mért jelet. Az FFT után megfelelő zajkomponenseket kiszűrve, majd újra egyesítve őket ábrázoltam az adatokat. Az 3.6. alfejezetben részletesebben kifejtem a módszert a konkrét mért adatokkal.

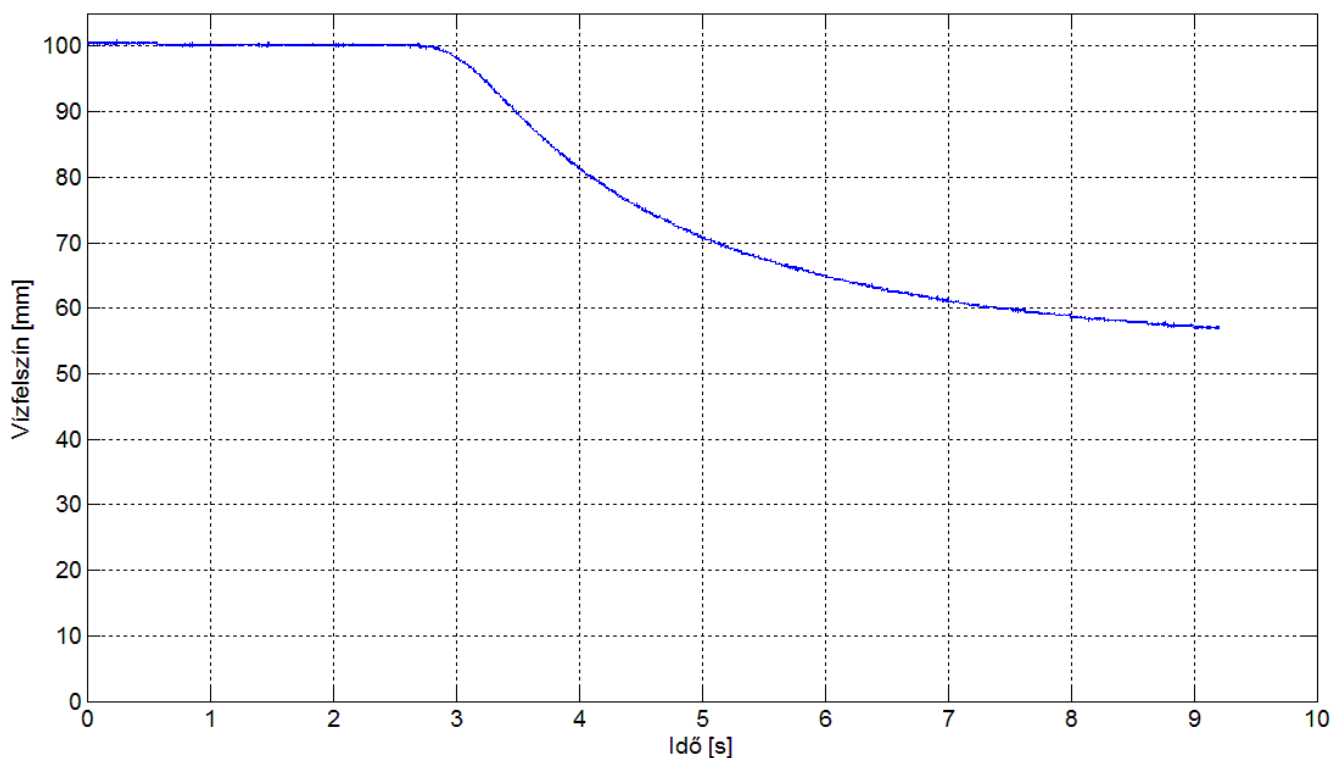
3.1. Csatorna kiürítés mérése

Ebben a mérésben a mérőkocsi egy pontban állva méri a vízfelszín időbeli változását. Ezzel a funkcióval instacionárius jelenségekről szerezhető információ. A mérés előtt a csatorna végén található felső kifolyású gáttal (1. ábra C betűjel) állandó vízmagasságot hoztunk létre. Mikor állandósult ez az állapot, a gát magasságát hirtelen csökkentettük és mértem a vízfelszín időbeli lefutását.

Beállított paraméterek

Mintavételezés: 1000 [Hz]

Mérés időtartama: 10 [s]



4. ábra Csatornaürítés időbeli lefutása

Az első másodpercekben az állandósult állapotot mértem, ebből a szakaszból látható, hogy egy pontban való méréskor igen kicsi a mérés pontatlansága, gyakorlatilag nincs zaj. A 2. ábrán jól követhető az előre várt lefutás.

A mért adatokból számítható a hullámterjedési sebesség. A mérést a gát leejtésekor kezdtem meg.

Mérőperemen mért nyomások: $h_1=1666$ [mm]
 $h_2=781$ [mm]

Mérőperemen mért nyomáskülönbség: $\Delta h = h_1 - h_2 = 1666 - 781 = 885$ [mm]

Térfogatáram: $Q_1 = 0,323 * \Delta h^{\frac{1}{2}} = 0,323 * \left(\frac{885}{13,6}\right)^{\frac{1}{2}} = 2,61 \left[\frac{dm^3}{s}\right]$

A térfogatáram meghatározására használt összefüggés a Nyíltfelszínű áramlások mérése² című mérésleírásból származik. Az összefüggés egy pontos kalibrálás eredménye.

Vízszint: $y=100$ [mm]

Mérési pont távolsága a gáttól: $l=2$ [m]

Hullámterjedési sebesség: $a = \sqrt{g * y} = \sqrt{9,81 * 0,1} = 0,99 \left[\frac{m}{s}\right]$

Áramlási sebesség: $v = \frac{Q_1}{B * y} = \frac{2,61 * 10^{-3}}{0,15 * 0,1} = 0,174 \left[\frac{m}{s}\right]$

Relatív sebesség: $w = a - v = 0,99 - 0,174 = 0,816 \left[\frac{m}{s}\right]$

Idő: $t = \frac{l}{w} = \frac{2}{0,816} = 2,45$ [s]

A grafikonon ez 2,7 s-nak adódik. Az eltérés oka az, hogy ez kétemberes mérés. A mérés indítását és a gát mozgatását nem egy személy végezte, ezért adódhat reakcióidőn belüli eltérés a mért és a számított adatok között.

3.2. Hullámjelenség időbeli lefutásának mérése

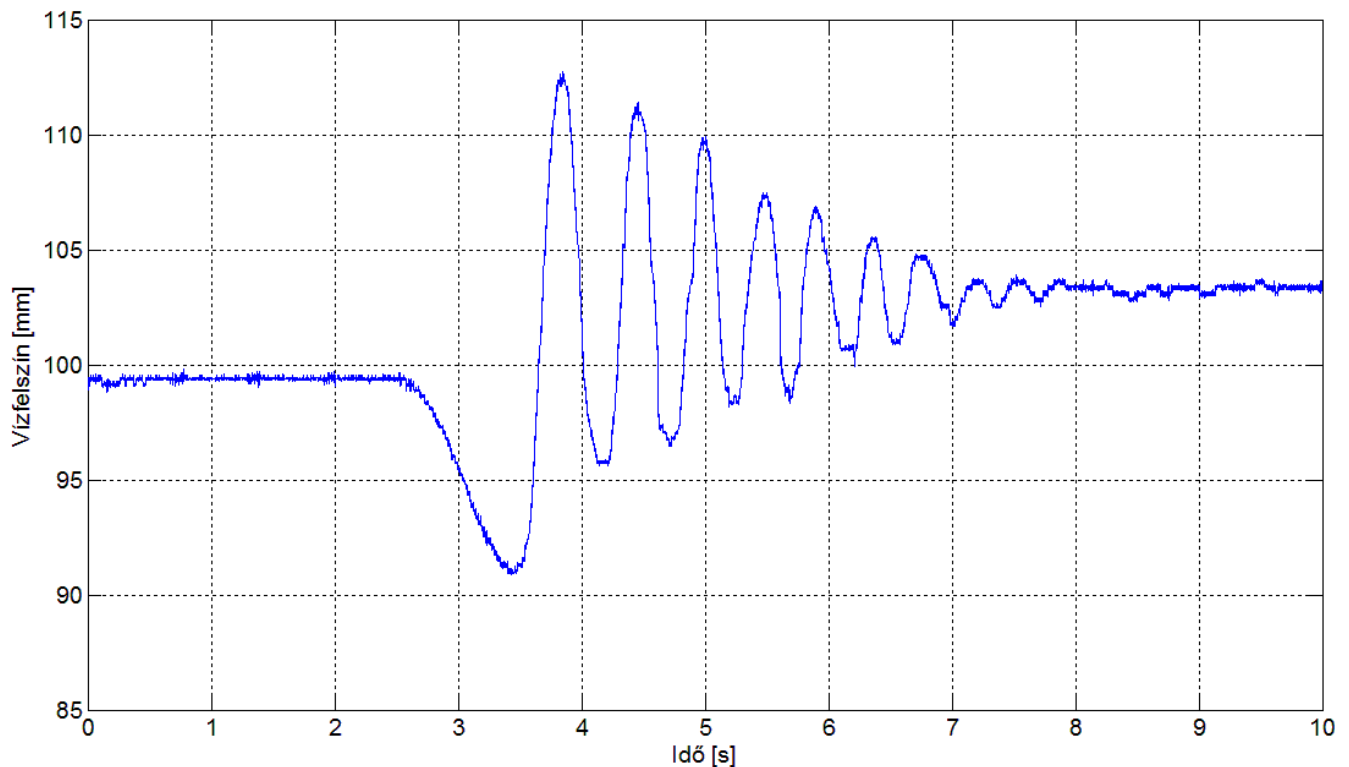
A csatornában ismét a felső kifolyású gáttal létrehozott állandósult állapotból indul a mérés. A mérés megkezdését követően a gátat leejtve, majd ismét felemelve hullámjelenséget hoztunk létre, melynek időbeli lefutását mértem.

