

MŰSZAKI SZEMLE
53 szám, 2010.

Szerkesztőbizottság elnöke /
President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

Szerkesztőbizottság tagjai /
Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU
Dr. Biró Károly Ágoston – RO
Dr. Csibi Vencel-József – RO
Dr. Fedák László – UA
Dr. Kása Zoltán – RO
Dr. Kászonyi Gábor – HU
Dr. Majdik Kornélia – RO
Dr. Maros Dezső – RO
Dr. Nagy László – RO
Dr. Péics Hajnalka – RS
Dr. Puskás Ferenc – RO
Dr. Szalay György – SK
Dr. Turchany Guy – CH
Dr. Sebestyén-Pál György – RO

Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság – EMT
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică
din Transilvania
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche
Gesellschaft in Siebenbürgen
Hungarian Technical Scientific Society
of Transylvania

Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. Köllő Gábor

A szerkesztőség címe / Address

Romania
400604 Cluj, Kolozsvár
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.
Tel/fax: 40-264-590825, 594042
Levélcím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

Periodical accredited
by the CNCSIS

CNCSIS által elismert folyóirat

Revistă acreditată de CNCSIS

www.emt.ro

emt@emt.ro

Content – Tartalomjegyzék – Cuprins

Rádióhullámok terjedési sebességének direkt mérése Direct Measurement of the Speed of Radio Waves Măsurarea directă a vitezei undelor electromagnetice	
Dombi András, Tunyagi Artur, Néda Zoltán	3
Műszaki megfeleléségi vizsgálat és igazolás a CORUS Rail által gyártott 59 R2-(Ri 59N), 49 E1-, 41 GPU-, 46 G1- (SEi 60G), 50 E6-jelű sínrendszerekkel kapcsolatban Technical Agreements for Rail Types 59 R2- (Ri 59N), 49 E1-, 41 GPU-, 46 G1- (SEi 60G), 50 E6- manufactured by CORUS Rail Agreement tehnice pentru șine tip 59 R2- (Ri 59N), 49 E1-, 41 GPU-, 46 G1- (SEi 60G), 50 E6 produse de Corus Rail	
Kazinczy László	8
Műtárggyal befolyásolt talajvízáramlás hidrodinamikai modellezése Hydrodynamic Modeling of Groundwater Flow Influenced by Works Modelarea hidrodinamică a scurgerii apelor subterane în zona lucrărilor de artă	
Keszeyné Say Emma	16
Alsópályás acélhíd szerkezetek általános stabilitási kérdései Stability of Trough Steel Bridges Stabilitatea generală a tablierelor de poduri metalice cu calea jos	
Moga Petru, Gutiu Ștefan, Köllő Gábor, Sanda Naș, Arsene Cornel	23
Nemlineáris öt elem rendszer a karbantartásban Nonlinear System of Five Elements in Maintenance Sistem de 5 elemente non liniare in mentenanță	
Tomáš Stejskal	29
Komplex vegyületek a gyógyászatban Complex Compounds in the Therapy Comparații complexe în terapie	
Várhelyi Csaba, Uray Zoltán, Majdik Kornélia, Várhelyi Csaba	39

A kiadvány megjelenését támogatta:

Szülőföld Alap Iroda – Budapest
Communitas Alapítvány – Kolozsvár



Rádióhullámok terjedési sebességének direkt mérése

Direct Measurement of the Speed of Radio Waves

Măsurarea directă a vitezei undelor electromagnetice

DOMBI András¹, Dr. TUNYAGI Artur², Dr. NÉDA Zoltán³

¹mesteri hallgató, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Fizika Kar, Számítógépes Fizika szak

²posztdoktori kutató egyetemi professzor, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Fizika Kar

³egyetemi professzor, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Elméleti fizika tanszék

