

# Féléves doktoranduszi beszámoló

(2. félév, 2021/2022 tavaszi félév)

**Horváth Zoltán (ZILZIS)**

**Témavezető: Dr. Bérczi Szaniszló**

**Fizika Tanítása Doktori Program**

**2022. június**

## 1. Irodalomfeldolgozás, előadás-részvételek

Elengedhetetlen része a mutatósnak a téma és az adott területen eddig elért eredmények részletes megismerése, melynek szerves része az irodalomkutatás, annak feldolgozása. A témához szervesen kapcsoló több mint 50 – főként úrkutatási, mérés-technikai, programozási és pedagógiai – cikket, internetes oldalt, videót tekintettem át, dolgoztam fel egyedül vagy diákjaimmal – ezzel segítve a kutatásomat és a szakkörömön résztvevő tanulók fejlődését, vezetését.

A Fizika Tanítása Doktori Program valamennyi (online) előadása is segítségemre volt a félév során – különös tekintettel a témához szorosan kapcsolódó „Számítógépek sokoldalú alkalmazása a fizika tanítása során”, valamint „A fizika tanítása II. – Elektromosság” tárgyakra. Előbbi esetén rendkívül érdekes és hasznosak voltak Dr. Piláth Károly nagyon gyakorlatias előadásai és az általa karbantartott hiánypótló weboldal is. (<https://pilath.wordpress.com>)

## 2. Publikáció, megjelenések

A második félévben az irodalomkutatáson túl már ugyan vannak eredmények, de a publikációs tevékenység főként ezt követő félévekre koncentrálódik. Ennek megfelelően a félévben megjelent, megjelenés alatt álló, illetve a következő félévben tervezett megjelenések az alábbiak:

- Szakköri előadások, prezentációk (több mint 100 dia)
- „Marsi napraforgó, mosogatószivacs, távirányítás markoló – Nem csak játék!” cikk a Budai Ciszterci Szent Imre Gimnázium Pingvin magazinjában (2022. június) (2 oldal)
- Weboldal az „energia és teljesítmény” témakör tanításához az egyik napelemes marsjáró mozgásának videóelemzése alapján (<http://kepler.elte.hu/~horvath/>)
- „Marsi szondák építése” cikk a Budai Ciszterci Szent Imre Gimnázium 2021/22-es tanévében évkönyvében (várható megjelenés: 2022. szeptember) (4 oldal)
- Megjelenés a következő, 64. Fizikatanári Anketon



1. ábra: QR-kód a saját készítésű weboldalhoz az „energia és teljesítmény” témakör tanításához (marsjáró mozgásának videóelemzése alapján)

## 3. Szakköri, pedagógiai tevékenység és eredmények

A múlt félévben megkezdett kutatási és pedagógiai munkát ebben a félévben is a diákok bevonásával szakköri tevékenység keretében végeztük.

### 3.1. A féléves célkitűzések, keretek, szakköri csapat

A félév alapvető koncepciójaként a legfőbb célkitűzésként jelent meg, hogy a korábbi félévben működő modellben a bevált dolgokat tartsuk meg, szilárdítsuk, míg az eredmények tekintetében a létrehozott produktumokat fejlesszük tovább, de – az érdeklődés fenntartása miatt – újabb és újabb elemek is jelenjenek meg.

A keretek és a forma igencsak bevált az első félévben, így ezeket megtartottuk. Így a szakkör időpontja szerdánként a tanítás utáni 15:10 volt, és az időtartama a kezdetben tervezett 90 perc helyett az első félévben gyakran elérte a 180 percet, míg a második félévben néha 240 percet is meghaladta. A diákok lelkesedését ez jól mutatja, nehezen lehet őket hazaküldeni, a másnapi tanórákra történő készülétekre irányítani a figyelmüket.

A résztvevők továbbra is kis munkacsoportokban dolgoztak egy-egy részterületen, problémán, így mindenki aktívan részt tud venni a feladatokban, de csoportosan meg is beszélhetik az ötleteket, egymást segíthetik.