Beállított paraméterek

Mintavételezés: 1000 [Hz]

Mérés időtartama: 10 [s]

² Nyíltfelszínű áramlások mérése, BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/nyf_meres.pdf



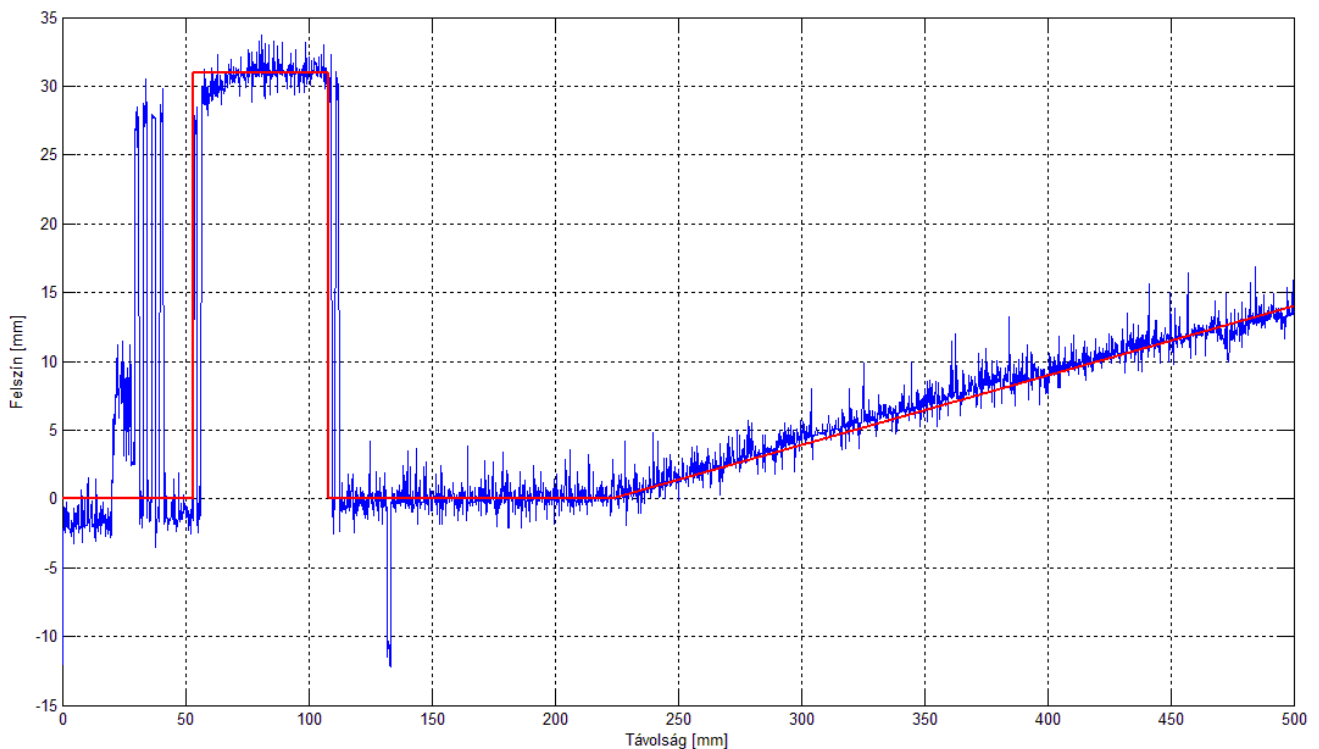
5. ábra Hullámjelenség lefutása

A 3. ábrán a hullámjelenség lefutása során mért adatokat szüretlenül ábrázoltam. Jól látható, hogy egy pontban történő mérésnél nincs szükség szűrésre, a mért adatokban jól láthatóan kicsi a zavar. Ez különösen jól megfigyelhető a mérés elején, mikor az állandósult, egyenletes magasságú vízfelszint mértem. Ezen a szakaszon látható eltérés az elméleti egyenestől igen kicsi. Továbbá az ábra szemléletesen mutatja a hullámjelenség csillapodását, az amplitúdók szabályos csökkenését. A mért jel tökéletes összhangban van az előzetes elképzelésekkel, és a mérés során megfigyelt jelenséggel.

Ez a mérés korábban nem volt lehetséges a csatornában, mert semmilyen automatizált mérési eszköz nem állt rendelkezésre, és kézi módszerrel gyakorlatilag végrehajthatatlan egy ilyen jellegű mérés.

3.3. Hosszirányú profilmérés tereptárggyal a csatornában

A csatornába szilárd tereptárgyakat, egy műanyagból készült hasábot és egy lejtőt tettem, amik a 6. ábrán piros színnel vannak jelölve, majd a csatorna hossza mentén profilmérést végeztem. Ezzel a méréssel szintén a mérőeszköz működéséről szerezhető információ.

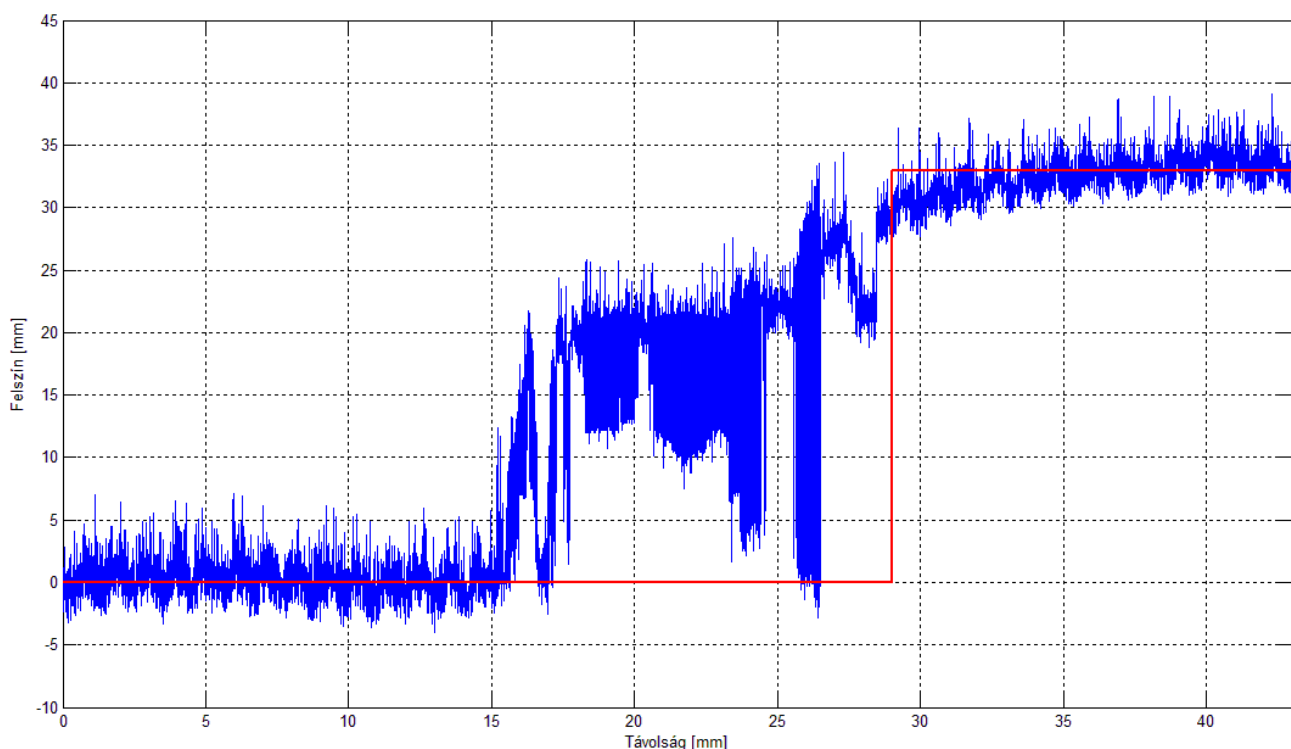


6. ábra Hosszirányú profil mérés tereptárggyal a csatornában

A mérésből számos információ derült ki. A 15 és 50 mm közötti tartományban látható kiugró tüskéket maga a mérés módszere adja. A mérőfej a kibocsátás utáni első visszaérkező jelet könyveli el, mint mért érték. Fontos tudni, hogy a mérőfejnek van egy mérési kúpja, mely kúpon belül sugározza az ultrahang hullámokat. Egy idealizált, elméleti mérőfej csak egy egyenes mentén bocsátaná ki a hullámokat, ez lenne a tökéletes megoldás. Természetesen ez a valóságban nem kivitelezhető, a mérőfej szerkezete, és az ultrahang hullámok terjedési tulajdonságai miatt lép fel ez a kúp hatás. A mérés során a kocsi haladása során a kúp alkotója eléri a hasábot, melynek éléről visszaverődik, azonban ez a visszaverődés esetleges, véletlenszerű és a mérőfej ezt a jelet értelmezi mért jelként, annak ellenére, hogy még nem ért a hasáb fölé. Ennek a hatásnak a tényleges vízfelszín méréseknél nem lesz jelentősége, mert a mérőfej alatt mindig található egy elemi felületegység, mely pontosan vízszintes. Az első visszaverődés mindig erről a felületről következik be, tehát a mérés pontos lesz. A 130 mm-nél látható tüske egy kiugró érték, az ilyen hibák szoftveresen könnyen kezelhetők. A hasáb után egy hosszabb üres szakasz következett, amelyből látható, hogy mekkora zavart mértem az üres csatornában. Ebből mérésből levonható következtetés, hogy profil mérésnél szükség van az adatok utólagos feldolgozására, szűrésére. A szűrést az 3.6. fejezetben mutatom be részletesen.