ABSTRACT

The speed of electromagnetic waves, is one of the most fundamental constants in physics. The independency of this constant of reference frames holds the key to special relativity. In the present work, we present, a direct and simple measurement method for this basic quantity by using a walkie-talkie like system. The method needs the construction of an emitter receptor system, but the measuring principle can be understood with basic high school level physics.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége légüres térben a fizika egyik legalapvetőbb állandója. Ezen értéknek a vonatkoztatási rendszerétől való függetlensége képezi a modern relativitáselmélet alapját. Jelen dolgozatban egy általunk épített adó-vevő berendezést mutatunk be, melynek segítségével lehetővé válik ezen alapvető sebesség értékének a direkt megbecsülése. A módszer egyszerű, mérésünk alapelve akár líceumi szintű fizikatudással is megérthető.

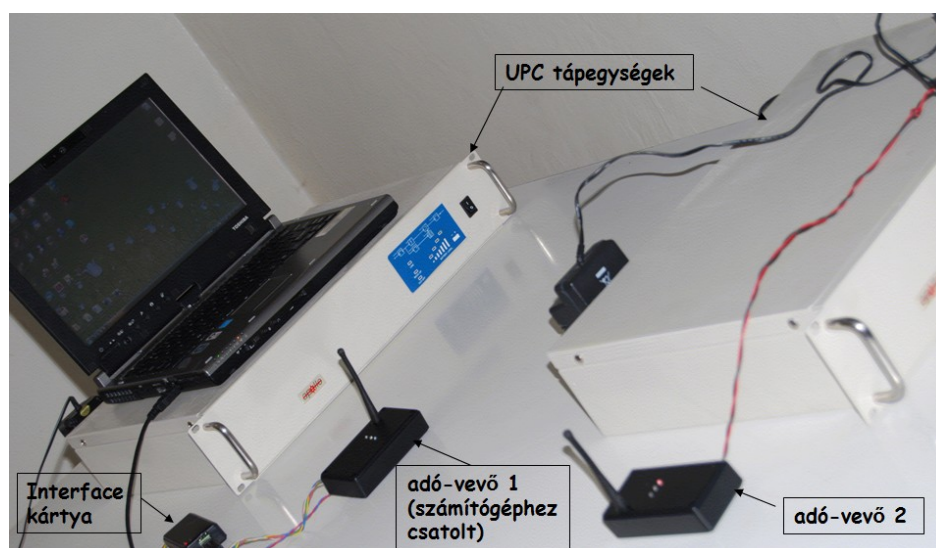
Kulcsszavak: fénysebesség, átfutási-idő, mérés, adatrögzítés, adatfeldolgozás

BEVEZETŐ

A fény terjedésének a megértése, illetve terjedési sebességének a mérése egy nagyon régi tudományos probléma. A fény különböző anyagokban terjed, és anyagtól függően a sebessége is különböző lehet. A fény légüres térben való terjedési sebessége viszont kitüntetett jelentőséggel bír [1]. Ez nyilvánvalóvá válik a fizika több területén is, mint például a speciális relativitás elmélet keretein belül, ahol ennek értéke meghatározza a különböző tehetlenségi vonatkoztatási rendszerekben mért koordináták közti kapcsolatot [2]. Einstein speciális relativitáselmélete értelmében minden megfigyelőnek, minden körülmény közt a vákuumban terjedő fény sebességére ugyanazt az értéket kell kapnia, függetlenül a saját sebességétől: a fénysebesség tehát egy univerzális állandó. A fénysugarak levegőben való nagy terjedési sebességének következtében ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) és a detektáló, illetve kibocsátó berendezések relatív lassú reakcióideje miatt direkt módszerekkel nagyon nehezen mérhető [3]. A fénysebesség direkt módon való mérésével sajnos még egyetemen sem találkozunk, általában csak elhisszük, hogy a fény úgy terjed, és olyan gyorsan, ahogyan azt nekünk elmondják. Líceumi szinten pedig végképp szóba sem jöhet egy fénysebesség-mérési kísérlet. Ezen mennyiség mérése azonban lényeges ahhoz, hogy úgy mond tapasztaľjuk, és ne csak elhiggyük a fénysebesség nagy értékét. Sok más dolgozat keretében is javasoltak líceumi szinten kivitelezhető kísérleteket, azonban ezek aránylag hosszadalmasak, nehézkesek és főleg drágák [3-6]. Ezen okok miatt szerettünk volna egy olyan kísérletet tervezni, melynek keretein belül érzékeltetni és tapasztalni lehet a fénysebesség számbeli értékét, és ezt egy egyszerű berendezés és módszer segítségével akartuk megoldani. Jelen dolgozat keretében mérési módszerünket és a mérési eredményeket mutatjuk be. Fontos azonban már az elején hangsúlyoznunk, hogy itt nem egy olyan új módszert akarunk adni, amivel pontosabban vagy jobban lehet fénysebességet mérni, mint a már létező modern kísérletekkel, hanem egy egyszerű, könnyen megérthető és didaktikai szempontból hasznos módszert akarunk bemutatni. Reméljük, hogy a módszerünk lényege középiskolás szinten is megérthető, és megismételhető akár líceumi laborokban is.