A kialakult munkaformákon sem változtattunk, egy alkalmon belül is a legtöbb megjelent:

- Előadások (ismeretátadás – részben meghívott előadókkal)
- Ismeretterjesztő (videók, cikkek, hírek) tartalmak elemzése
- Közös és egyéni tervezés és kísérletezés
- Terepgyakorlatok és külső helyszínek látogatása (valódi mérési környezet, nem csak iskolához kötődő, még emlékezetesebb élmények.)
- Otthoni projektmunkák (rendszeresség és időtartam kiterjesztése)
- Konzultációk (kiscsoportban felmerülő problémák, eredmények átbeszélése)

A 2. félévben a kezdeti 18 főből (3 lány, 15 fiú) más elfoglaltságok és a megnövekedett iskolai terhelés miatt 4 fő búcsúzott a szakkörtől, míg 2 fő (6. és 9. évfolyamról) csatlakozott, így 16 fővel (1 lány, 15 fiú) zártuk az évet. A diákok jellemzően



2. ábra: Bakonybélben a Spirit-Opportunity rover másolatával (külső helyszíni látogatás)

továbbra is 2-4 fős csapatokban dolgoztak, de előfordult, hogy 1-1 feladat (programozás, számítási feladat) egyénileg oldottak meg.

### 3.2. Feladatok, mérések, platformok

#### 3.2.1. Feladatok

A megelőző félévben megkezdett munka folytatásaként és új lehetőségként az alábbi feladatokat, területeket azonosítottuk, ahol további eredményeket lehet elérni:

- Kutató marsjáró roverek (Husar) (szerkezet és meghajtás):
  - Távvezérelhető LEGO marsjáró
  - Napelemes építőjáték rover
- Mérések miniszámítógépek segítségével
- Fizikai mérések kidolgozása, referenciameérések

Talaj	Légkör	Egyéb
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Talajnedvesség</li> <li>• Kémhatás</li> <li>• Szemcseméret</li> <li>• Talajsűrűség</li> <li>• Mágneses szemcsetartalom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hőmérséklet</li> <li>✓ Nyomás</li> <li>✓ Szélsebesség</li> <li>• Lebegő por</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mágneses tér</li> <li>• Gravitációs gyorsulás</li> </ul>

1. táblázat: Mérendő és már paraméterek fizikai jellemzők

A korábban azonosított lehetséges mérendő 11 paraméter közül e félévben 5 került meghatározásra, amit az 1. táblázat mutat. Ezeket az „Eredmények” alfejezetben részletezem.

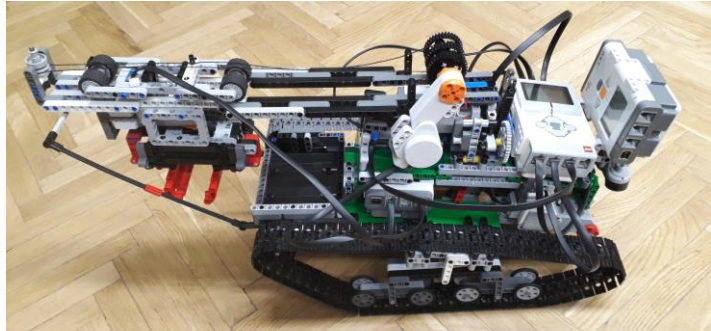
#### 3.2.3. Platformok a mérésekhez

A kezdetben azonosított 3-4 mérési-feldolgozási-kommunikációs hardver-szoftver platformon (Arduino/Raspberry / LEGO / mobiltelefon) túl a micro:bit nevű, a BBC által életre hívott, programozható és érzékelőkkel ellátott miniszámítógép is látóterünkbe került. Az elvégzett részletes méréseket az „Eredmények” részben ismertetem.

### 3.3. Elvégzett feladatok és eredmények

#### 3.3.1. Husar-18 távirányítható LEGO rover (Mechanika, meghajtás és vezérlés)

A LEGO-ból, illetve annak programozható vezérlőkből, motorokból és érzékelőkből álló kiegészített változatából (Mindstorm EV3 és NXT) készült lánctalpas rover jelentős továbbfejlesztésen ment keresztül, ami méretnövekedéssel is járt. Az új jármű hossza 39 cm, de a túlnyúl daruval együtt immáron 57 cm, szélessége pedig 21,5 cm lett, tömege pedig meghaladta a 2500 g-ot – ezzel kellő stabilitást nyújt a rajta elhelyezett eszközöknek. A korábbi verzióban csak egy vezérlőegység látott el feladatot, míg egy másik csupán a későbbi hasznos teher szerepét töltötte be. Most már a kiegyensúlyozásra szolgáló – jelenleg funkció nélküli – egységen túl 2 aktív eszköz (egy EV3 és egy NXT) került a fedélzetre. Ezek összesen 6 szervomotort vezérelnek az alábbiak szerint:



3. ábra: Az új "darus" LEGO rover (Husar-18)

- 2 db: a helyben megfordulni képes rover mozgatására (1-1 motor oldalanként)
- 2 db: a talajfúrásra (1 a fúrófej le-föl mozgatására, 1 a fúrófej forgatására)
- 2 db: az új mintavévo daru mozgatására (1 a markolófej kitolására-behúzására, 1 a markolófej pofáinak összezárására).

A LEGO marsjáró a fentiek segítségével az alábbi funkciókra képes:

- A rover előre-hátra mozgatása, helyben forgatása, 2-4 cm-es akadályok leküzdése a lánctalpaknak köszönhetően
- A talaj függőleges megfúrása néhány cm mélységig (a jármű aljából kitolható fúrófej segítségével)
- A kifúrt talajminta vagy tetszőlegesen max. 2 cm-es tárgy megemelése és a roveren található nyitott konténerbe helyezése (elszállításra, további analízisre)

Az utóbbi feladatot egy diákok által megtervezett és igen precízen kivitelezett ún. egyfőtartós futódarura szerelt kétkanalas markolóval valósítja meg. Megoldandó feladat volt a nehéz és aszimmetrikus motor súlypontjában való felfüggesztése, a két markolókanál szimmetrikus működtetése, a futódaru kocsjának könnyű és stabil futása.

A LEGO marsjárót egy bármilyen Android-alapú mobiltelefonról lehet vezérelni Bluetooth-kapcsolaton keresztül. Az ehhez szükséges igen összetett mobil applikációt és annak kezelőfelületét a szakkör programozással foglalkozó csapata tervezte és valósította meg. Az egyes motorok mozgatását, mintavételezést és kommunikációt ellátó 2 vezérlőhöz a környéken (kb. 10 m-en belül) lévő Bluetooth-eszközök programból történő felderítése után lehet csatlakozni, majd ennek sikeressége esetén a kapcsolat megszakadásáig a vezérlő utasításokat a kezelőfelület érintőképernyőjének segítségével kiadni.



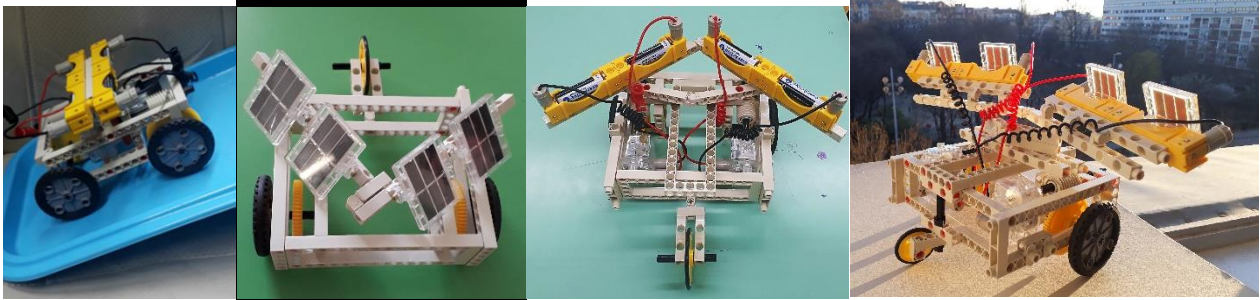
4. ábra: A mobiltelefonos applikáció egyik változata a rover irányítására, markoló mozgatására, fúró kezelésére, szenzorok adatgyűjtésére, roveren lévő vezérlőkhöz kapcsolódáshoz

A rover daruval átellenben lévő végén 2 szenzor is elhelyezésre került, egy infravörös távérzékelő és egy szinérzékelő, melyek mérési eredményei egy online elérhető Google Sheet táblázatba kerülnek valós időben rögzítésre.