3.4. Tereptárgy mérése a csatorna keresztirányában

Ebben az esetben a csatorna hossz tengely merőlegesen mértem egy tereptárgyat. A csatorna sarkába illesztettem egy műanyag hasábot, majd profilt mértem.



7. ábra Tereptárgy mérése a csatorna keresztirányában

A 7. ábrán 15 és 30 mm közötti ingadozás a korábban már leírt mérési kúp miatt alakult ki. Ez a gyakorlatban nem fog problémát okozni a fentebb tárgyalt okok miatt.

3.5. Vízuhrás (1. mérés)

A mérőkocsi teszteléséhez különböző vízuhrásokat vizsgáltam és mértem, de a mérőkocsi bármilyen jelenséget képes mérni a csatornában. Azért esett a választás a vízuhrásokra, mert a bonyolultabban számítható és mérhető jelenségek közé tartozik, ugyanakkor látványosabb méréseket lehet végezni, és az áramlástan egyik legérdekesebb része.

A csatornában kialakuló vízuhrás adataiból két módszerrel számítottam a Froude-számot, mely jellemzi a vízuhrást. A Froude-szám és a vízuhrás egyéb tulajdonságai közti kapcsolatot a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat Vízuhrások tulajdonságai²

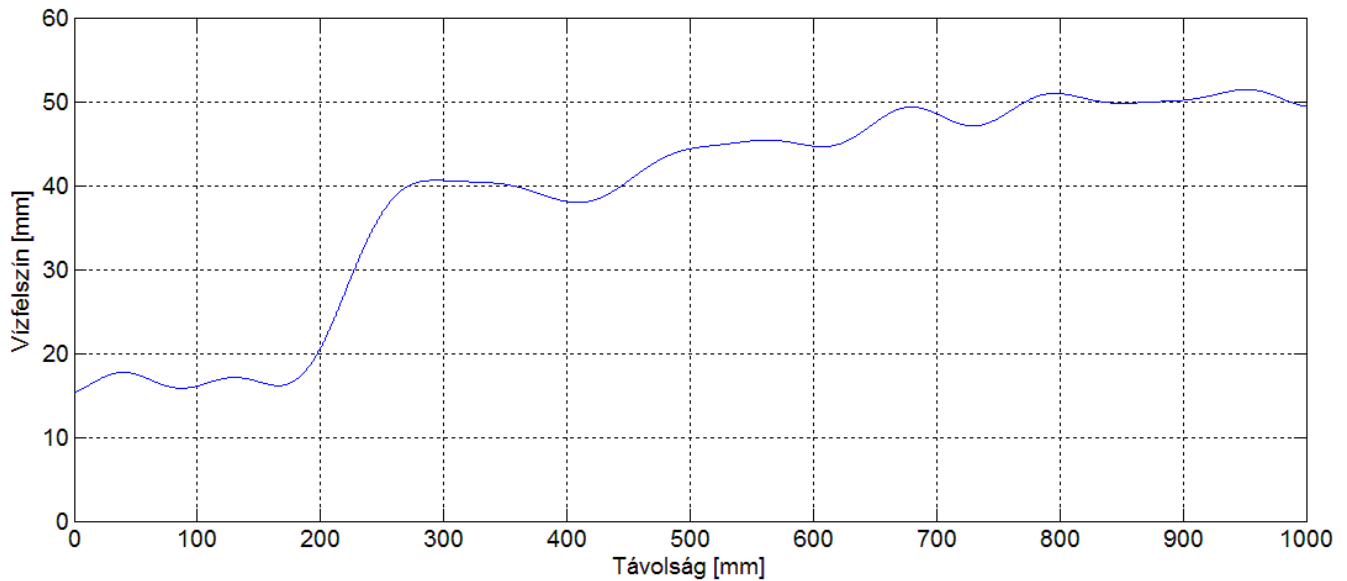
Fr [-]	h_2/h_1 [-]	Jellemzők	Energia disszipáció
≤ 1.0	1.0	Nincs vízuhrás	0
1.0 - 1.7	1.0 – 2.0	Hullámos vízuhrás	$\leq 5\%$
1.7 - 2.5	2.0 – 3.1	Gyenge vízuhrás	5% - 15%
2.5 - 4.5	3.1 – 5.9	Instabil, oszcilláló vízuhrás	15% - 45%
4.5 - 9.0	5.9 – 12.0	Stabil fedőhengeres vízuhrás	45% - 70%
> 9.0	> 12.0	Stabil, turbulens, erős vízuhrás	70% - 85%

² Nyíltfelszínű áramlások mérése, BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/nyf_meres.pdf

Beállított paraméterek:

Mérési hossz: 1500 mm

Mintavételezés: 1 minta/lépés



8. ábra Vízugrás (1. mérés)

A 7. ábrán láthatóak a szűrés utáni eredmények.

Mérőperemen mért nyomások: $h_1=1387$ [mm]

$h_2=869$ [mm]

Mérőperemen mért nyomáskülönbség: $\Delta h = h_1 - h_2 = 1387 - 869 = 518$ [mm]

Térfogatáram: $Q_2 = 0,323 * \Delta h^{\frac{1}{2}} = 0,323 * \left(\frac{518}{13,6}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,99 \left[\frac{dm^3}{s}\right]$

Alvíz $y_1=16$ [mm]

Felvíz $y_2= 50$ [mm]

Fr-szám térfogatáramból: $Fr = \frac{Q_2}{B * y_1^{\frac{3}{2}} * \sqrt{g}} = \frac{1,99 * 10^{-2,3}}{0,15 * 0,013^{\frac{3}{2}} * \sqrt{9,81}} = 2,86[-]$

Fr-szám vízállásból: $Fr = \sqrt{\frac{\left(\frac{2 * y_2}{y_1} + 1\right)^2 - 1}{8}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2 * 50}{16} + 1\right)^2 - 1}{8}} = 2,54 [-]$

A Froude számok nagyon hasonlóak, ami igazolja a mérés pontosságát.

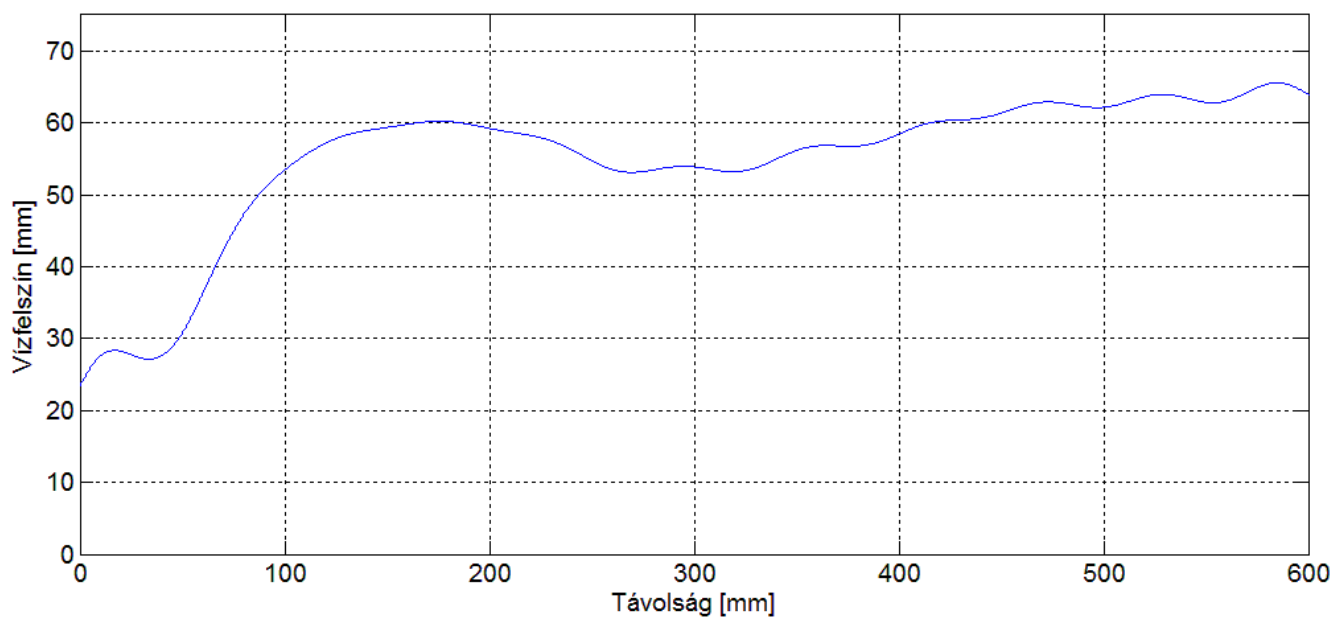
3.6. Vízugrás (2. mérés) időbeli átlagolással

Ezt a mérést egy más paraméterekkel rendelkező vízugráson végeztem időbeli átlagolás használatával.