A KÍSÉRLETI BERENDEZÉS

Fénysugarakkal dolgozni, ezeket nagy távolságra küldeni és ott detektálni nagyon körülményes berendezéseket és beállításokat igényel. Ismert tény azonban, hogy a fénysugarak elektromágneses hullámok, és minden elektromágneses hullámnak a terjedési sebessége legüres térben ugyanaz a c állandó érték. Fénysugarak helyett dolgozhatunk tehát könnyebben kezelhető más elektromágneses hullámokkal, például rádióhullámokkal. A manapság nagyon elterjedt és olcsó deciméteres hullámhosszú adó-vevő integrált chippek [7], amelyek a 439.75 ~ 929.27 MHz frekvencia tartományban (0.68 – 0.32m-es hullámhossz között) képesek adat küldésére és detektálásra, kiváló lehetőséget biztosítanak erre. A módszerünkkel tehát ezen rádióhullámok terjedési sebességét fogjuk mérni. Földi körülmények között légüres térben nem mérhetünk, ezért a levegőben való terjedési sebességet fogjuk meghatározni. Ez azonban nagyságrendileg nagyon jól megközelíti a légürestérbeli terjedési sebességet, és az ettől való különbség a méréseink hibahatárain belül van. Mérési berendezésünk lényege két adó-vevő (AV), amelyek közül az egyik egy számítógép USB portjára van csatlakoztatva adapteren keresztül. Az AV-k fényképe az 1. ábrán látható.