A LEGO marsjárón kísérleti jelleggel egy Microbit miniszámítógép is helyet kapott, amihez szintén a mobil applikációból lehet integrált módon csatlakozni, onnan méréseket végezni. (A microbit beépítve tartalmaz 3-dimenziós gyorsulás- és mágneses indukcióvektor-mérőt, képes hőmérséklet és fényerősség mérésére.) Sajnos csak USB-n keresztül működött megbízhatóan, stabil Bluetooth-kapcsolatot nem sikerült kialakítani, így ez további fejlesztést igényel.

### 3.3.2. Rover a napelemes „Solar” építőjátékból (mechanika, meghajtás)

A LEGO marsjárón kívül egy másik mozgásra képes eszköz is született, továbbfejlesztve a korábbi félévben lévő, konstruktóri csapat által a napelemcellákat és elektromotorokat is tartalmazó, Technic LEGO-hoz hasonló „Solar” építőjátékból létrehozott rover-sorozatot. Ez a „marsi napraforgó”, „marsi eke” vagy „KaCsa-gány” elnevezéseket is megkapta – utóbbit az egyik fő konstruktőr becenevéből származtatva. Az eszköz két fontos tulajdonsággal rendelkezik. Egyrészt nem tartalmaz akkumulátorokat, így a mozgásához szükséges energiát teljes egészében a tetején található 4 napelemcellából nyeri. (Teszteléshez direkt napfény nélküli helyzetekben akkumulátorokat használtunk, a mesterséges megvilágítás nem volt elegendő.) Másik különlegessége, hogy bármiféle aktív vezérlőegység nélkül mindig a Nap mozgását követi, az égitest irányába azzal állandó szöget bezárva halad. (Innen ered a „napraforgó” elnevezés.) Ezt úgy éri el, hogy 2-2 napelemcella V-alakban, mint egy eke vagy ék (innen a másik megnevezés) eltérő irányba néz, és a cellák a két oldalt külön-külön meghajtó motorokhoz keresztben vannak beköltve. Ezáltal ha valamelyik oldalra kevesebb napfény jut, akkor a másik oldal motorja kisebb teljesítménnyel működik csak, tehát a nap felé fordul az eszköz. Az ék két szára egymással 107° és 180° közötti szöget tud bezárni. Előbbi esetben azonban a napelemcellákból nyert energia alig elég a szerkezet mozgatásához, míg utóbbinál a napelemek nem képesek a nap irányának különbségtételére, így nem tud a jármű elfordulni. Méréseink alapján a 137°-os szög az ideális kompromisszum a megfelelő teljesítmény és irányérzékenység között.



5. ábra: Az előző félévi, akadálymászásra optimalizált (v3.0) autó, a „napraforgó” koncepciója (v4.0 beta), az akkumulátoros (v4.1) és a végleges, tesztelés közbeni napelemes (v4.2) (az iskola ablakában) változata

Járolékos tulajdonsága, hogy amennyiben kismértékben egy tereptárgy (pl. szikla) árnyékába kezd bemenni, azt sok esetben képes kikerülni a napelemcellák részbeni árnyékolásának megfelelően. Másik tulajdonsága, hogy a Nap mozgását követve a reggel kelet felé menő eszköz a nap során délre, majd nyugatra fordul, közel félkör alakú pályát megtéve. Némi módosítással elérhető, hogy napról napra köríveket leírva, de ezek összetevéséből hozzávetőleg egy irányba – délre haladjon az eszköz. Szintén fontos megjegyezni, hogy a terep egyenetlensége, a meghajtás nem tökéletes szimmetriája miatt előfordulhat, hogy hosszabb távon a Nap iránytól elfordul az eszköz – pl. ahogy a sivatagban is az ember könnyen körbe-körbe megy –, viszont a javasolt konstrukció ezt a hibát is kiküszöböli, az ideális irány körül fog oszcillálni.

### 3.3.3. Talajnedvesség-mérések, modellezés és mérés technika

Az előző félévben a talajnedvesség mérésének vizsgálatára egy „szivacsmodell” dolgoztunk ki, melyben a közönséges mosogatószivacsot talajmodellként felhasználva azon keresztülszivárgó víz szivárgási sebességét és eloszlását vizsgáltuk és rögzítettük áram- és feszültségmérés segítségével, s ebből a talajszerkezetre vonhattunk le következtetéseket. Ennek korlátait is felismertük, ugyanis a szivacs tetejére akár több 10 cseppet is elhelyezhettünk, mire a felületi feszültség általi gátat leküzdve a víz elkezdett a szivacsba beszivárogni – hasonlóan egy erősen homokos talajhoz -, viszont ekkor nagyon gyorsan történt meg az elvezetés, a talaj ellenállása hirtelen akár több nagyságrendet is változott. Utóbbi áthidalására több eltérő tartományban mérő ampermérőt használtunk, míg előbbit a felületi feszültség csökkentésével – folyékony mosogatószer hozzáadásával értük el.