Beállított paraméterek:

Mérési hossz: 800 [mm]

Mintavételezés: 20 minta/lépés



9. ábra Vízugrás (2. mérés) időbeli átlagolással

A csatornában kialakuló vízugrás mért adatai a következők:

Alvíz $y_1=17$ mm

Felvíz $y_2=55$ mm

Fr-szám térfogatáramból:

$$Fr = \frac{Q_1}{B \cdot y_1^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{g}} = \frac{2,61 \cdot 10^{-3}}{0,15 \cdot 0,017^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{9,81}} = 2,5 [-]$$

Fr-szám vízállásból:

$$Fr = \sqrt{\frac{\left(\frac{2 \cdot y_2}{y_1} + 1\right)^2 - 1}{8}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2 \cdot 55}{17} + 1\right)^2 - 1}{8}} = 2,61 [-]$$

A Froude számok ennél a mérésnél is eltérnek, ami szintén a mérési pontatlanságoknak tudható be.

A mérés közben képeket készítettem képeket is a vízugrásról, így jobban értékelhetőek az eredmények.



12. kép Vízugrás (2.mérés)



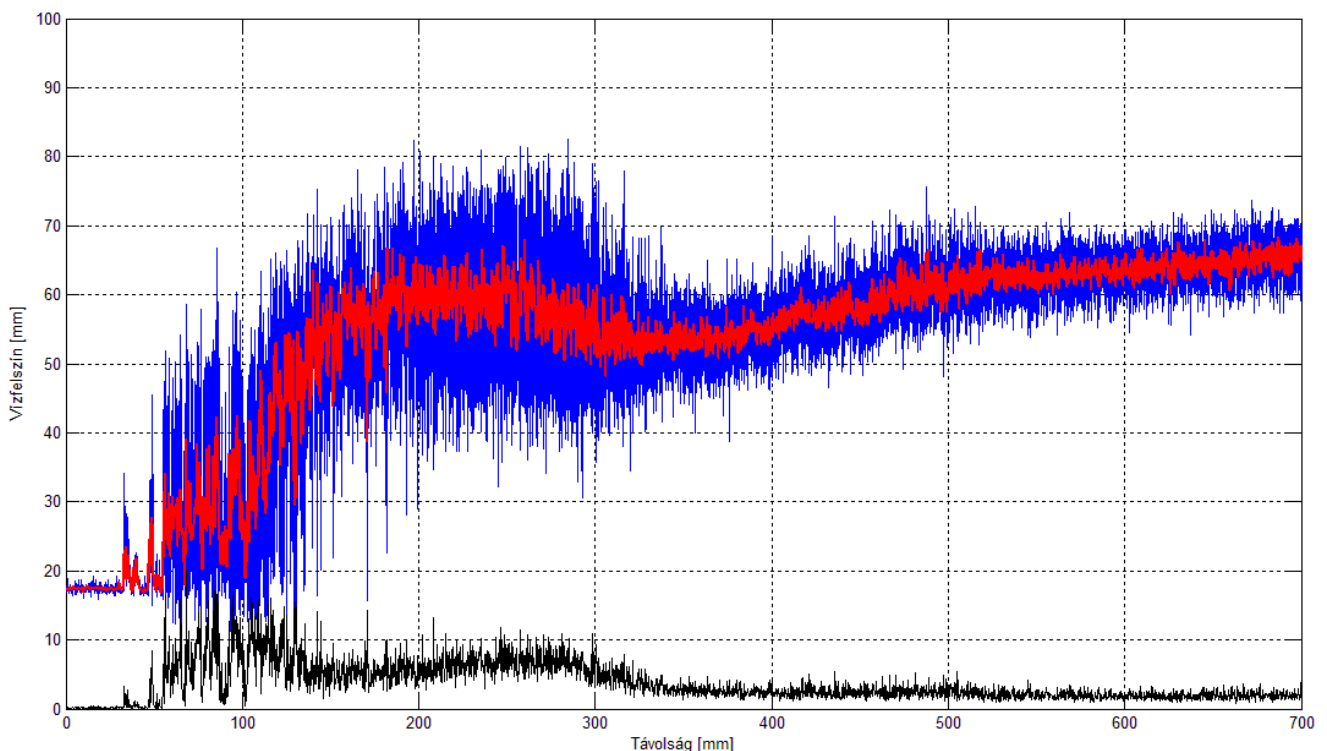
13. kép Vízugrás (2. mérés)

A vízugrásról és a mérésekről további képek és videók találhatóak a CD mellékleten.

A mért adatokat grafikonon ábrázolva, és azokat összevetve a mérésről készült képekkel jól látható, hogy a mérés megfelelő. Jól megfigyelhető a grafikon $x = 50$ mm-nél látható kisebb hullám a vízugrásról készült 12. és 13. képeken.

Az alfejezet elején írtak szerint jelen mérésnél egy lépésre 20 mintavételezett jel jut. Stacioner jelenségeknél az egy pontban történő mintavételezés tetszőlegesen növelhető, mind a vezérlő program, mind a mérőkocsi képes az előre beállított mintavételezést elvégezni.

Statisztikai elemzés:



10. ábra Vízugrás 1 mérési eredményei

Az 10. ábrán a mért eredmények láthatóak. Kékkel ábrázoltam az összes mérési eredményt, tehát 20 vízszint értéket minden mérési pontban. Pirossal láthatók az egy pontban mért adatok átlagolt értékei. Tájékoztatóul kirajzoltam feketével az egy pontban mért adatok korrigált tapasztalati szórását. Jól látható, hogy a mérés sokkal pontosabb, mint amire eddig lehetőség volt. Az időbeli átlagolással pedig tovább finomítható az eredmény, a minták száma tetszőlegesen emelhető. A mérési adatok szórása főként a vízugrásnál folyamatosan változó felszín miatt alakul ki, nem a mért jel elektromos zaja miatt.

3.7. Mozgatás pontosságára vonatkozó teszt

Az itt bemutatott mérések célja a programban kiadott mozgatási hossz és a valós megtett út összehasonlítása. A lehetséges irányok közül a hosszirányú méréseket mutatom be, mivel ezeknél nagyobb az eltérés abszolút értelemben. Három különböző távolsággal vizsgáltam a

mérőberendezést, a programban 200, 500, 1000 mm-es utat adtam ki, ennél nagyobb hosszirányú mérésre csak nagyon ritkán van szükség. A mért adatokat 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Mozgatási pontosság mérése

Mérési hossz [mm]	200	500	1000
Mérések [mm]	201	497	1001
	199	501	1004
	200	499	1002
	200	497	1002
	201	498	1001
	199	503	998
	199	501	995
	201	500	1002
	200	499	1000
	199	498	1003
Átlag [mm]	199,9	499,3	1000,8
Minimum [mm]	199	497	995
Maximum [mm]	201	503	1004
Legnagyobb eltérés [mm]	2	6	9
Korrigált tapasztalati szórás [mm]	0,875595	1,946507	2,616189
Valószínűség [-]	0,99	0,99	0,99
Konfidencia intervallum [mm]	0,899839	2,000402	2,688627
Relatív konfidencia intervallum [%]	0,449919	0,40008	0,268863

A 3. táblázatban megfigyelhető, hogy a mérési hossz növekedésével nő a mért úthosszak abszolút eltérése, azonban a korrigált tapasztalati szórása csökken. A relatív konfidencia intervallum is csökken a hossz növelésével. A számítások alapján megállapítható, hogy a pontosság kielégítő mind rövidebb, mind pedig hosszabb szakaszokon. Ezeken kívül kiadtam a programban egy 2500 mm hosszú utat is, mely után a kocsi 2504 mm-t tett meg.

4. Összefoglalás

A projekt során a kiindulási adatokból megterveztem a mérőkocsi felépítését, és vezérlő nyomtatott áramköri panelt és megírtam Labview-ban a vezérlő programot. A mérőkocsi elkészülése után próbaméréseket végeztem, melyeket kiértékeltem, és levontam a megfelelő következtetéseket. A mérőkocsi megfelel a kezdetekkor megfogalmazott céloknak és követelményeknek. Az egy pontban történő időbeli lefutások mérése nem igényel utólagos feldolgozást. A profilmérések során szükséges az adatok szűrése, de ezután nagyon jól használható eredményt kapunk. Eddig a csatornában semmilyen önműködő eszköz nem állt rendelkezésre, de mostantól lehetséges olyan méréseket is elvégezni, amire eddig nem volt lehetőség, mindezt automatizálva. A mérőkocsi akár oktatásban is használható jelenlegi formájában, további átalakítás és továbbfejlesztés nélkül.

5. Továbblépési lehetőségek

A mérőkocsi továbbfejlesztésére számos lehetőség merült fel a tervezés és megvalósítás, valamint a mérések során. Ezek az alapvető funkciókat nem változtatják meg, de javíthatják a pontosságot, a használhatóságot, és a sebességet. Ezeket a lehetőségeket fogom a következőkben bemutatni.

A mérőkocsi alkalmas egy mérőléces rendszer kialakítására. A csatorna hosszában felépített mérőlécből és a mérőkocsira rögzített fotocellás egységből álló rendszerrel lehetővé válna a mérőkocsi még pontosabb helyének meghatározása, ami növelné a mérés pontosságát, és szükségtelessé tenné a hely újrakalibrálását. A fotocelláról származó adatokat a számítógépes program bővítésével fel lehet használni a léptetőmotorok pozicionálásának korrigálására. Ezzel a bővítéssel szabályozottá válna a rendszer a jelenlegi vezérlés helyett.