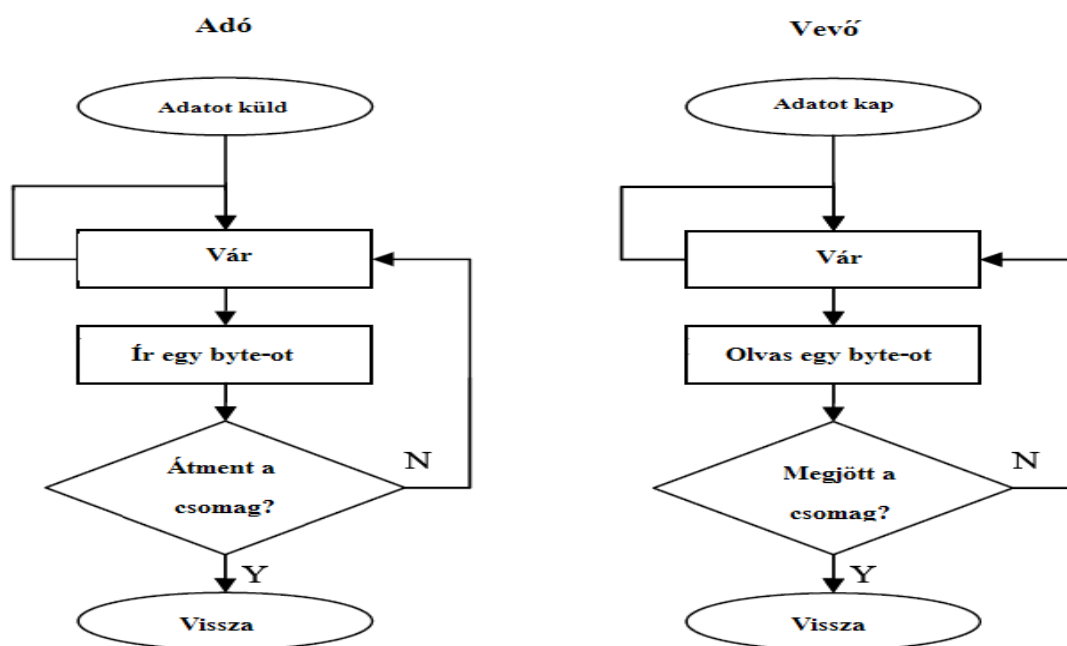
1. ábra

A méréshez használt két adó-vevő, ezeknek tápegységei illetve a notebook számítógéphez való csatlakozás.

Mindkét AV működéshez 12 V-os egyenáramú feszültségforrásra van szükség. Az általunk épített AV berendezés egy-egy byte nagyságú adatsomag elküldésére, illetve ezen adatsomag detektálására képes. Másodpercenként 30-40 adatsomagot tudnak küldeni illetve detektálni. A számítógéphez csatlakoztatott AV (jelöljük a továbbiakban ezt AV1-el) adatokat küld a másiknak (AV2). Miután AV2 ezt a jelet detektálja, válaszol AV1-nek. Ha AV1 választ kap az általa küldött jelre, a válaszig eltelt időt $1/8 \mu\text{s}$ pontossággal meghatározza, és a mért értéket az adapteren keresztül a számítógépnek továbbítja, ami lementi ennek értékét. Ha AV1 nem kap választ az általa küldött jelre, egy újabb adatsomagot küld.

Az AV-k legfontosabb része az RFM12BP kódszámú integrált áramkör [8], melyet a HOPE Microelectronics cég gyárt. Ez mind adatküldésre, mind adatrögzítésre alkalmas, így az AV1-ben és az AV2-ben is ugyanez található. Az RFM12BP egy olcsó ISM (industrial, scientific and medical) hullámhosszon működő adó-vevőként működtethető integrált áramkör. Három jól megkülönböztethető hullámhosszon lehet működtetni, ezek a következők: 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz. Könnyen alkalmazható távirányításra, drót nélküli jeladásra és jelrögzítésre, illetve adatgyűjtésre.

A működési módot, vagyis, hogy melyik az adó és melyik a vevő, az áramkörön található mikrokontroller állapota határozza meg. A mikrokontroller beállításai alapján egyik AV "master" állapotban működik, míg a másik AV „slave” állapotban. Így a két AV "master-slave" kapcsolatban lesz egymással, ami azt jelenti, hogy az AV1, mely az adatokat küldi, a "master" szerepét fogja betölteni, míg az AV2, mely visszajelez minden kapott adatra, „slave”-ként működik. Az AV-k egy C++ program segítségével működnek. Az AV1 adatot küld és elindítja az órát. Ha az AV1 által elküldött adat megérkezik az AV2-höz, az válaszol egy 1 byte nagyságú adatsomaggal. Amikor a visszajelzés elér az AV1-hez, az megállítja az órát, kiírja az eltelt idő értékét egy file-ba, és újra adatot küld, újraindítván az órát is.