A fenti vizsgálathoz nemcsak jólnedvesítő, hanem jó vezetőképeségű folyadékot is kellett készítettünk, ennek vezetőképeségét referenciaértékként megállapítanunk. NaCl-ot használtunk a vezetőképeség növelésére, a koncentrációt 1 ezrelék pontossággal állítottuk be. Ehhez 1-1 g só kellett kimérnünk, úgy hogy csak 1 g pontosságú digitális mérleg és egy kétkarú mérleg áll rendelkezésre. A mérés technikai bravúrt kreativitással oldottuk meg, 32 g sót kimérve (3% pontossággal) a kétkarú mérleg segítségével feleztünk meg többször. Igazoltuk, hogy a koncentrációval egyenesen arányos a vezetőképeség.

Probléma volt az elektródok oxidációja, valamint a víz hidrolízise, ezért a méréséhez 400 mV-os feszültséget használtunk. A további elemzés érdekében az áram- és feszültségértékeket, a szivacs felszínét videófelvételen rögzítettünk.



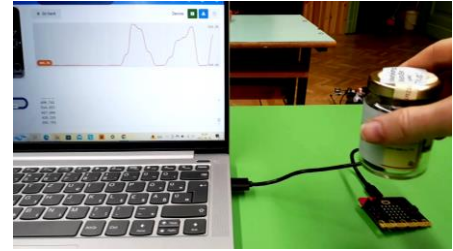
6. ábra: Vezetőképeségmérés



### 3.3.4. Miniszámítógépes (Arduino/ micro:bit) mérések

Arduino valamint microbit miniszámítógépek segítségével, szenzorjaikkal és programozásukkal több fizikai mérendő paramétert is sikerült megmérnünk, megbecsülnünk.

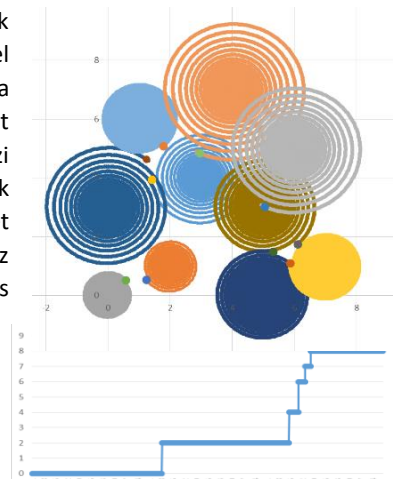
1. Arduinóval, annak feszültségforrását és -mérését belső ellenállásokkal modelleztük, s ezzel egy feszültségosztó híd kapcsolással ellenállást mértünk. Ehhez több mérés adata mellett a Kirchhoff-törvényekkel adódó 7-ismeretlenes egyenletrendszert használtuk fel – a matematikai készségeket is fejlesztve.
2. Szintén Arduinóval hőmérsékletet és páratartalmat mértünk 1 másodpercenként egyidejűleg mintavételezve azokat, és mentettük el az eszközhöz kapcsolódó számítógépre Excel által is feldolgozható formátumban.
3. Hasonlóan Arduino és egy hozzá kapcsolódó ultrahangos távolságmérő szenzorral cm-es pontossággal sikerült távolságot mérni. Az eszköz ugyan normál állapotú levőre van kalibrálva, de ha ismert távolságot mérünk (pl. a roveren rögzített felületről), akkor ennek ismeretében a hangsebességet is meghatározhatjuk. Ugyanilyen elrendezésben a Doppler-jelenséget kihasználva a szélesség nagyságrendjét is megmérhetjük. Ehhez a mért a „mért” és a valós, ismert távolság függvényében a sebességet megadó képletet meghatároztuk, teszteléséhez egy speciális kezdetleges szélcsatornát építettünk.
4. Bluetoothon vagy USB-n keresztül kapcsolódó micro:bit miniszámítógéppel (melyet sok diák már informatika óráról ismert) hőmérsékletet és mágneses térerősséget mértünk, utóbbi esetén a 3 iránykomponenst összegeztük. A mért értékek változását valós idejű diagramon jelenítettük meg – pl. egy neodímium mágnes irányát és távolságát érzékelve. Mint kiderült, a szenzor néha 1-1 hibás irreálisan nagy értéket küldött, amit egy saját fejlesztésű szűrő programmal elimináltunk megjelenítés előtt. Tervezzük, hogy egy rover elejére és végére is elhelyezünk egy ilyen szenzort, és a mérési eredmények eltéréseiből következtünk a mágneses tér „forrásainak” pozíciójára, erősségére, így felderítve a mágneses pólusokat, mezőket, kőzeteket.



7. ábra: Mágneses indukcióvektor valós idejű "szűrt" megjelenítése

### 3.3.5. Vezeték nélküli szondák hálózatbarendeződsének algoritmus és szimulációs vizsgálata

Felmerült annak lehetősége, hogy egy távoli égitest felszínére küldött eszközök hogyan képesek egymással kommunikálni, vezeték nélküli technológia segítségével akár egy kommunikációs hálózatba rendeződni, hogy egymással megosszák vagy a Földre gyorsabban eljuttassák információikat, vagy egymáshoz képest a pozíciójukat meghatározzák. Erre egy olyan autonóm működést dolgoztam ki, mely ezt lehető teszi azáltal, hogy a kezdeti helyükhöz képest spirális mozgást végeznek, a fix sebességük egy részét az adott hely körüli körzésre (tangenciális sebesség), míg egy másik részét az ettől való távolodásra (radiális sebesség) használják fel. Az így létrejövő alakzat az ún. Arkhimédészi spirál. Ha az eszközök egymáshoz képest bizonyos kommunikációs távolságba kerülnek, akkor megállnak, és ezt a kapcsolatot fenntartják. Excel segítségével szimuláltam ezen entitások mozgását ( $n=10$  csomópont), és az így létrejövő elrendeződést. Megfigyelhető, hogy amennyiben ugyanolyan sebességgel, távolodási sebességgel, irányba és egyszerre kezdik meg a mozgásukat, úgy a szinkronban lévő pontok egymástól mért távolsága nem változik, tehát véletlenszerűséggel biztosítani kell az eltérő paramétereket. Ezek eloszlása, időzítése, az algoritmus esetleges javítása további vizsgálatokat tesz szükségessé.



8. ábra: Az egységek pályája és pozíciója megállásuk után és a kapcsolódott csomópontok száma időben

### 3.3.6. Pedagógiai és versenyeredmények

A megszületett eredményeket az alapoktatásban is hasznosítani tudom. A marsjáró v3.0 lejtőn felkapaszkodását mutató videóelemzése az „energia és teljesítmény” témakörnél használható. Ennek részleteit az erről szóló saját weboldal mutatja be. (QR-kód: 1. ábra)

Pedagógiai sikernek gondolom, hogy a program a diákok körében töretlen érdeklődésnek örvend, a szakkört elhagyni kényszerülők kevesen vannak, és közel ugyanannyian kapcsolódnak be újonnan. A lelkesedést jól mutatja, hogy gyakran 4 óra elmúltával sem szeretnék a munkát felfüggeszteni. Szintén valamennyi diák új készségekre tett szert (pl. programozás, mérés-technika, csillagászati és űrkutatási ismeretek...), és ezt kamatoztatják is.

A kézzel fogható eredmények mellett a szakkör tagjai több versenyen is részt vettek. Idén először indult az iskolából 2 versenyző az Athletica Galactica Kárpát-medencei Középiskolai Csillagászati és Asztrofizikai Versenyen, ahol 3 fordulót teljesítettek. A Mikola Sándor Országos Középiskolai Tehetségkutató Fizikaverseny 2. fordulójába is többen kvalifikáltak magukat, a gimnáziumunkból eddig sosem látott arányban, szinte kivétel nélkül a szakkör tagjai. Az „Irány az űr!” Űrkutatási Versenyben 144 induló csapatból pedig a 2. fordulóiig jutott az egyik csapat, míg egy másik – főként 9-esekből álló – a 3. fordulóiig menetelt, és összesítettben 15. helyen zárt.



9. ábra: Néhányan a szakköri és versenyző csapatból az eszközökkel