A mérőkocsi ultrahangos mérőfejét könnyedén cserélhetjük más típusú szenzorra. Az egész mérőkocsin csupán egyetlen alkatrészt (az ultrahangos mérőfejet rögzítő lemezalkatrészt) szükséges kicserélni, ezzel lehetővé válik más elven működő, eltérő típusú szenzor felszerelése is. Ugyanakkor a meglévő szenzor pontossága kielégítő – így a szenzor cseréjére várhatóan nem lesz szükség.

Az elektronikát jelentősen tovább lehet fejleszteni, például mikrokontrollerekkel. A már elkészített nyák-panelt meg lehet tartani a továbbfejlesztés során. Egy másik nyomtatott áramkörön meg lehet valósítani a mikrokontrolleres léptetőmotor vezérlést, sőt akár az ultrahangos fej által mért adatok digitalizálását is. Ezt a panelt a meglévő nyák és a mérőkártya közé kötve lehet üzemeltetni, ezáltal az eddigi nyák is megtartaná a funkcióit. Ez a módosítás számos előnnyel járna, a léptetőmotorok vezérlésének feladatát részben a mikrokontroller venné át, ezzel a számítógépes program egyszerűsödne. A közvetlenebb motorvezérlés miatt a motorok fordulatszáma növekedne, tehát a mérésekhez szükséges idő csökkenne.

Az elektronikát a későbbiekben ki lehet egészíteni wi-fi adó-vevő egységgel. Ez a lépés az alapfunkciókat nem befolyásolná, de sokkal rugalmasabbá tenné a méréseket. Ezzel lehetővé válna, hogy a mérőkocsit egy laptopról vezéreljük, ami a nyíltfelszínű csatorna mentén bárhol letehető, így közvetlenebb módon követhető a mérés. Lehetővé válik a jelenség és a laptopon futó program egyidejű figyelése, így a mérés hatékonyabbá válna, és a csökkenne a mérési hibák esélye. Ezenfelül további előnye az ilyen kialakításnak, hogy hosszú vezetékek okozta problémákat is megoldaná.

A mérőkocsi áramellátását lehet biztosítani akkumulátorról is, a jelenlegi vezetékes megoldás helyett. Adódhat olyan mérési feladat, amihez ez a kialakítás jobban illik, és ilyen esetben megkönnyíti a mérés elvégzését. Akkumulátor alkalmazása a fentebb vázolt wi-fi kommunikációval együtt teljesen vezeték nélkülivé tennék a mérőeszközt, ami sokkal nagyobb szabadságot adna a mérések során. Ugyanakkor szükséges megemlíteni ezen kialakítás hátrányait is. Az akkumulátorok okozta plusz súly jobban terheli a motorokat. Ennek a hatása fokozottabb melegedés a mérőkocsin, és környező levegőben. Az akkumulátorok korlátozott kapacitása miatt korlátozott a folyamatos üzemeltetés ideje is.

A program bővítésével lehetőség nyílik a mért értékek kiértékelésére. A Labview számos méréstechnikával kapcsolatos lehetőséget nyújt. Számos lehetőség adódik a mért adatok feldolgozására, valamilyen speciális célú vizsgálatára, az adott mérési feladatnak, problémának megfelelően. A program bővítése lehetőséget nyújt specifikusabb mérések elvégzésére is, melyhez

speciális pályán kell mozgatni az ultrahangos mérőfejet. A program igen rugalmas, könnyedén bővíthető a mérés céljainak, körülményeinek megfelelően.

6. Irodalomjegyzék

[1] Hubert Chanson: (2010) The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Elsevier

[2] Nyíltfelszínű áramlások mérése, BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/nyf_meres.pdf

[3] Installation Instructions, Honeywell, http://sensing.honeywell.com/pk104142_10_0104.pdf

[4] Sanyo-Denki, Sanmotion 2-phase stepping systems:
<http://www.sanyo-denki.com/Data/Servo/catalogs/F2.pdf>

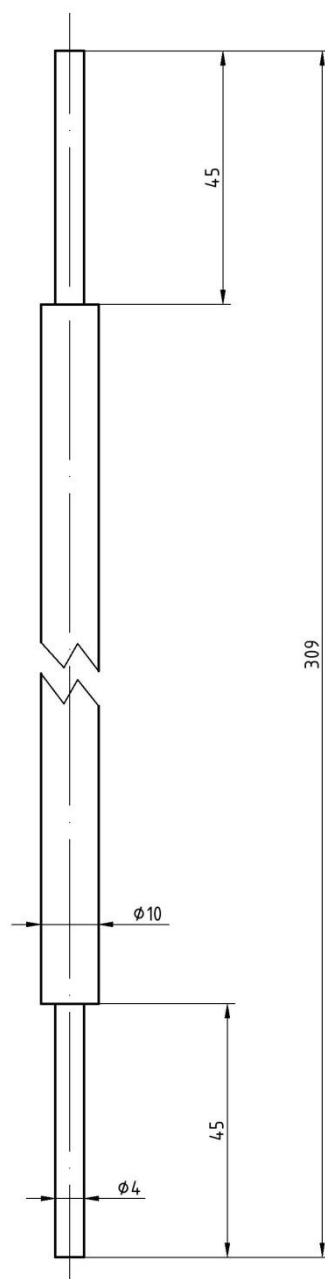
[5] L293B datasheet, ST Microelectronics
http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000058.pdf

7. Mellékletek

1. Melléklet Tengely	34
2. Melléklet Mérőfej tartó.....	35
3. Melléklet Csúszóelem.....	36
4. Melléklet Ellendarab.....	37
5. Melléklet Kerék.....	38
6. Melléklet Közdarab.....	39
7. Melléklet Alaplemez	40
8. Melléklet Motor közdarab.....	41
9. Melléklet Motortartó	42
10. Melléklet Orsó	43
11. Melléklet Orsórögzítő.....	44
12. Melléklet Persely	45
13. Melléklet Hosszú profil	46
14. Melléklet Rövid profil	47
15. Melléklet Összeállítási rajz	48

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



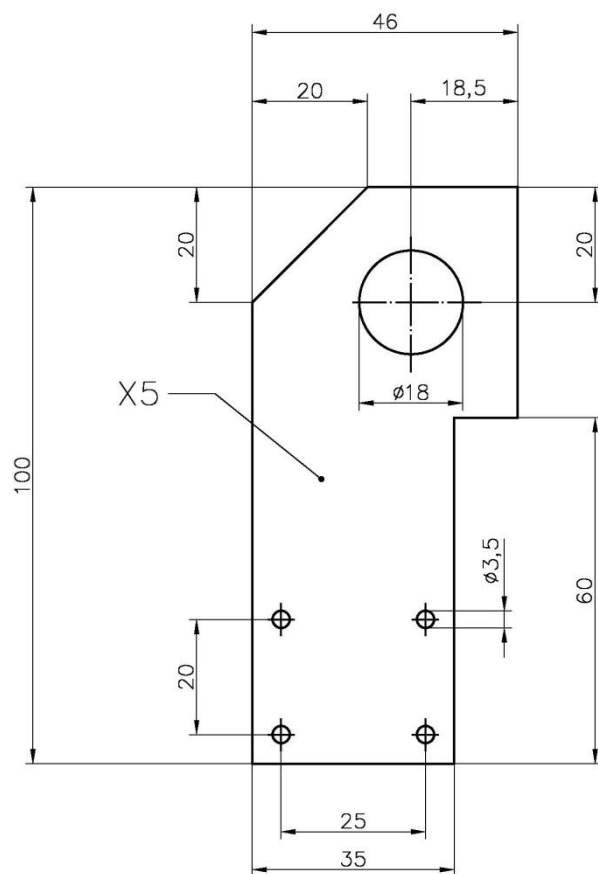
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Tengely	Vet. mód:	Rajzszám: TDK-12-005
Dátum: 2012.01.17.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz		

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

1. Melléklet Tengely

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



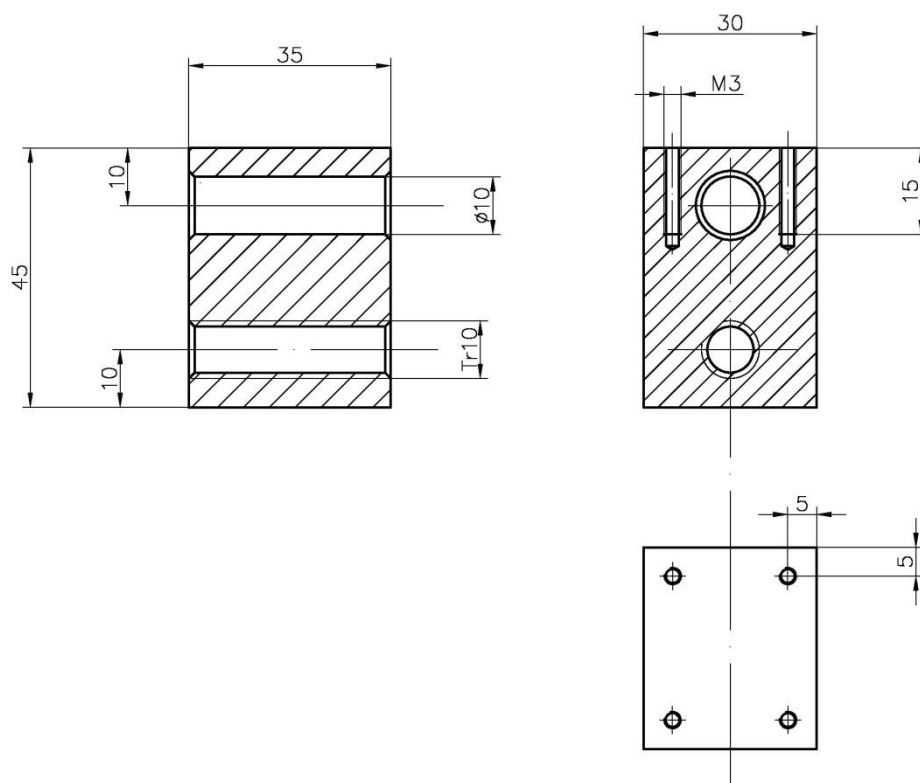
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Mérőfej tartó	Vet. mód:	Rajzszám: TDK-12-030
Dátum: 2012.06.13.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Alumínium		