2. ábra
Adó-vevő elvi működése

Az AV1 és AV2 segítségével tehát elvileg meg tudjuk mérni a kommunikálásra használt elektromágneses hullámok terjedési sebességét, ha ismerjük az AV1 és AV2 közti távolságot. A probléma azonban több okból kifolyólag nem ennyire egyszerű:

1. Az AV-k kis teljesítményűek, és maximálisan 3 km távolságra képesek kommunikálni egymással. A méréseket tehát aránylag kis távolságokon kell elvégezni, ezeken a távolságokon viszont az elektromágneses hullámok nagyon rövid (mikroszekundum nagyságrendű) idő alatt jutnak el az AV1-től az AV2-ig és vissza. Az 1/8 μ s időfelbontásunk éppen, hogy elégséges a mérés elvégzéséhez. Jobb mérési eredmény elérése érdekében nagyszámú átfutási időt fogunk mérni. Az AV-k egy adott helyzeténél kb. 10 percig gyűjtjük az átfutási idők értékét. Ez azt jelenti, hogy kb. 20 000 mérési eredményt tudunk majd feldolgozni egy adott távolság esetén.

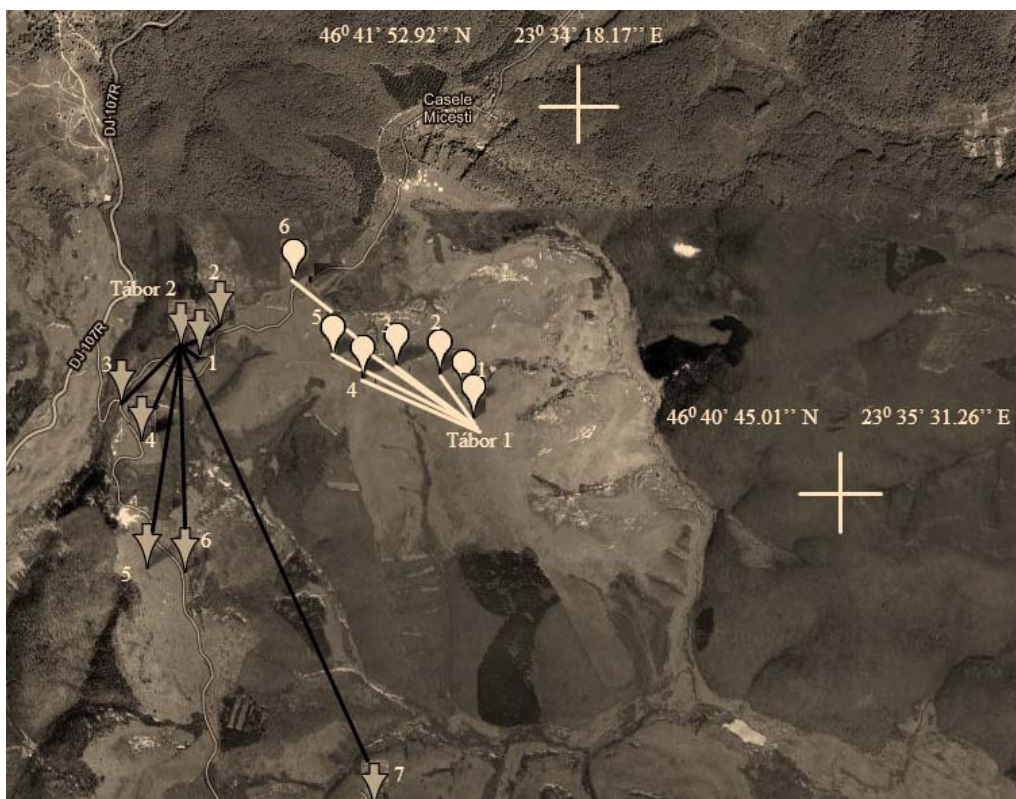
2. Az általunk használt rádióhullámok hullámhossza aránylag kicsi, ezért a visszaverődési effektusok lényegesek lehetnek. Ennek elkerülésére végeztünk nyílt terepen kell mérnünk, ott viszont általában nem áll rendelkezésünkre elektromos hálózat az AV-k és a számítógép működtetéséhez. A megoldás az, hogy két feltöltött hálózati számítógép akkumulátort (UPS) viszünk magunkkal a kiválasztott mérési helyre. Számítógépnek meg hordozható notebook számítógépet használunk, amely saját akkumulátorral rendelkezik.

3. Mivel nyílt terepen mérünk, és az AV-k közti távolság km nagyságú lehet, probléma ezen távolság pontos mérése is. Az AV-k közti távolság mérése a legegyszerűbben úgy lehetséges, hogy a manapság könnyen beszerezhető GPS helymeghatározó segítségével rögzítjük az AV1 és AV2 pontos koordinátáit, majd a koordináták ismeretében a Google Earth ingyenes program segítségével meghatározzuk a két földrajzi pont közti távolságot. Kis távolságok esetén (10-50m) a távolságot egy mérőszalag segítségével direkt módon mérjük.

4. A legnagyobb probléma azonban onnan adódik, hogy az AV-k közti kommunikációs idő nagy része nem az elektromágneses hullámok véges terjedési sebességéből származik, hanem az AV-n levő késésekből. Az AV-n az adatok kibocsátásához, illetve detektálásához szükséges idők nagyságrendekkel nagyobbak, mint a jel átfutásához szükséges idő. Egy adott távolságon való egyszerű mérésre tehát semmi reményünk nincs, marad a relatív mérések lehetősége. A relatív mérések lényege az, hogy különböző távolságokon végezzük el a mérést, és az átfutási idők különbségeit tekintjük. Feltételezve, hogy a berendezéseinken levő késés átlaga minden távolság esetén ugyanaz, a jel átlagos átfutási értékeiből adódó különbségek a rádióhullámok véges terjedési sebességéből származnak. A legegyszerűbb módszer a keresett sebesség meghatározására az, hogy a különböző távolságokon kapott átlagos átfutási idő függvényében ábrázoljuk az AV-k közti távolságot. Az így kapott egyenes meredeksége megadja a keresett sebességet.

MÉRÉSEK

Méréseinknek megfelelő terepet a Kolozsvár közelében levő Bükk-erdő szélén és Árpád-csúcs környékén levő nyílt legelő (mező) biztosított. Két különböző alkalommal mértünk ott, más-más pontok között. Mindkét alkalommal kiválasztottunk egy helyszínt a tábornak, amelytől látótávolságon belül aránylag messzire el lehetett jutni autóval. Minden helyszínen GPS segítségével rögzítettük a koordinátákat és a tengerszint feletti magasságot, az AV-k közti távolságot ezek segítségével utólag számoltuk ki. Egy helyen 5-6 alkalommal is leírtuk a koordinátákat, majd ezekből átlagokat számolva állapítottuk meg a pontos helyszínt. A két alkalommal használt mérési pontokat a 3. ábrán, a Google Earth képen szemléltetjük.



3. ábra

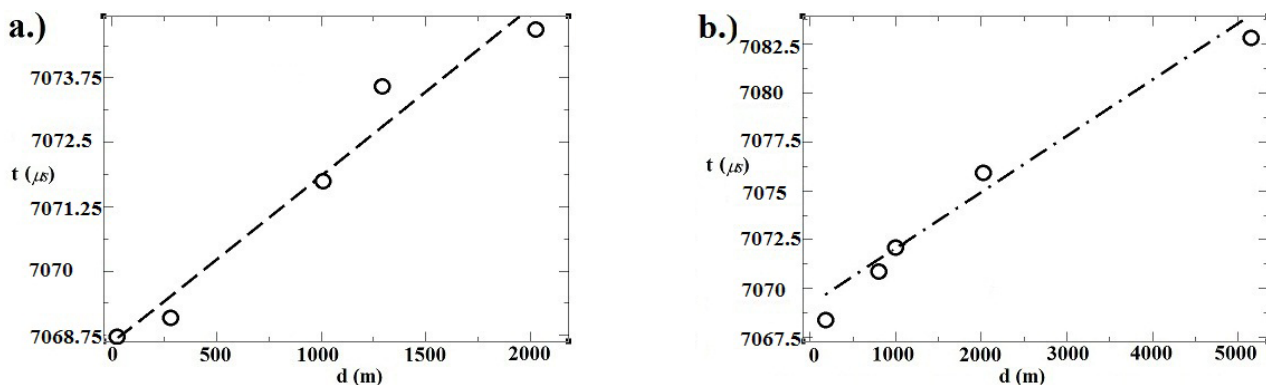
Google Earth térkép a méréseink helyszíneiről, fehér vonallal az első mérés, feketével a második mérés esetén a légvonalban levő utat jelöltük.