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

2. Melléklet Mérőfej tartó

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



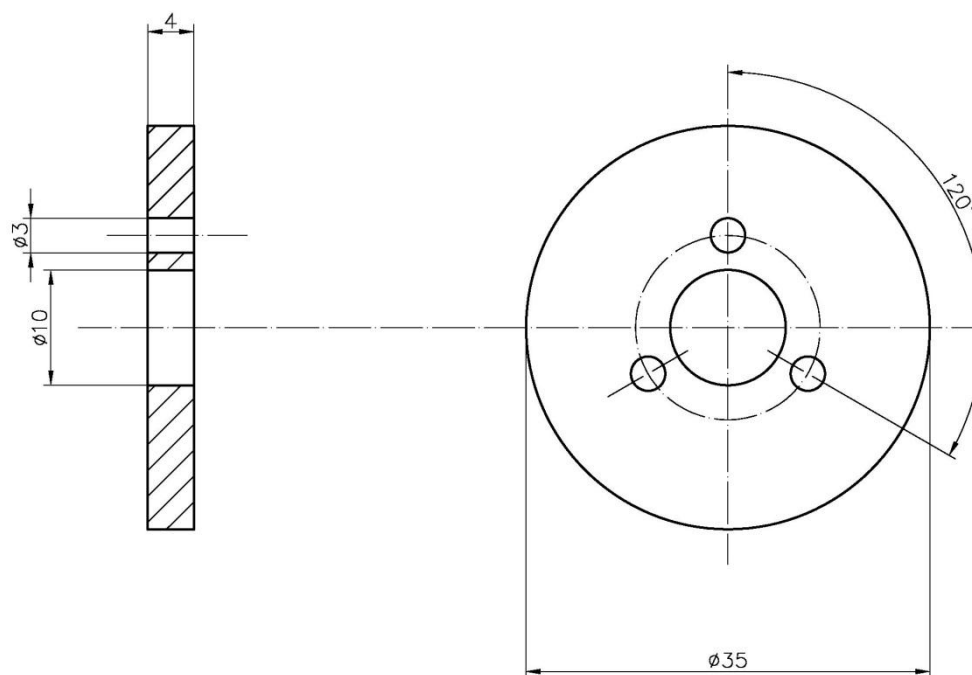
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Csúszóelem	Vet. mód:	BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.02.23.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz		
			Rajzszám: TDK-12-010

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

3. Melléklet Csúszóelem

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



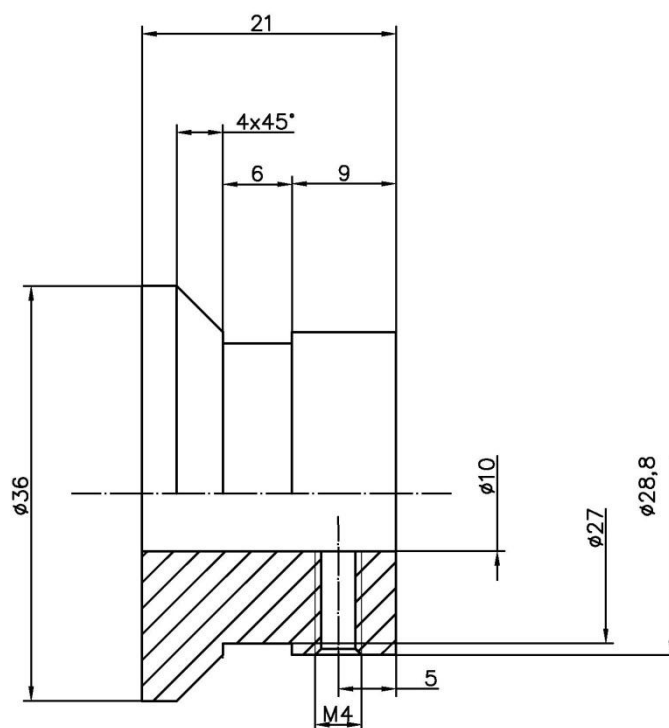
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Ellendarab		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.02.11.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz	Vet. mód: 	Rajzszám: TDK-12-009

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

4. Melléklet Ellendarab

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

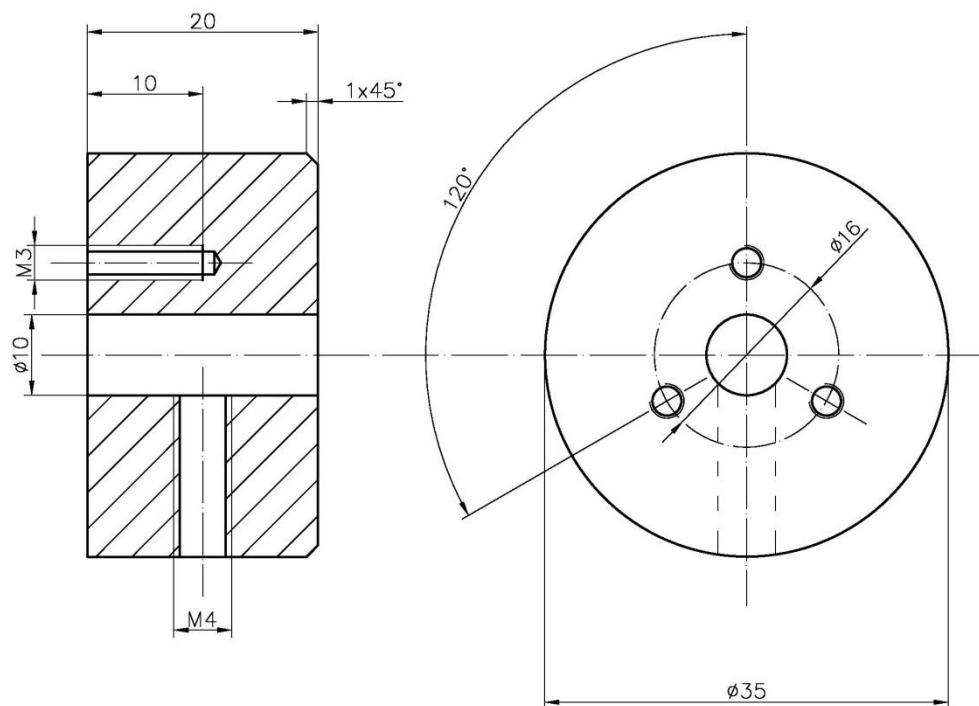
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



Tervező: Haraszi P.	Gyártmány: Kerék	Vet. mód:	Rajzszám:	BME HDR Tanszék TDK-12-001
Dátum: 2012.01.07.	Megnevezés: Mérőkocsi			
Konzulens: Bene József	Anyag: Bonamid	Vet. mód:	Rajzszám:	TDK-12-001

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



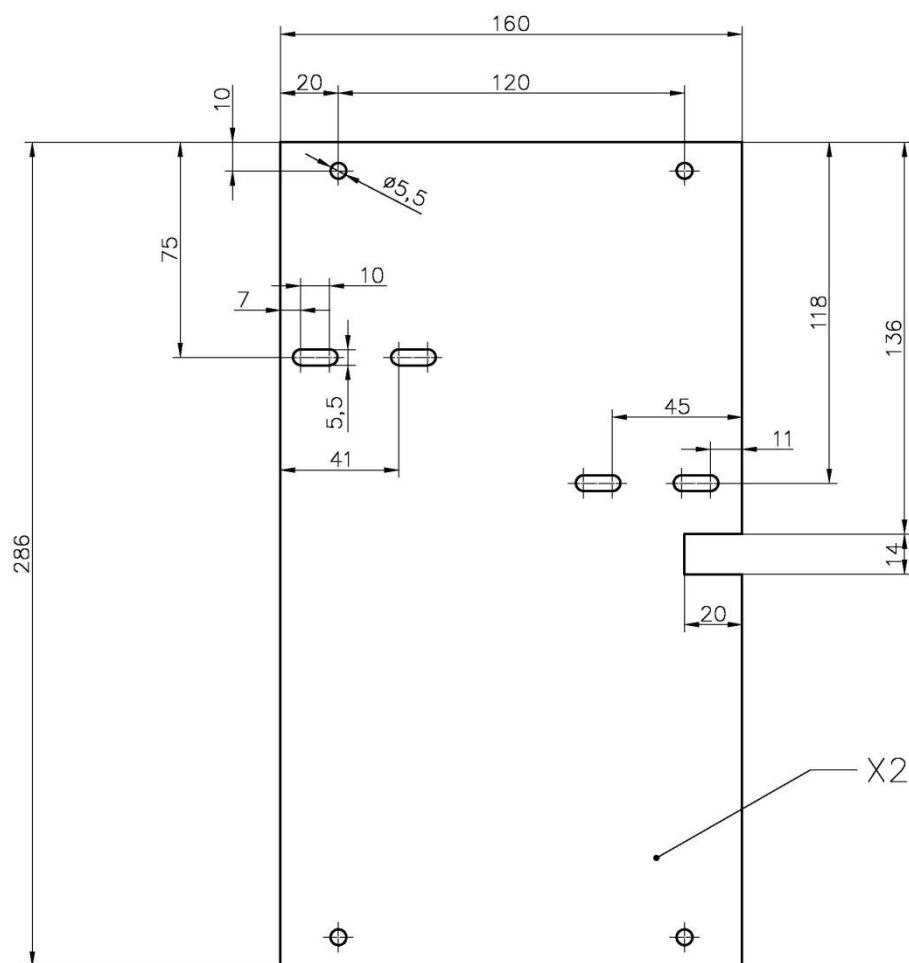
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Közdarab		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.01.18.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz	Vet. mód: 	Rajzszám: TDK-12-003

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

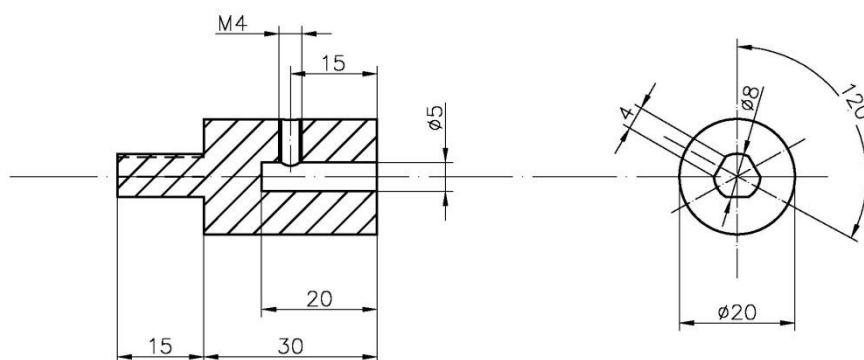
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVALL KESZULT

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVALL KESZULT

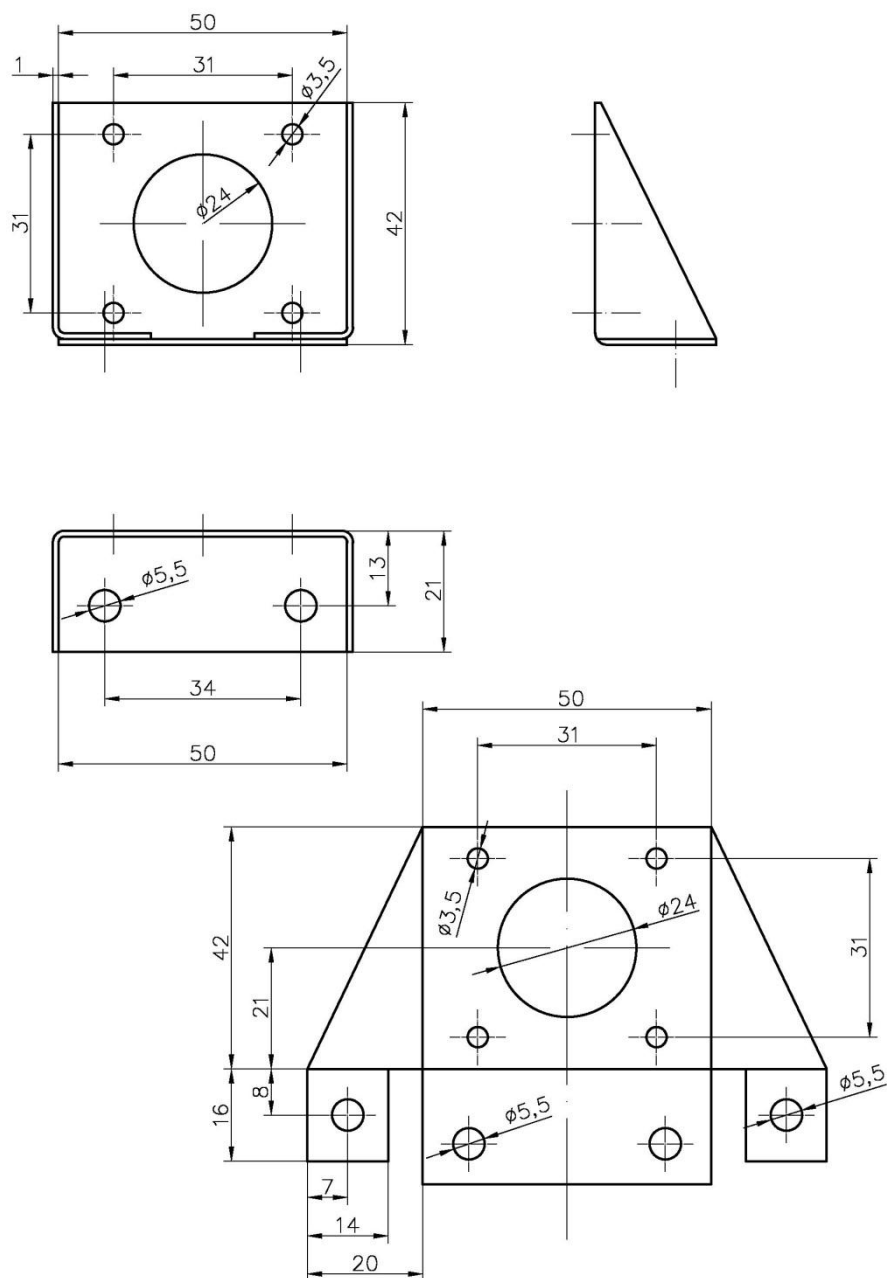


Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Alaplemez	Vet. mód:	BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.06.15.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Alumínium	Rajzszám: TDK-12-033	

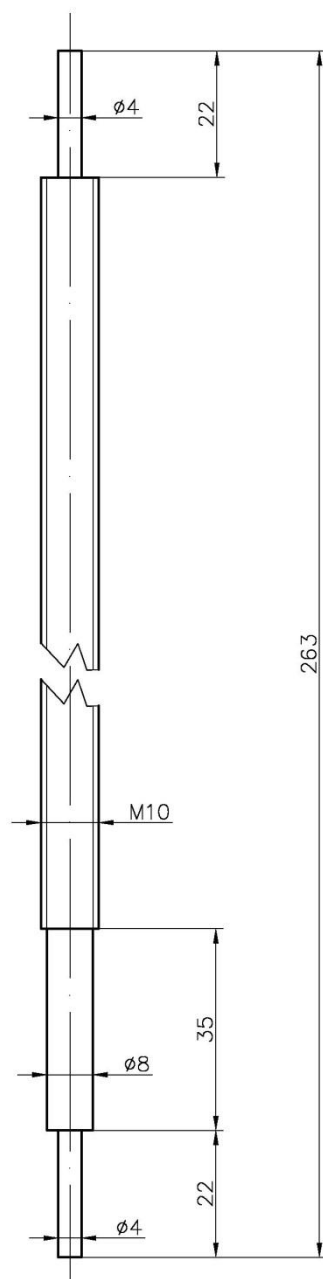
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVALL KESZULT



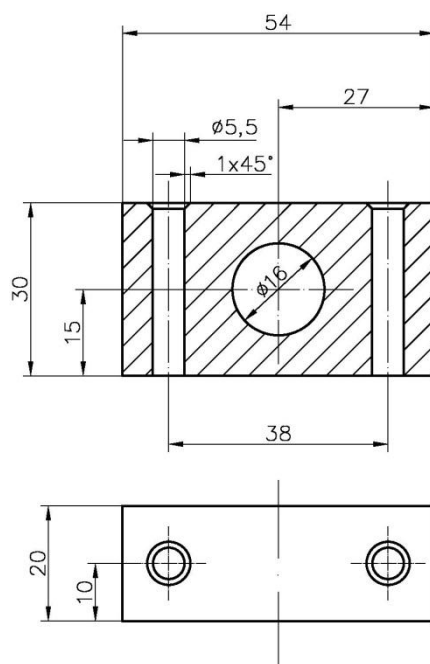
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Motor közdarab		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.03.03.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz	Vet. mód: 	Rajzszám: TDK-12-006



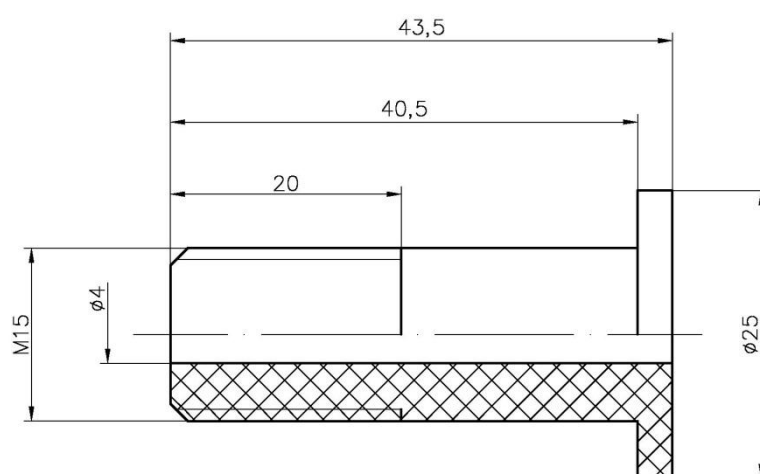
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Motor rögzítő		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.07.12.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Alumínium		Rajzszám: TDK-12-034



Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Orsó		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.01.17.	Megnevezés: Mérőkocsi	Vet. mód:	Rajzszám:
Konzulens: Bene József			TDK-12-005



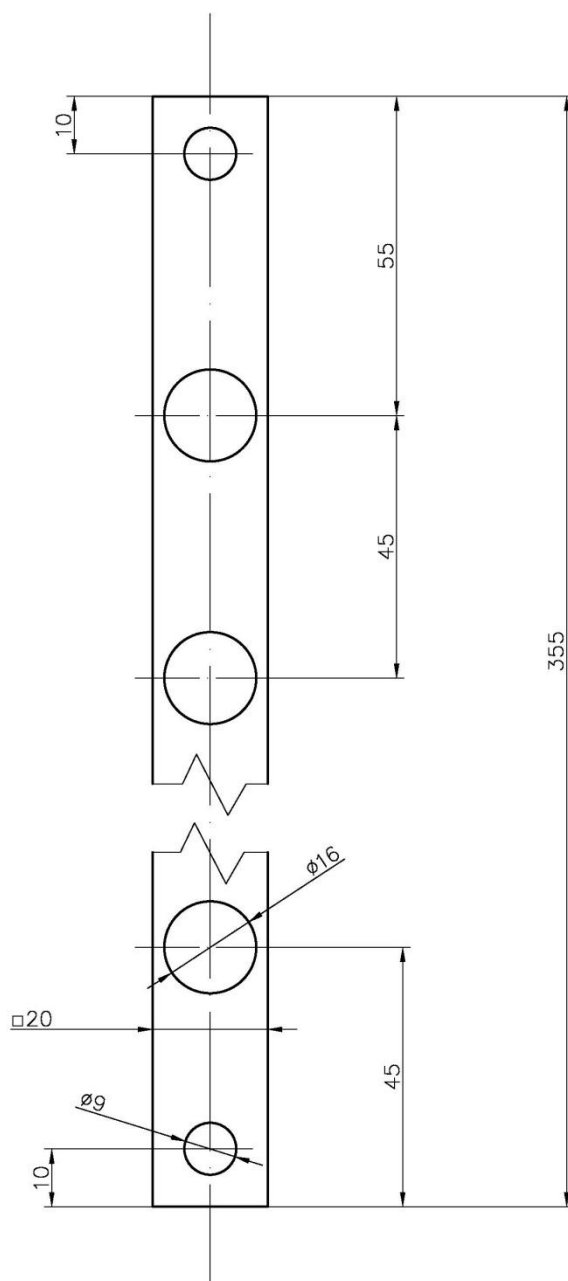
Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Orsó tartó		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.06.14.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Réz	Vet. mód: 	Rajzszám: TDK-12-031



Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Persely		BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.01.20.	Megnevezés: Mérőkocsi	Vet. mód:	Rajzszám:
Konzulens: Bene József	Anyag: Bonamid		TDK-12-004

AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

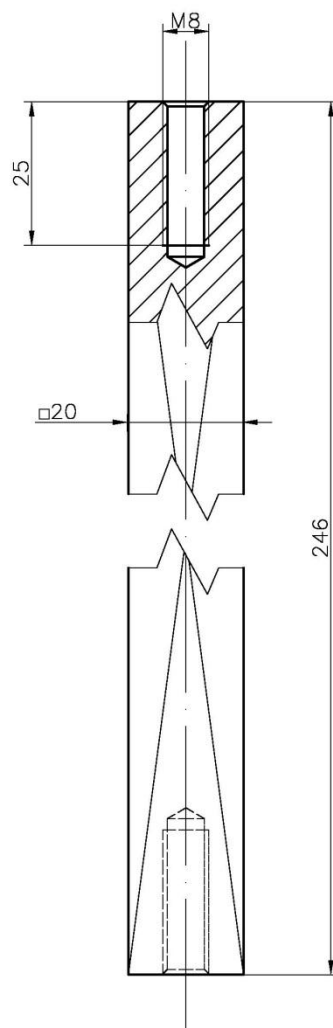
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT



Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Hosszú profil	Vet. mód:	BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.03.03.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Alumínium		Rajzszám: TDK-12-021

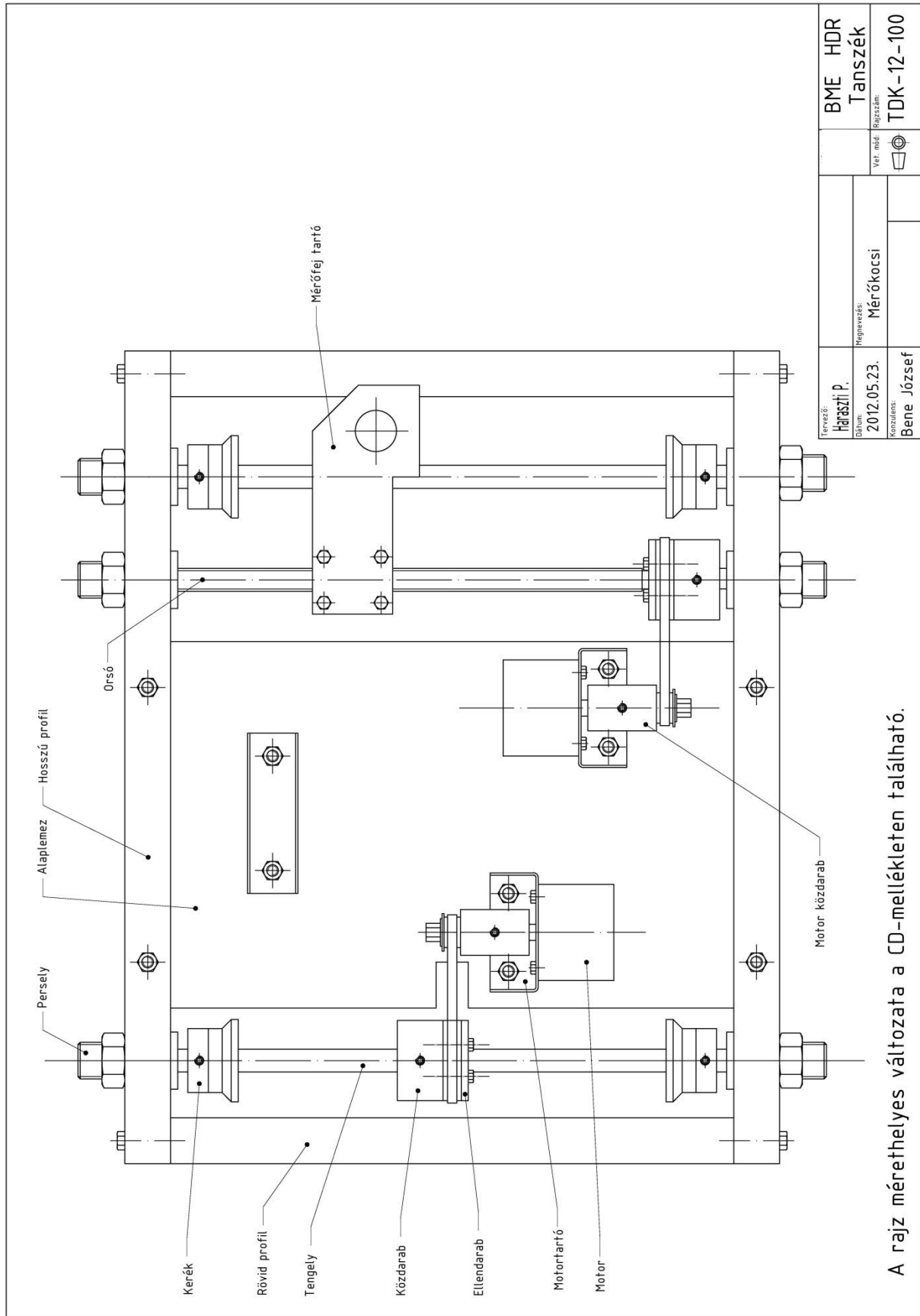
AUTODESK TERMEK OKTATASI VERZIOJAVAL KESZULT

13. Melléklet Hosszú profil



Tervező: Haraszti P.	Gyártmány: Rövid profil	Vet. mód:	BME HDR Tanszék
Dátum: 2012.03.03.	Megnevezés: Mérőkocsi		
Konzulens: Bene József	Anyag: Alumínium		Rajzszám: TDK-12-020

AUTODESK TERMEK OKTATÁSI VERZIOJAVAL KESZULT



AUTODESK TERMEK OKTATÁSI VERZIOJAVAL KESZULT

15. Melléklet Összeállítási rajz

8. CD melléklet

A dolgozathoz mellékelt CD-n megtalálhatóak a következők:

- A dolgozatban megtalálható összes ábra és kép
- A dolgozatba nem került fényképek az építés folyamatáról, és a kész mérőkocsiról
- Videók a mérőkocsiról, és a mérésekről
- A méréseket tartalmazó szövegfájlok
- A felhasznált alkatrészek műszaki rajza
- A vezérlő és kiértékelő programok