A tábornál maradt az első adó-vevő (AV1) egy tápláló UPS-el, és az adatrögzítéshez használt számítógép. Az AV2-t és a táplálásához szükséges tápegységet autóval hordoztuk különböző távolságokra. A tábornak és autóban levő két csapat közötti kommunikáció mobil-telefonokkal történt. A kiválasztott távolságokon kb. 15 percig kommunikáltunk az AV-eket és gyűjtöttük az átfutási idők értékeit.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérési eredmények feldolgozására a legegyszerűbb módszer az, hogy a különböző távolságokon mért adattömbökre egyszerű átlagot számolunk, így minden mérési távolságnak megfelel majd egy átlagos átfutási idő. A 4. ábrán ezen átlagidőket az AV-k közti távolságok függvényében ábrázoltuk az első illetve a második alkalommal végzett mérés esetén.

A mérési pontokra mindkét esetben egyenest illesztünk, és ezen egyenes meredekségének inverzéből kiszámítható a keresett elektromágneses hullámok terjedési sebessége. Az illesztés során az (a) mérés esetén $c_1=2.63 \times 10^8$ m/s, a (b) mérés esetén meg $c_2=3.18 \times 10^8$ m/s sebességet kaptunk. Ezeknek átlagát véve $c=2.905 \times 10^8$ m/s érték adódik, ami 3%-nál kisebb relatív eltéréssel egyezik a légüres térben való terjedési sebességre elfogadott értékkel [9].



4. ábra

Mérési eredmények (átlagos átfutási idő az adó-vevők közti távolság függvényében) az első (a) és a második (b) mérések esetén.

KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen dolgozatunkban egy egyszerű, könnyen megérthető és tanulságos módszert mutattunk be az elektromágneses hullámok terjedési sebességének nagyságrendi mérésére. A mérések módszertana a diákok által könnyen elsajátítható és a használhatósága abban áll, hogy nem kíván precíz beállításokat. Az adó-vevők birtokában bármely líceumi-szintű diákcsoport könnyen megismételheti.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen munkát a PNCDII-EIBioArch 12121 programja keretében végeztük. Tunyagi Arthurt a POSDRU/89/1.5/60189 poszt-doktori program támogatta.

KÖNYVÉSZET

- [1] Z. Néda, A fényrezabott fizika, Presa Universitara, Cluj-Napoca, 2008
- [2] C.M. Will, Was Einstein right?, Basic Books, New York, 1986
- [3] A. Szász and Z. Néda, Hálózati ping-pong, Fizikai Szemle, 2007/4, 132-133
- [4] J. Cooke, M. Martin, H. McCartney, B. Wilf, Direct determination of the speed of light as a general physics laboratory experiment, American Journal of Physics, 1968/36 (9), 847
- [5] K. Aoki, T. Mitsui, A small tabletop experiment for a direct measurement of the speed of light, American Journal of Physics, 2008/76 (9), 812–815
- [6] M.B. James, R.B. Ormond, A.J. Stasch, Speed of light measurement for the myriad American Journal of Physics, 1999/67 (8), 681–714
- [7] D. K. Misra, Radio-frequency and microwave communication circuits: Analysis and Design, Wiley-Interscience; 2-nd edition, 2004
- [8] Universal ISM band FSD transceiver module: <http://www.hoperf.cn/upfile/rfm12bp.pdf>
- [9] The International System of Units (SI) -8-th edition 2006 (International Bureau of Weights and Measures) http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf