

Garai Géza Szabadegyetem II.

Készült az „Tudományos képzés műhelyeinek fejlesztése az Alba Regia Műszaki Karon” (TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0010) című projekt keretében.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



Szerkesztette: dr. Nagy Rezső és Dr. Hajnal Éva

Lektor: Dávid András

© Dr. Györök György, Dr. Reskó Barna, Vári Viven, Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, dr. Busics György, Dr. Lakner József 2015.

ISBN

Felelős kiadó: Prof. Dr. Fodor János rektor

Felelős szerkesztő: Dr. Györök György

Nyomdai előkészítés: Dr. Hajnal Éva

Nyomdai munkálatok:

Printed in Hungary



Tartalomjegyzék

ELŐSZÓ A MÁSODIK KÖTETHEZ.....	4
MIKROKONTROLLEREK HARDVER-HATÉKONY ALKALMAZÁSA.....	5
A LEGO ROBOT NEM JÁTÉK!.....	16
TÁVÉRZÉKELÉS A VÁROSÖKOLÓGIÁBAN.....	24
A MŰHOLDAS HELYMEGHATÁROZÁS NEGYEDSZÁZADOS FEJLŐDÉSE: A GPS-TŐL A GNSS-IG	43
ÉLETÜNK A FÉNY	61
MIRŐL BESZÉLNEK A BÉLBAKTÉRIUMOK	80

ELŐSZÓ A MÁSODIK KÖTETHEZ

Az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karán három év alatt 19 magas szintű ismeretterjesztő előadás hangzott el a Garai Géza Szabadegyetem keretében, amelyeket egyetemünk oktatói, valamint az egyetemmel szoros kapcsolatban álló szakemberek tartottak.

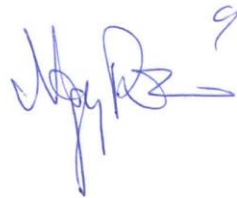
Joggal állapíthatjuk meg, hogy karunk ezzel az előadássorozattal is bekapcsolódott Székesfehérvár szellemi életébe. Az előadásoknak (az egy-egy téma iránt érdeklődők mellett) kialakult egy törzsközönsége is a – régies kifejezéssel élve - „művelt nagyközönség” körében.

A látogatók között a középiskolás diáktól a polgármesterig az érdeklődők színes palettája található meg. Hogy csak néhány példát említsünk: egyetemisták, aktív és nyugdíjas tanárok, mérnökök, fizikusok, orvosok, ...

Az előadások méltók voltak a szabadegyetem névadójához, Garai Gézához, a Videoton egykori kiemelkedő fejlesztőmérnökéhez.

2015. folyamán néhány hónapig az előadássorozat immár második alkalommal zajlik TÁMOP pályázat égisze alatt. Ez tette lehetővé kiadványunk második kötetének megjelentetését.

Az összes eddigi előadás felvétele megtalálható a következő webhelyen: <http://archive.galileowebcast.hu/>. Tisztelettel ajánljuk ezek megtekintését a kiadvány olvasóinak.



MIKROKONTROLLEREK HARDVER-HATÉKONY ALKALMAZÁSA

Dr. Györök György

Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar Székesfehérvár
gyorok.gyorgy@amk.uni-obuda.hu

Kivonat — Egyrészt a manapság használt mikrokontrollerek - egy-egy gyártóra jellemzően - azonos aritmetikai-logikai egységgel és belső környezettel, maggal rendelkeznek. A gyártók stratégiai szempontok miatt egy-egy típuson belül, közel azonos magú mikrokontrollereket forgalmaznak, viszont ezen mikrokontrollerek periféria-választéka felhasználás-orientált és igen tág határok között választható.

Másrészt az elektronikai alkatrészpiacon a leggyakrabban alkalmazott megoldásokhoz egy-egy cél-integrált áramkör található, amelyekből létrehozhatjuk a kívánt áramkört. Ezek a megoldások általában megfelelőek, gyorsan adaptálhatók, biztonságosak, viszont a kialakítandó áramköri lehetőségeket, az áramköri rugalmasságot, a kellő költséghatékonyságot korlátozzák.

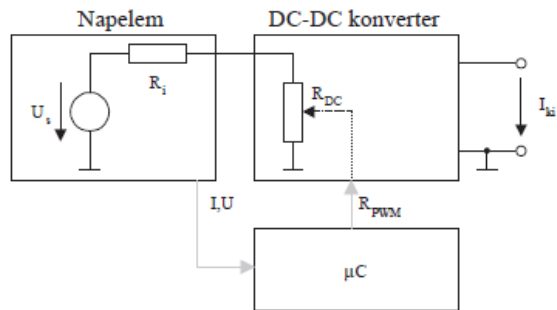
I. BEVEZETÉS

A mikrokontrollerek ki-, illetve bemeneti meghajtóképessége alapvetően az általános áramköri felhasználásnak megfelelően kialakított. Így a bemenetek impedanciája általában minden mikrokontrollernél azonos, csakúgy, mint a kimenetek I_{sinc} , illetve I_{load} áram-értékei. Ezen jellemzők bizonyos tartományban átparaméterezhetők, megváltoztathatók [6] [2]. Igen hatékony, rugalmas, kevés külső alkatrészt tartalmazó megoldásokat tudunk kialakítani akkor, ha a mikrokontrollerek konfigurálható belső perifériáit alkalmazzuk az áramköri megoldásokhoz [1] [2] [8]. Az alkalmazott mikrokontrollerek esetén, néhány példán keresztül olyan hardver hatékony megoldásokat mutatunk be, amelyek a mikrokontrollerek rendszerbe ágyazhatóságát nagymértékben kiszélesíti a nagyobb flexibilitás és a külső áramkörök számának minimalizálása miatt. Így bemutatunk egy olyan vezérlő egységet, amely napelemek bizonyos szigetüzemének optimalizálását valósítja meg, ipari környezetben alkalmazott indukciós kemence hatásfok-optimalizálását oldja meg, elektromos fűtőtest élettartam

növelő vezérlését végzi, pneumatikus eszközök sebesség kritikus vezérlését látja el, és impulzusszélesség modulációs eljárás segítségével kisinduktivitású tekercsek alacsony frekvenciájú mágneses terét állítja elő [9] [5] [3].

II. NAPELEMEK SZIGET-ÜZEMÉNEK OPTIMALIZÁLÁSA

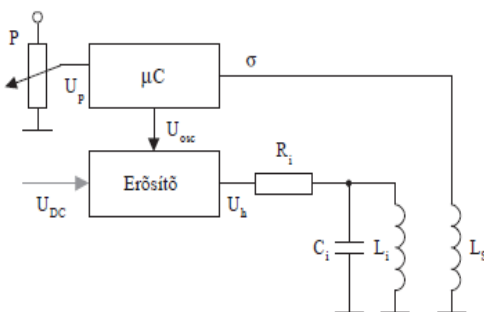
A fentiek alapján hatékonyan oldható meg a napelemek sziget-üzemének optimalizálása mikrokontrollerrel. A napelemek belső ellenállása a megvilágítás intenzitásától, a napsugarak beesési szögétől, és sok más környezeti paramétertől nagymértékben függ. Egy DC-DC konverter optimális illesztése (1. ábra) szigetüzemű alkalmazásnál akkor valósul meg, ha a tápegység bemeneti ellenállása (RDC) megegyezik a napelem belső ellenállásával. A mikrokontroller (μC) a napelem villamos teljesítményét (U, I) folyamatosan méri, és a konverter bemeneti ellenállását (RDC) az



1. ábra. Napelem optimális illesztése DC-DC konverterhez.

impulzus-szélesség modulációs jel RPWM kitöltési tényezőjének változtatásával úgy módosítja, hogy a teljesítmény a lehető legnagyobb legyen, amikor is a töltőáram (I_{ki}) is maximális. Így a DC-DC konvertert olyan módon kell vezérelnünk, hogy annak bemenő ellenállása egyezzen meg a napelem mindenkor belső ellenállásával ($R_i = R_{DC}$).

Pragmatikusabb megfogalmazásban azt is állíthatjuk, hogy impulzusszélesség modulációs eljárással úgy kell megváltoztatni a kapcsoló üzemű DC-DC konverter kitöltési tényezőjét, hogy annak a kimenetén tudjuk a lehető legnagyobb teljesítményt kinyerni. A mikrokontrollert ehhez az alkalmazáshoz a lehető

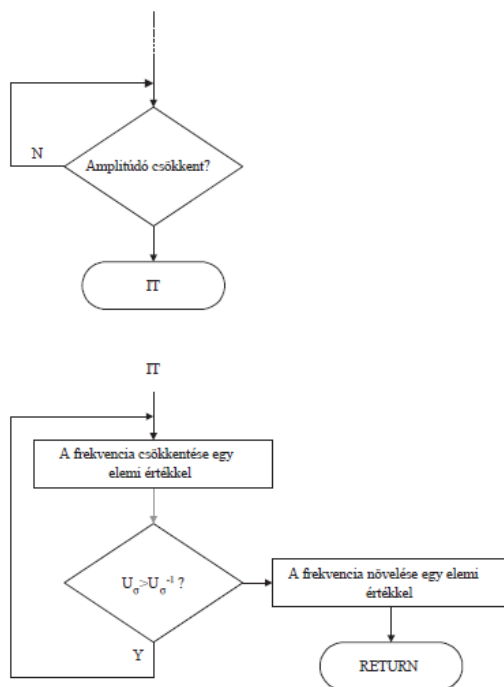


2. ábra Az örvényáramú indukciós berendezés funkcionális blokkvázlata

legtöbb belső perifériát felhasználva fogjuk alkalmazni. Így mikrokontrollerrel oldjuk meg a kapcsolóüzemű tápegység közvetlen vezérlését, csakúgy, mint a kimenő teljesítmény folyamatos mérését. [4] [19]

III. INDUKCIÓS KEMENCE ÖNOPTIMALIZÁLÁSA

Ugyancsak hatékony alkalmazás valósítható meg mikrokontroller segítségével egy indukciós kemence önoptimalizálása kapcsán is [8]. Az indukciós vagy örvényáramos kemencénél nagyfrekvenciás mágneses teret állítunk elő (2. ábra), amelyet egy tekercs belsejében alakítunk ki. Ebbe helyezzük a hevítendő munkadarabot. Az U_p a kívánt teljesítmény-alapjel. A Mikrokontroller (μC) az U_{osc} jelet a teljesítményerősítő bemenetére juttatja. Az erősítő az R_i , C_i , L_i hálózat segítségével juttatja a mágneses teljesítményt a hevítendő munkadarabra. Az L_s induktivitás σ jelével mérjük a mágneses térerősséget. Az UDC a tápfeszültség. A tekercs



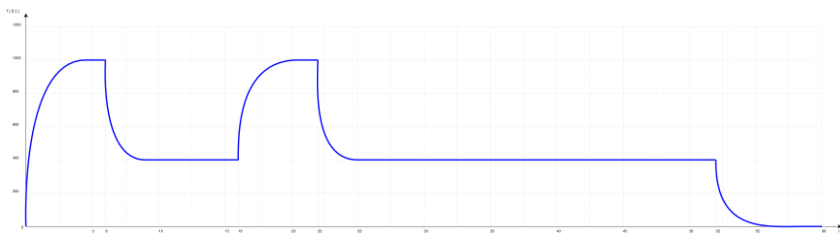
3. ábra A maximális indukciós teljesítmény megkeresése a frekvencia megváltoztatásával

akkor tudja a maximális mágneses energiát a munkadarabra juttatni, ha a párhuzamos rezgőkör, amelynek egyik eleme éppen a nagyfrekvenciás mágneses teret kicsatoló tekercs - rezonancia frekvenciája megegyezik a gerjesztő frekvenciával. Ha a munkadarabot a tekercs belsejébe helyezzük, akkor a tekercs induktivitása a munkadarab permeabilitásától és a tekercsbe helyezés geometriájától függően megváltozik, csakúgy, mint a párhuzamos rezgőkör rezonancia frekvenciája [26]. Az alkalmazott mikrokontroller folyamatosan méri (3. ábra) a nagyfrekvenciás teljesítményt, és mint frekven-

ciagenerátor hangolja a párhuzamos rezgőkör rezonancia frekvenciájának megfelelően a gerjesztő frekvencia értékét mindaddig, amíg a lehető legnagyobb teljesítményű mágneses energiát nem juttatjuk a munkadarabra és az örvényáramú hevítés nagysága maximális értékű nem lesz.

Ha az amplitúdó csökken, a mikrokontroller a megszakítási szubrutin végrehajtását kezdi el. Az U_{σ} a tekercsen mért feszültség, míg az U_{σ}^{-1} az egy ciklussal korábban mért érték. [7] [24] [23] [14]

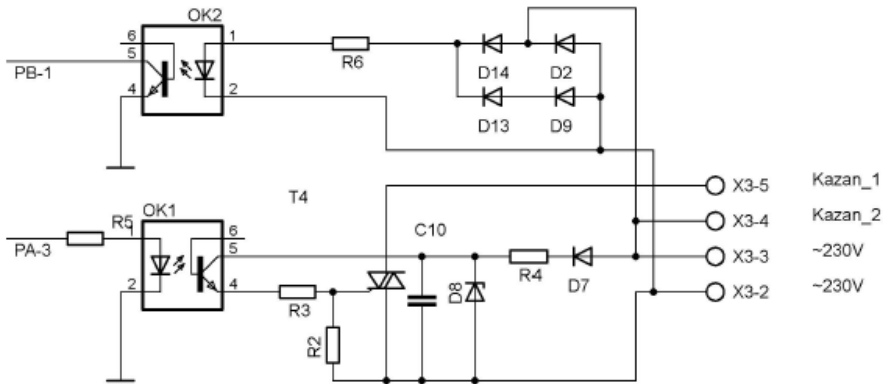
IV. ELEKTROMOS FŰTŐTEST ÉLETTARTAM-NÖVELŐ VEZÉRLÉSE



4. ábra A javasolt élettartam-növelő vezérlés egy adott fűtőtest esetén. A teljes időtartam 60s, a maximális teljesítmény 100%.

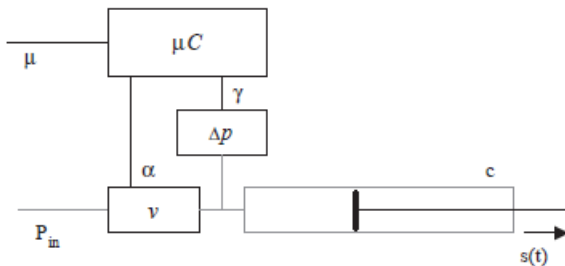
Elektromos fűtőtest élettartam-növelő vezérlésénél [10, 20] bizonyos periodikus, aperiodikus villamos alkalmazásoknál – elsősorban anyagi jellemzők miatt – a fűtőtest élettartama nagymértékben függ a felfűtési, illetve a kihűlési gradienstől [26, 39]. A tapasztalatok és a mért értékek alapján egy fűtőtest jóval hosszabb élettartamú akkor, ha kikapcsolásnál, illetve bekapcsolásnál valamilyen, az üzemi hőmérsékletnél kisebb értékű hő-tartó vezérlést alkalmazunk, a felmelegítési és a lehűtési sebesség idő-gradiensének szabályozásával együtt. Ilyen vezérlés időparaméterei, illetve a megfelelő hőmérsékleti értékek tapasztalati úton határozhatók meg (4. ábra). Ezen heurisztikus függvények alapján történő vezérléssel egy fűtőtest várható élettartama jelentősen növelhető. Ilyen vezérlés is hatékonyan valósítható meg mikrokontroller segítségével (5. ábra). Ebben az esetben a tirisztorok, TRIAC-ok fázishasítás szabályozását működtetjük úgy, hogy a mikrokontroller magát a gyújtóimpulzust állítja elő, a mindenkor null-átmenethez késleltetetten az algoritmus, illetve a mért hőmérséklet függvényében. [1] [10] [11]

V. PNEUMATIKUS AKTUÁTOROK SEBESSÉG-IDŐ FÜGGŐ VEZÉRLÉSÉRE



5. ábra Fázishasítós vezérlés mikrokontroller kimenetéről (PA-3), illetve a nulla átmenet érzékelés megoldása (PB-1).

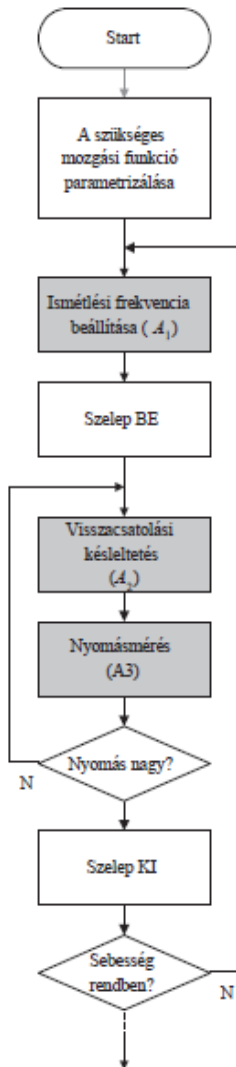
Általában a pneumatikus aktuátorokat sebességkritikus környezetben nem alkalmazzuk, mivel a sűrített levegős mozgatás meglehetősen hektikus viselkedésű. Ha egy pneumatikus beavatkozón egy adott tömeg helyezkedik el, és ezen tömeg mozgatását szeretnénk egy megadott sebesség-idő függvény szerint vezérelni, akkor ezt megtehetjük impulzusszélesség modulációs szelep-, illetve levegőnyomás vezérléssel (6. ábra). A rendszerbe P_{in} nyomáson érkezik a sűrített levegő, amelyet a v szelep kapcsol a c dugattyúra, amely $s(t)$ elmozdulásfüggvény szerint viselkedik. A mikrokontroller (μC) a Δp nyomásérzékelő γ jelét digitalizálja és az algoritmus függvényében az α jelen keresztül vezérli a szelepet. Ehhez szükség van egy rendszer-identifikációs mérésre (7. ábra). A mozgatandó pneumatikus rendszert rövid időre bekapcsoljuk, megvizsgáljuk az elmozdulás nagyságát, sebességét stb. és ennek függvényében tudjuk, impulzus-szélesség modulációs eljárással (8. ábra), a sebesség-idő függvényt



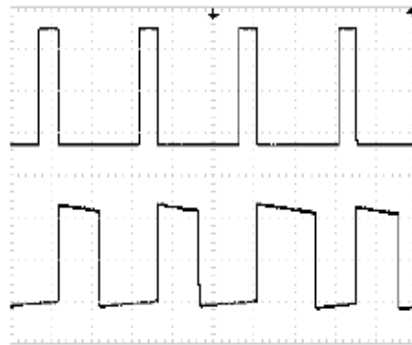
6. ábra Pneumatikus sebességvezérlés mikrokontrolleres környezetben.

van egy rendszer-identifikációs mérésre (7. ábra). A mozgatandó pneumatikus rendszert rövid időre bekapcsoljuk, megvizsgáljuk az elmozdulás nagyságát, sebességét stb. és ennek függvényében tudjuk, impulzus-szélesség modulációs eljárással (8. ábra), a sebesség-idő függvényt

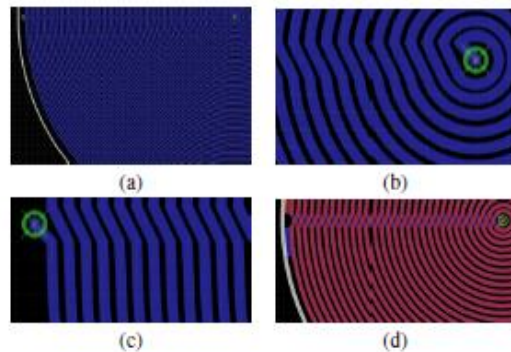
előállítani. Így, a mikrokontroller hatékony alkalmazásával, lehetőségünk adódik pneumatikus aktuátorok sebesség-idő függő vezérlésére.[22] [26]



7. ábra A mikrokontrolleres pneumatikus sebességvezérlés folyamatábrája. Az A-1, A-2, A-3 paraméterek a rendszeridentifikáció eredménye miatt változnak.

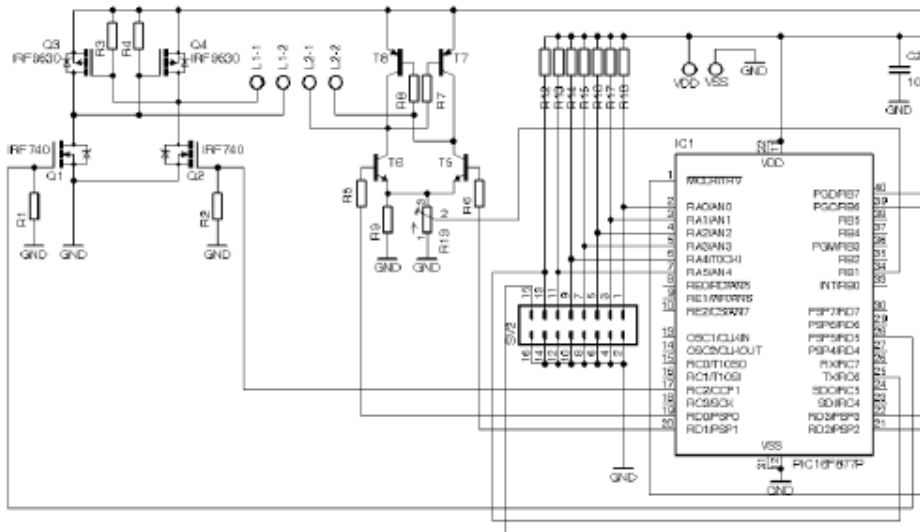


8. ábra A megvalósított sebességvezérlés időfüggvényei lassú mozgás és nagy terhelés esetén. Felül a szelep bekapcsoló-, alul a kikapcsolás várakozási impulzusai láthatók.



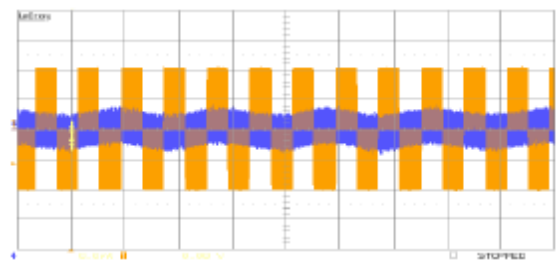
9. ábra A megvalósított sík tekercs nyomtatott áramköri tervei, *a.*, a tekercs negyede, *b.*, a tekercs belső-, *c.*, a tekercs külső végződése, *d.*, a nyomtatott áramköri kártya másik oldala.

VI. SÍKTEKERECSEK ALACSONYFREKVENCIÁS VEZÉRLÉSÉNEK MEGOLDÁSA



10. ábra Két síktekerces vezérlése mikrokontrolleres környezetben, FET ($Q1-Q4$), illetve BJT ($T5-T8$) félvezetős H -híddal megvalósítva.

Az alacsony frekvenciás mágneses tér orvos-biológiai alkalmazása gyakori. Általában nagyméretű vasmagos tekercset kell alkalmazunk, amely a felhasználás területeit korlátozza. Lényegesen jobb megoldás, ha úgynevezett síktekerceset alkalmazunk. A síktekerces (9. ábra) kis induktivitású, így alacsony frekvenciás vezérlése, kellően nagy térerősség mellett, csak körülményesen oldható meg. Ezért érdekes szakmai kihívás ezen síktekercesek alacsony-frekvenciás vezérlésének megoldása [24] mikrokontroller segítségével [15] [16] [17].



11. ábra Impulzus-szélesség modulációs jelek (sárga) és a tekercs szinuszoid áram-idő függvényei.

A mikrokontrollert ebben az esetben olyan vezérlőként alkalmazzuk (10. ábra), amely impulzus-szélesség modulációs eljárással a kívánt alacsonyfrekvenciás komponenst állítja elő (11. ábra), miközben a mágneses mező nagyságát mérjük. A mikrokontroller szoros visszacsatolásban vezérli a tekercs meghajtó áramkörét. [12] [13] [25]

VII. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott eljárásokban közös, hogy kevés nagy integráltságú külső elektronikus alkatrészt tartalmaznak. Az egyes alkalmazásokban felhasznált mikrokontroller a belső erőforrásaiból, - legyen az hardver vagy szoftver, - a legtöbbet használja. Ezek teljesüléséhez körültekintő áramkör kialakítási, valamint programozási és rendszertervezési készségekre van szükség. Mindezekkel összemérhetően fontos a mikrokontroller kiválasztása és annak alapos ismerete, továbbá a komplex megközelítés.[20] [18] [21]

HIVATKOZÁSOK

- [1] A.S. Deese, C.O. Nwankpa, J. Jimenez, J. Berardino, and J. Hill. Design of modular field programmable analog array hardware for analysis of large power systems. pages 1207–1210, 2012.
- [2] Gy. Györök, M. Makó. Configuration of EEG input-unit by electric circuit evolution. Proc. 9th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES2005), pages 1–7, September 2005.
- [3] Gy. Györök, M. Makó, J. Lakner. Combinatorics at electronic circuit realization in FPAA. Acta Polytechnica Hungarica, Journal of Applied Sciences, 6(1):151–160, 2009.
- [4] Gy. Györök. The function-controlled input for the IN CIRCUIT equipment. Proc. 8th Intelligent, Engineering Systems Conference (INES2004), pages 443–446, September 2006.
- [5] Gy. Györök. Self configuration analog circuit by FPAA. Proc. 4th Slovakién – Hungarién Joint Symposium on Applied Machine Intelligence (SAMI2006), pages 34–37, January 2006.

- [6] Gy. Györök. Self organizing analogue circuit by monte carlo method. Proc. IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI2007), pages 34–37, September 2007.
- [7] Gy. Györök. A-class amplifier with FPAA as a predictive supply voltage control. Proc. 9th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics (CINTI2008), pages 361– 368, November 2008.
- [8] Gy. Györök. The FPAA realization of analog robust electronic circuit. Proc. IEEE Internacional Conference on Computational Cybernetics (ICCC2009), pages 1–5, November 2009.
- [9] Gy. Györök. Crossbar network for automatic analog circuit synthesis. Proceedings (Liberios Vokorokos, Ladislav Hluchý, János Fodor szerk.) of the IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2014). IEEE Computational Intelligence Society, Budapest: IEEE Hungary Section, ISBN:978-1-4799-3441-6, pages 263–267, January 2014.
- [10] J. Kopják. Dynamic analysis of distributed control network based on event driven software gates. IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, ISBN: 978-1-4673-4751-8:p. 293–297, 2013.
- [11] J. Kopják and J. Kovács. Implementation of event driven software gates for combinational logic networks. IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, ISBN: 978-1-4673-4751-8:p. 299–304, 2012.
- [12] K. Lamár. A világ leggyorsabb mikrovezérlője. ChipCAD Kft., page 96, January 1999. [13] K. Lamár and Veszprémi K. A mikroszámítógépek térnyerése a villamos hajtások szabályozásában. Proceedings of the Kandó Conference 2002, Budapest, Hungary, pages 1–7, January 2002.
- [14] K. Lamár and J. Neszveda. Average probability of failure of aperiodically operated devices. Acta Polytechnica Hungarica, 10.(8.):pp. 153– 167, 2013.
- [15] L. Madarász and Zivcak J. Aspects of computational intelligence: Theory and applications. Revised and Selected Papers of the 15th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2011,

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-30667-9:p. 436, 2011.

[16] L. Madarász and Fözö R. Intelligent technologies in modelling and control of turbojet engines. *New Trends in Technologies: Control, Management, Computational Intelligence and Network Systems*, Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-213-5:p. 17–38, 2011.

[17] T. Orosz. Analysis of sap development tools and methods. 15th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), pages pp. 439–443, 2011.

[18] A. Pilat and J. Klocek. Programmable analog hard real-time controller [programowalny sterownik analogowy]. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89(3 A):38–46, 2013.

[19] Adam Pilat. Control toolbox for industrial programmable analog controller embedding state feedback controller. pages 1–4, 2012.

[20] A. Selmeçi and T. Orosz. Usage of soa and bpm changes the roles and the way of thinking in development. IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), pages pp. 265–271, 2012.

[21] S. Sergyán. Edge detection techniques of thermal images. IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, SISY 2012, pages 227–231, 2012.

[22] S. Sergyán. Useful and effective feature descriptors in content-based image retrieval of thermal images. LINDI 2012 - 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, Proceedings, pages 55–58, 2012.

[23] J. Tick. User interface redesign based on user behavior analyses. Proc. of ICC 2003 IEEE International Conference on Computational Cybernetics (ICCC2003), pages 29–31, October 2003.

[24] J. Tick. Potential Application of P-Graph-Based Workflow in Logistics. *Aspects of Computational Intelligence: Theory and Applications: Revised and Selected Papers of the 15th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2011*, pp. 293-303, Springer Verlag, 2012, Heidelberg; London; New York, 2012.

[25] J. Tick. Business process-based initial modeling at software development. Proc. of IEEE 11th International Symposium on Applied

Machine Intelligence and Informatics (SAMI2013), pages 141–144, January 2013.

[26] L. Vokorokos, N. Ádám, and B. Madol. The process control for psingle operators. 19th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, RAAD 2010 - Proceedings, pages 119–123, 2010.

A LEGO ROBOT NEM JÁTÉK!

A LEGO hallatán sok embernek az egyszerű de nagyszerű gyermekjáték jut először eszébe. Azonban nehéz szimplán játéknak nevezni akkor, amikor már egyre komolyabb és komolyabb műveletek megoldására képes.

Dr. Reskó Barna, adjunktus és Vári Vivien
Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar (OE-AMK) Székesfehérvár,
resko.barna@amk.uni-obuda.hu

***LEGO robot*— A LEGO MINDSTORM egy programozható robotikai építőkészlet, aminek a segítségével megalkothatjuk és irányíthatjuk a robotunkat.**

I. MIBŐL ÁLL A LEGO NXT?

Ahhoz, hogy beszélni tudjunk a *LEGO robotokról*, először is meg kell határoznunk, hogy mi is az.

A *LEGO NXT* készlet (1. ábra) tartalmaz egy központi egységet, ami kép és szöveg megjelenítésére alkalmas kijelzővel rendelkezik. Továbbá tartalmaz három darab szervómotort, négy darab szenzort, amelyek érzékelik a *fényt* (RGB színekóddal), a *távolságot* (ultrahang segítségével), és az *érintést* (amit nyomógommbal old meg). A *LEGO NXT* képes Bluetooth kapcsolatot kialakítani, más NXT-kkel, számítástechnikai eszközökkel kommunikálni. A *TECHNIC LEGO*-kkal kompatibilis, így egészen könnyedén építhetünk hasznosabbnál hasznosabb és ötletesebbnél ötletesebb robotokat.

A *LEGO NXT* robotunkat használhatjuk mobiltelefonnal, webkamerával (a mai modern okostelefonok már tartalmazzák a kamerát, így a webkamera már leáldozóban van). A *LEGO NXT* bővíthető, vásárolhatunk hozzá különféle szenzorokat, mint pl. iránytű, mozgásérzékelő, giroszkóp vagy esetleg omnikerék (3 kerék az egyensúlyozás segítésére).



1. ábra LEGO NXT készlet.

A *LEGO NXT* fontos és rendkívül előnyös tulajdonsága, hogy programozható. Saját programozói környezettel rendelkezik, ami grafikus. Úgy építhetők egymásra, mint maga a fizikai lego, ami oly népszerű lett. A programozói felülete olyan egyszerű, hogy egy 5 éves gyermek is gond nélkül tudja használni.

A *Lego NXT* másik nagy előnye, hogy C szintaktikájú

programozást is lehetővé tesz, ami professzionálisabb és eléri, hogy a képzeletünk szabjon már csak határt a megvalósításban. Az *NXT* operációs rendszere 256 taskot tud párhuzamosan futtatni, tehát multitaskosnak nevezhető, emiatt bonyolult feladatok megoldására is képes. Ehhez még hozzákapcsolva a bluetooth-kapcsolatot, vagy interfaceket generálva már egészen komplex feladatokat tud megoldani a programunk.

II. MIRE HASZNÁLHATÓ A LEGO-ROBOT?

További kérdéseink merülhetnek fel a *LEGO NXT*-vel kapcsolatban a fentebb említett képességei fényében.

Használhatjuk *játékra* (erről most nem beszélünk, nem melleleg szimpla játékhoz elég borsos az ára), vagy az *oktatás-tanulás* terén. Az oktatásban a *térlátás*, a *mechanikai ismeretek*, a *statika* és a *programozás* fejlesztésére kiválóan alkalmas.

Ipari megoldásokra nem használható, a *LEGO* nem képes precíz mechanikai megoldásokra, már csak azért sem, mert műanyagból van, ami hő hatására tönkremegy. A *LEGO robot* összeépítése komplex feladat. Legkönnyebben a programozás része sajátítható el, tanítható és fejleszthető.

III. NÉMET PÉLDA



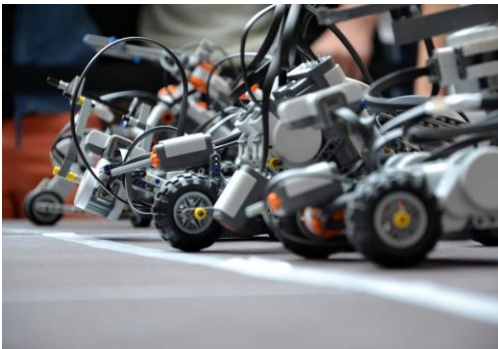
2. ábra Német gyerekek robotversenyén.

2011-ben Magdeburgban volt egy NXT programozó verseny, amit kisiskolásoknak szerveztek.

IV. LEGO ROBOT VERSENY AZ ALBA REGIA MŰSZAKI KARON

Az Alba Regia Műszaki Karon is szerveztek egy versenyt általános iskolásoknak. 5-6 általános iskolából jöttek csapatok a programozási versenyre. A feladatuk a robot építése és programozása volt, a programozást az *NXT* központi egységének programozásával kellett megoldaniuk (egyszerű grafikus felületű).

Feladataik: vonalkövetés, érzékelés után pet palackok feldöntése. A feladat elvégzésére három óra állt rendelkezésükre. A versenyt az Alba Plázában tartották, egy ott felállított versenypályán, így a nagyközönség előtt mutathatták be a gyerekek a műveiket. Három körben zajlott a



3. ábra Készen állnak a robotok a versenyre

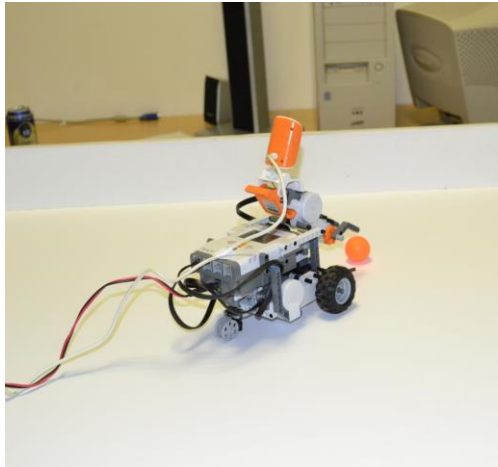
verseny, a helyszínen már nem lehetett módosítani sem a programon, sem az építésen.

A minden évben megrendezett *Kutatók Éjszakáján* is rendszeresek a versenyek, annyi különbséggel, hogy a gyerekeknek mindössze fél óra áll rendelkezésükre a feladat végrehajtásához, természetesen a feladat is könnyebb. A verseny pedig mindössze fél órás.

Évente az *Alba Regia Műszaki Kar* (röviden AMK) hallgatói is kapnak egy feladatot. A kapott feladat szituációs feladat, ami sok dimenziós műszaki problémát tartalmaz, ami 1 ember számára megoldhatatlan, mondhatni képtelenség, kvázi rákényszerülnek a hallgatók a csapatmunkára. Több csapat van 1 azonos feladatra. A legfőbb eszköz, vagyis az *NXT* alkalmazásával kell megoldaniuk a feladatot, határidők megszabásával, de szabad időbeosztással. Lényeges szempont, hogy működjön a robot, ha ez megvan, akkor a csapatok között versenyt szerveznek. A csapatok szervezése úgy zajlik, hogy a csapatvezető kiválasztása önkéntes alapon történik, a csapat többi tagja pedig sorsolással kerül kijelölésre. A csapatfőnök felelős mindenért, a határidők betartásáért, a csapat többi tagjának munkájáért.

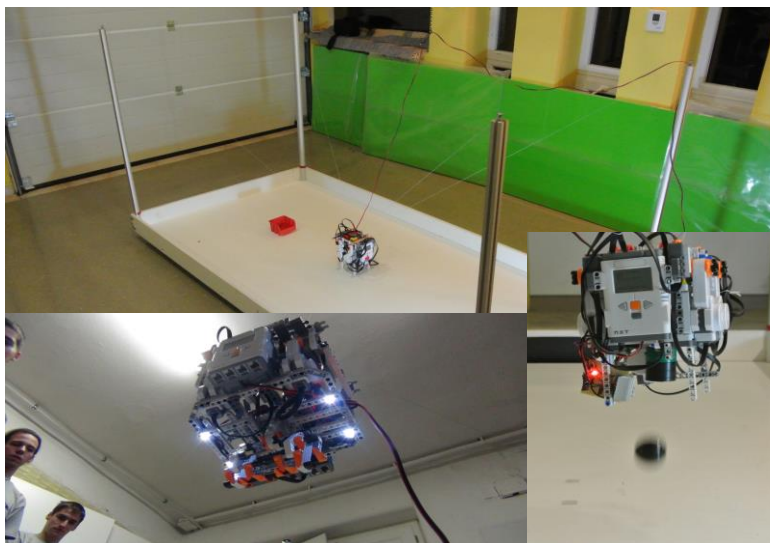
V. KORÁBBI PROJEKTEK

Az *első* hallgatóknak szánt projekt 2012-ben volt, és a feladat egy *focizó robot* létrehozása volt. A robotnak meg kellett keresnie a pályán a labdát, majd odamenni hozzá, „megfogni”, ezután odamenni a kapuhoz, az előzetesen felragasztott gólvonalat érzékelve 1 méterről a kapuba kellett rúgnia a labdát. Mindezt teljesen automatikusan, emberi beavatkozás nélkül.



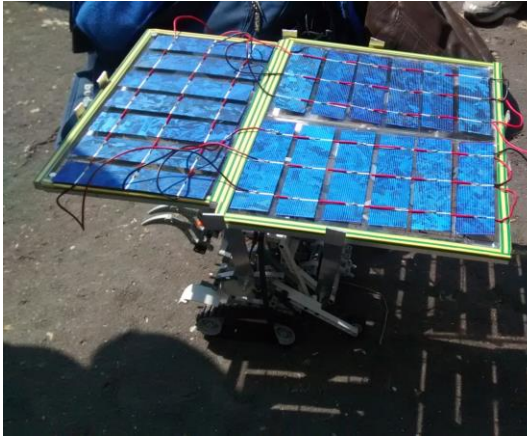
4. ábra A 2012-es évi projekt: „A focizó robot” nevet viseli

A következő projekt 2013-ban volt, amikor is egy egészen érdekes feladatot kaptak a diákok. Egy „Pókrobot”-ot kellett készíteniük. A pókrobot egy négy ponton felfüggesztett robot, aminek meg kellett keresnie a labdát a pályán, megfogni, felemelnie és végül egy kosárba helyezni. Ezt is automatikusra kellett tervezni, mint a 2012-es projektnél. Az egyik csapat igazán szellemes és zseniális ötlettel állt elő, mágnest alkalmaztak. A *Kutatók Éjszakáján* sokszor láthatjuk működés közben ezt a „Pókrobotot”, érdemes ellátogatni és megtekinteni.



5. ábra: Pókrobot

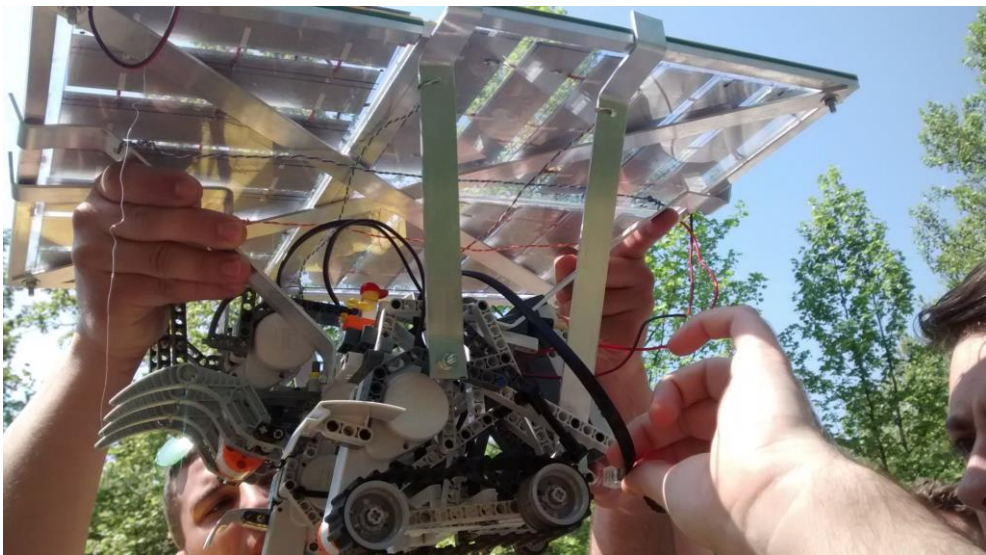
A 2014-es projekt témája egy ártatlannak induló ebayes vásárlás során született meg. A téma „Napelemes teniszlabdászedő robot” építése lett. A



6. ábra A 2014-es évi projekt: “A napelemes teniszlabdászedő robot”

robot célja az volt, hogy a teniszlabdákat keresse meg fedélzeti kamerával, szedje össze, majd pakolja le egy gyűjtőben. Természetesen ez is automatikus működésű, mint ahogy eddig minden év projektjénél megszokhattuk. A különbség ennél a projektnél a többihez képest a *napelem* mivolta volt. A napelemeknek kellett megoldania az

áramellátást, saját akkumulátor nem volt engedélyezett a robotban. Android operációs rendszerű mobiltelefonnal kellett megoldaniuk a vezérlést, a képfeldolgozást a diákoknak, számítógép használata nélkül.



7. ábra Utolsó igazítások

VI. A 2015 ÉVI PROJEKT

Az *idei (2015-ös) projekt* igazán érdekes, mert nem elég, hogy napelemes, de a föld helyett a vízben kell helyt állnia. A projekt témája *Napelemes hajórobot* lett. A cél egy GPS vezérlésű, napelemes energiaellátású, web alapú nyomonkövetésű és irányítású hajó létrehozása volt. A verseny a Tóparti Gimnázium előtti csónakázó tavon volt megrendezve 2015. május 5-én, ahol először szálltak vízre a hajók. A négy csapat mindegyikének működött a hajója, azonban csak az egyik csapat hajórobotja tudta teljesen megoldani a feladatot, akiknek a hajója a térképen bejelölt pontra önállóan, automatikusan jutott el. A nyertes hajó látható a képeken.



8. ábra A 2015-ös évi projekt: “A napelemes hajó robot”. A képen a verseny előtt látható tesztelés közben.



9. ábra A nyertes hajórobot a verseny közben.

FORRÁSOK ÉS SZAKIRODALOM

A cikk szerzője több éves főiskolai és egyetemi előadásaiból, az azokhoz készült jegyzetek és prezentációk felhasználásával állította össze e cikk anyagát. Néhány ajánlott honlap:

<http://bricxcc.sourceforge.net/>

<http://nxtnet.codeplex.com/>

<http://www.lejos.org/>

TÁVÉRZÉKELÉS A VÁROSÖKOLÓGIÁBAN

A távérzékelés alkalmazásának lehetőségei, előnyei és korlátai a városökológiai felmérésekben Székesfehérvár példáján.

Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, egyetemi docens

Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar Székesfehérvár,
wojtaszek.malgorzata@amk.uni-obuda.hu

Abstract— A beépített területek növekedése, valamint a természetes és a természet-közeli élőhelyek csökkenése és az ezzel járó negatív környezeti változás napjaink legaktuálisabb problémái közé tartozik. A környezet állapotának objektív felméréséhez, a változások nyomon követéséhez és a felmerülő problémák hatékony kezelésének kialakítása érdekében megfelelő adatokra és vizsgálati módszerekre van szükség. A távérzékelés, mint adatforrás kiemelkedő szerepet játszik a városökológiai kutatásban. Az adatgyűjtő távérzékelési technológiák folyamatos fejlődése következtében egyre jobb minőségű és egyre több adat áll rendelkezésre. Ezekből az adatokból csak megfelelő osztályozási módszerekkel nyerhető tematikus információ, ami a képfeldolgozó szoftverek és osztályozási eljárások fejlesztésével lehetséges. Kutatásainkban a távérzékelési adatok osztályozásához meglévő, a gyakorlatban jól működő módszerek alkalmazása mellett olyan osztályozási eljárás fejlesztését céloztunk meg, amely szuper nagyfelbontású műholdas felvételek, valamint integrált adatok alapján a városi területek felszínborításának térképezésére alkalmas.

I. BEVEZETÉS

Már évtizedek óta megfigyelhető a környezet – a levegő, a víz és a talaj – egyre gyorsuló degradációja. Az elmúlt évszázadok során az ember jelentősen átalakította a tájat, szántóföldek kialakítása céljából sok erdőt kiirtott, nagy területeket csapolt le. A technikai fejlődéssel, a civilizáció előrehaladtával egyre intenzívebben használatba veszi a természetet és saját belátása szerint alakítja át. Sokszor rövid távú gazdasági érdekből évente hatalmas természet-közeli zöldfelületek, szántók vesznek el. A természeti erőforrások negatív változása állandó, ijesztő növekedést mutat, ami több esetben visszafordíthatatlan következményekkel járhat a Föld és a rajta élő emberiség életében. A „Fenntarthatósági jelentés 2009” szerint Magyarországon 2007-ben a 4 586 ha termőföld végleges más célú hasznosítását engedélyezték, ami éves szinten naponta 12,56 ha-t

jelent. Ez az érték közel áll az európai átlaghoz. Egyes országok, mint pl. Németország az ehhez hasonló értéket 2020-ra harmadára tervezi csökkenteni [1].

Az utóbbi két századra jellemző globális folyamatok közül kiemelkedő helyen szerepel az iparosodás és az urbanizáció. Az urbanizáció vagy városiasodás a városok térbeli és népességbeli növekedését, valamint a városi életforma terjedését jelenti. A településállomány rendszerében végbemenő változások egyre nagyobb hatással vannak a földhasználatra és a természeti környezet állapotára. Az urbanizáció az egész világra kiterjedő folyamat, kontinensek, országok és sokszor országrészek közötti különbségekkel.

Világviszonylatban 47,2% a városokban élők aránya (1900-ban a Föld népességének tizenhárom százaléka lakott városokban). Közülük több, mint 500 millióan az 5 milliónál több lakossal rendelkező hatalmas városokban vagy megalopoliszokban (10 milliónál több a lakosok száma) él. Ez a növekedés az 1970-es évek óta egyre jelentősebb. Az ENSZ előrejelzései szerint a világ urbanizációs rátája a következő évtizedekben jelentősen meg fog nőni, 2030-ban el fogja érni az 59,7%-ot, 2050-ben pedig a 69,6%-ot [2].

A terjeszkedő városok és a városi életforma fenntartása egyre nagyobb ökológiai terhet jelent környezetünknek, hiszen az urbanizáció nem csupán a föld- és területhasználat és az ezzel járó folyamatok változását jelenti, de az eredeti ökoszisztéma megbontása miatt a környezetre való negatív hatása is globális jellegű. A Föld lakosságának gyors növekedésével folyamatosan nőnek a beépített területek és ennek következményeként egyre több ember mesterségesen kialakított városi környezetben él. Az urbanizációval párhuzamosan számtalan probléma lép fel. Ennek tipikus példája, hogy a beépített területtel csökken a talaj csapadék befogadó képessége, ami a felszíni lefolyások növekedésével jár. A burkolt felületek a csapadékvíz mennyiségnek és lefolyási intenzitásnak növekedését is eredményezik, így végeredményben fokozódik az árvíz esélye. A vízkészletek túlzott mértékű kiaknázása a felszíni vízfolyások szennyvíz-terhelődésének növekedését és a felszín alatti vízkészletek elfertőződését eredményezi [2]. A terjeszkedő városok egyre több energiaellátási és közlekedési infrastruktúrát igényelnek, és nagyobb földterületeket használnak fel. Ez károsítja a természeti környezetet (pl. víz, talaj és levegő szennyezése) és fokozza az üvegházhatású gázok kibocsátását, amely többek között éghajlatváltozáshoz, valamint erőteljesebb lég- és zajszennyezéshez vezet [3].

A városi területek antropogén terhelésének felmérése és értékelése, valamint a megváltozott ökológiai feltételek feltárása és azok hatásainak feltérképezése a legaktuálisabb témákhoz tartozik. Ez is indokolhatja a szélesebb körű társadalmi érdeklődést a téma iránt. A városökológia célja nem csak az állapot felmérése, antropogén terhelések tanulmányozása, de olyan kihívásokra is keresi a választ, mint a fenntartható városfejlődés. A feladat két jellemző irányból közelíthető meg. Egyfelől a tervezés (politikum) irányából, másfelől természettudományos szempontból. Ez a két irány erőteljesen kapcsolódik egymáshoz, annál is inkább, mert a környezetpolitika reális és sokoldalú információt igényel a településen belüli kulcskérdések megválaszolásához, pl. az optimális területfelhasználás tervezéséhez, a közlekedés fejlesztéséhez stb. A másik lényegi kérdés, hogy a beavatkozások hogyan javítják az emberek életminőségét, hogyan hatnak a környezetre, milyen természeti, társadalmi és gazdasági indikátorokat használhatunk fel ennek felméréséhez és a monitoringhoz.

Az urbanisztikai problémák tudományos vizsgálatához, a város által generált környezeti terhek felméréséhez a szakirodalom több modellt mutat be [4,5]. A felállított modellek, vizsgálati módszerek lehetőséget kínálnak egyes terhek számszerűsítése, a folyamatok elemzésére az adott kor technikai eszközeit felhasználva. A környezeti terhek külső és belső ökológiai következményeinek, valamint a városi erőforrásigény globális környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatához szükség van aktuális, térhez kötött adatokra, melyek a városi területek felszínborítására, használatára, beépítettségére, térbeli mintázatra, stb. vonatkoznak. A hetvenes években kialakult, és azóta intenzíven fejlődő távérzékelés technológia, mint adatforrás, egyre fontosabb szerepet játszik a városökológiai kutatásban [6,7]. A Földet megfigyelő műholdak megjelenésük óta, a rajtuk lévő szenzorokkal folyamatosan pásztázzák bolygónk felszínét, részletes (pl. 0,1x0,5 m - 30x30 m-es négyzetháló, földfelszín-elemek) és ugyanakkor a nagy (pl. 5000 - 36 000 km²) területekről homogén, periodikusan ismétlődő adatokat biztosítanak. A távérzékelési adatok alapján nem csak a terület aktuális állapotát tudjuk vizsgálni, de az archivált felvételek időbeni visszatekintési lehetőséget is biztosítanak. A több időpontú felvételek kiértékelésével adott időintervallumban bekövetkezett változások követhetők nyomon, valamint a változásokból trendek állapíthatók meg a jövőre nézve is. Az űrfelvételekből levezetett tematikus adatok térinformatikai adatbázisokba építhetők be, így aktuális, objektív, pontos és több szinten felhasználható adatokat biztosítanak. Az adatgyűjtő távérzékelési

technológiák folyamatos fejlődése következtében egyre jobb minőségű és egyre több adat áll rendelkezésre. Ezekből az adatokból csak megfelelő osztályozási módszerekkel nyerhető tematikus információ, ami a képfeldolgozó szoftverek és osztályozási eljárások fejlesztésével lehetséges [8]. A képfeldolgozás és távérzékelési adatok gyakorlati alkalmazása, az adatnyerési technológiák és térinformatikai szoftverek állandó fejlődése évek óta kihívást jelent a témával foglalkozók részére [9, 10, 11].

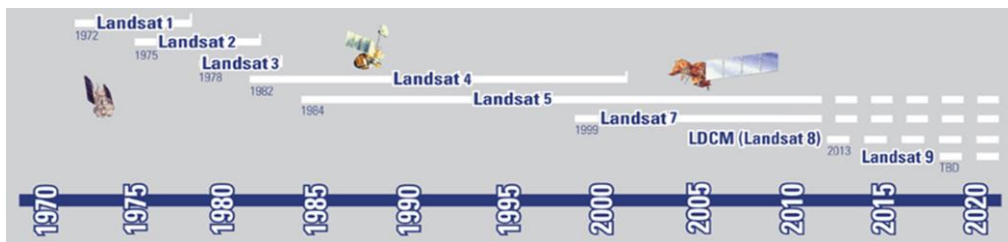
II. TÁVÉRZÉKELÉS MINT ADATNYERÉS

*„Olvastam az újságban, hogy szatellitek röpködnek fölöttünk. Pusztá szemmel nem látni őket, sőt gukkerral se, mert a kozmoszban röpködnek. Ők viszont látnak minket. Mi több, le is tudnak fényképezni mindent, ami a Földön található – mégpedig olyan pontossággal, hogy bármi, ami fél méternél hosszabb vagy szélesebb, olyan pontosan látszik a képen, mintha csak az unokatestvérünk készítette volna a képet a névnapunk vagy az esküvőnk alkalmából. Kit érdekel - gondoltam magamban -, az én pofám nem nagyobb fél méternél.” **Sławomir Mrozek: Ez nem fair***

A hatvanas években a meteorológiai műholdak és az embervezérelte űrhajókon végzett távérzékelési kísérletek eredményeként a NASA elkezdte egy földmegfigyelési műhold sorozat kidolgozását. Az ERTS (Earth Resources Technology Satellites) sorozat (később átnevezve LANDSAT- programra) első műholdját 1972-ben indították azzal a céllal, hogy az időben és térben lejátszó földfelszíni folyamatok rendszeres nyomonkövetéséhez, állapot rögzítéséhez adatokat nyerjenek. A LANDSAT műholdakat közepes felbontású (30-15m/pixel), multispektrális szenzorokkal szerelték fel. Összesen nyolc műholdat készítettek és indítottak el (1. ábra), ebből a LANDSAT 6 pályára állítása sikertelen volt. Azóta több mint ötven év telt el, és ez idő alatt újabb és újabb műholdak jelentek meg földkörüli pályán, mint pl. SPOT, IRS. A folyamatos fejlesztés és technikai fejlődés eredményeként növekszik a szenzorok geometriai és spektrális felbontása, ami azt jelenti, hogy egyre részletesebb és egyre több adat nyerhető távérzékeléssel.

A XXI század küszöbén pályára bocsátották az első szuper nagyfelbontású kereskedelmi műholdat (IKONOS, QuickBird, WorldView). A szuper nagyfelbontású szenzorok használatával geometriai felbontása multispektrális (több sávú) üzemmódban 4-2 méter/pixel, pankromatikus tartományban pedig méter alatti

pontossággal készülnek a felvételek. A multispektrális szenzorok mellett megjelentek a hiperspektrális felvevők, melyek képesek egyidejűleg több tíz vagy akár néhány száz tartományban érzékelni a vizsgált területet. A spektrális tartomány szűkítésével több száz csatorna alkalmazható a földfelszín objektumainak (pl. fizikai, kémiai tulajdonságok, kőzetek ásványi összetétele) és folyamatainak (pl. a növényzet fejlődése) nagyon pontos vizsgálatára. A műholdas távérzékelésben a hiperspektrális szenzorok többnyire nem egyedül, hanem más szenzorokkal együtt működnek. A jelenleg működő sokcsatornás rendszerek közül a legismertebbek az ASTER, a MODIS és a MERIS.



1. Ábra

LANDSAT földmegfigyelő program műholdjai: felbocsátás és működés befejezési év

A mesterséges energiaforrásokat használó távérzékelési rendszerek az ún. aktív rendszerek csoportját alkotják. Ide tartoznak a mikrohullámú berendezések (RADAR) és lézerszkennerek. A GPS (Global Positioning System) technológia fejlődésével, a mérések pontosságának nagyméretű javulása kezdődik el a 90-es évektől, amely lehetővé teszi a pontos lézeres felméréseket, valamint a georeferált téradatok nyerését. A jelenleg elterjedőben lévő légi lézerszkennelés teljesen új lehetőségeket ad az adatnyerés sebessége, mennyisége és a kinyerhető információ mennyisége, valamint pontossága szempontjából. A lézeres mérések – az eddigi kutatási eredmények alapján – különösen jól alkalmazhatók a földfelszínre (borított területeken is) vonatkozó információk nyeréséhez. A lézeres (LIDAR) térképezési technológiával nyert adatok (mérési pontok) térbeli eloszlása közel homogén, sűrűsége rendkívül nagy. Egy pont koordinátái (x,y,z) egy mérésből meghatározhatók.

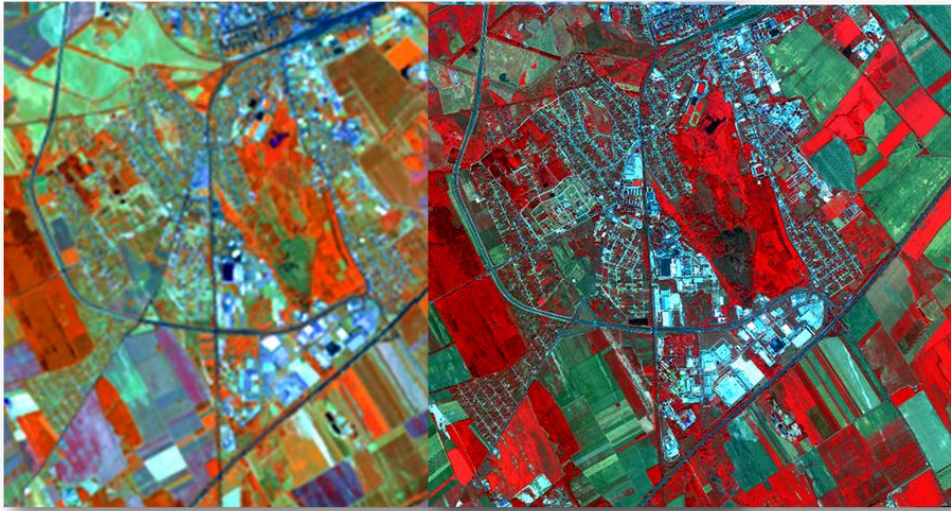
III. FELHASZNÁLT ADATOK

A kutatáshoz felhasznált távérzékelési adatok:

- LANDSAT TM (1986-2011), SPOT (2000)
- WorldView2 (2011)
- LIDAR szkennelés adatai (2008)
- Légifelvételek (2000, 2008, 2009)
-

A városökológiai kutatásokban olyan nagyfelbontású műholdas felvételek, mint LANDSAT TM (2. ábra) vagy SPOT inkább átfogó információt szolgáltatnak. Geometriai felbontásukból (5-30 m) adódóan a lakóterületekre jellemző felszínborítás kevert pixelek formájában jelenik meg, ami problémát jelent az osztályozásnál. Fontos azonban kiemelni a LANDSAT TM felvételek szerepét a lakóterületek térbeli terjeszkedésének vizsgálatában, monitoringjában, valamint a város térbeli és időbeli változásainak felmérésében. Az ilyen típusú adatok közel 30 évre visszamenőleg rendelkezésre állnak, továbbá a spektrális felbontásuk (7 sáv) miatt a LANDSAT TM felvételek – bizonyos méretarány mellett - kiválóan használhatók vegetációs index (pl. NDVI) alapú kiértékelésekhez.

A DigitalGlobe által fejlesztett WorldView-2 műhold (2. ábra), az első kereskedelmi (polgári) célú rendszer, amely multispektrális üzemmódban 2 méteres geometriai felbontással 8 csatornás felvételeket – a látható és a közeli infravörös tartományban – készít. A pankromatikus szenzor 50 cm-es terepi felbontású adatok rögzítésére képes (1. táblázat). Szuper nagyfelbontású űrfelvételek nagyobb geometriai és spektrális felbontásuk miatt több információt tartalmaznak, ami lehetővé teszi pl. a beépített terület lehatárolását, a beépítési típusok elkülönítését.

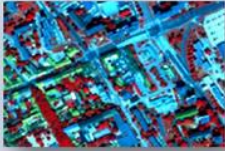
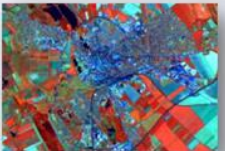




2. Ábra
Székesfehérvár különböző felbontású műholdas felvételeken (részlet).

2008-ban Székesfehérvár belvárosának egy részéről (5 km²) készült légi lézeres felmérés. A LIDAR mérésekkel egy időben a látható és a közeli infravörös spektrum tartományban légifelvételek is készültek. A 2009-es felmérés a teljes mintaterületet lefedi. A geometriai felbontás mindkét esetben 0,5 m volt (1. táblázat).

Közepes felbontású műholdas felvételeket (LANDSAT TM, SPOT) Székesfehérvár térbeli terjeszkedésének vizsgálatához, valamint a város térbeli és időbeli változásainak felméréséhez használtunk fel. A DigitalGlob által fejlesztett WorldView-2 műhold adatait, valamint légifelvételeket és légi lézeres felmérés adatait a beépítettség és vegetációs területek térképezéséhez alkalmaztunk.

1. táblázat. A kutatáshoz felhasznált egyes adatok alaptulajdonságai

	Adat típus	Spektrális felbontás	Egyéb jellemzők
	WorldView2 2011 július	Multispektrális (400-1040 nm) 6 sáv (látható spektrum tartomány:VIS) 2 sáv (közel infravörös:NIR) Pankromatikus (PAN)	Geometriai felbontás: PAN – 0.5 m MS – 2 m Radiometria felbontás: 11 Bit
	LANDSAT TM 1986 július, 2006 augusztus SPOT 2000 augusztus	Multispektrális (450-2350 nm) 3 sáv VIS (450-690 nm) 1 sáv NIR (760-900 nm) 2 sáv MIR (1550-2350 nm)	Geometriai felbontás: 30 m, 20 m Radiometria felbontás: 8 Bit
	II. Katanai felmérés (1819 – 1869) Egyéb tematikus térképek, adatok		
	LIDAR 2008, Toposys		LIDAR pontfelhő (első és utolsó visszaverődés: FE/LE) Pontosság: horizontális < ±0.50 m; vertikális < ±0.15 m

IV. SZÉKESFEHÉRVÁR TERJESZKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Történelmi áttekintés

A fent említett folyamatok Székesfehérvár városára is jellemzőek. Történelmi források szerint a város területén az i. e. 5. évezredből található meg az emberi település nyoma, de a várost X-XI. században alapították a Gaja-patak és a Sárvíz által táplált mocsarakból kiemelkedő szigeteken. A XIII. századig a Sárrét mocsara védelmet nyújtott a gyorsan fejlődő városnak, de egyben gátat is szabott a város terjeszkedésének (2. ábra). A középkorban virágkorát élő város a török megszállás alatt pusztulásnak indult. A megszállók sok épületet leromboltak, illetve az elhanyagolt épületek rommá váltak.



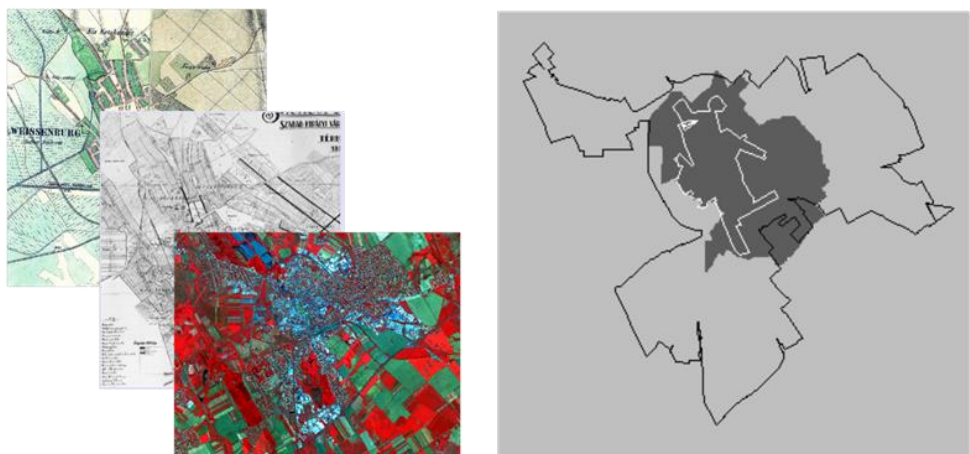
3. Ábra
Székesfehérvár XIII. században és jelenleg (2011).

A XVIII. század kezdetétől a város újabb felvirágzását élte. A mocsár visszahúzódása következtében a szigetek mérete sem szabott határt a terjeszkedésnek. A XIX. század eseményei fékező hatással voltak a városra. A két háború között újabb fellendülés következett be. Ebben az időben több nagyüzemet alapítottak. A II. világháború után intenzív iparosítás következett és ezzel párhuzamosan a népesség növekedése is elindult. Az 1970-es években a város népessége több mint 100 000-re nőtt (1945 a város lélekszáma megközelítette a 35 000 főt). Székesfehérvár és környéke a 90-es években az egyik legdinamikusabban fejlődő területekhez tartozott. Statisztikai adatok szerint jelenleg a város népessége 101 973 fő (KSH; 2010), sűrűsége 594 fő/km². Székesfehérvár lakossága a rendszerváltás óta fokozatosan csökken.

Székesfehérvár terjeszkedése 1819 – 2011 közötti időszakban

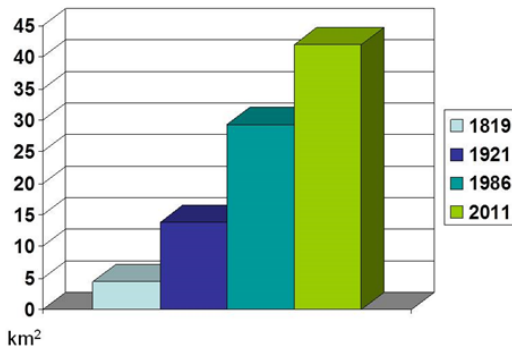
A városok térbeli növekedésének és a terjeszkedés gyorsaságának vizsgálatához, valamint a belső változások felméréséhez pontos térbeli adatok, térképek szükségesek. A jelenleg működő távérzékelési rendszerek térhez kötött, időben ismétlődő adatokat biztosítanak, ami lehetőséget ad ilyen jellegű felmérésekre. A távérzékelési adatok kiértékelésével nemcsak a terület aktuális állapotát tudjuk vizsgálni, de az archivált felvételek időben visszatekintési lehetőséget is biztosítanak. A

több időpontú felvételek alapján adott időintervallumban bekövetkező változásokat tudunk kimutatni. Továbbá a vizsgált időtartam bővíthető a korábbi időszakból származó térképek kiértékelésével. Székesfehérvár terjeszkedését az 1819 – 2011 közötti időszakban vizsgáltuk. Ehhez nagyfelbontású űrfelvételek mellett katonai felméréseket és a város régi térképeit használtuk fel. A több forrásból származó adatok együttes kezelésének alapfeltétele a közös koordináta rendszerbe való transzformálás. A műholdas felvételek viszonylag könnyedén georeferálhatók. A II. katonai felmérés adatai georeferált formátumban (EOV) tölthetők le. A régi térképek között azokat tudtuk az adatbázisba beépíteni, amelyeknek az EOV koordináta rendszerbe való transzformálása megoldható volt, vagyis megfelelő mennyiségű és minőségű illesztő pontok azonosítása volt lehetséges. A lakóterületek meghatározásához és elkülönítéséhez a beépített terület folytonosságát vettük figyelembe. A lakóterület, mint tematikus kategória heterogén, ez a felvételeken az intenzitási értékek ismétlődését, jellegzetes textúrát eredményez, ami vizuálisan jól elkülöníthető más kategóriáktól. Interpretáció során a texturát, a terület felszínborítási eltéréseit és a felszín egységeinek egymáshoz való viszonyát, összefüggéseit vizsgálva a lakóterület azonosítható és területe is meghatározható. A 4. ábrán látható Székesfehérvár területi növekedése az 1819 és 2011 közötti időszakban. A város határvonalának meghatározása a II. katonai felmérés térképei (1819), az 1921-ben készült várostérkép, és űrfelvételek (1986-2011) alapján történt. A terület növekedését az 5. ábra szemlélteti.



4. Ábra

Székesfehérvár területének növekedése 1819 és 2011 közötti időszakban: input adatok és kiértékelésének az eredménye.



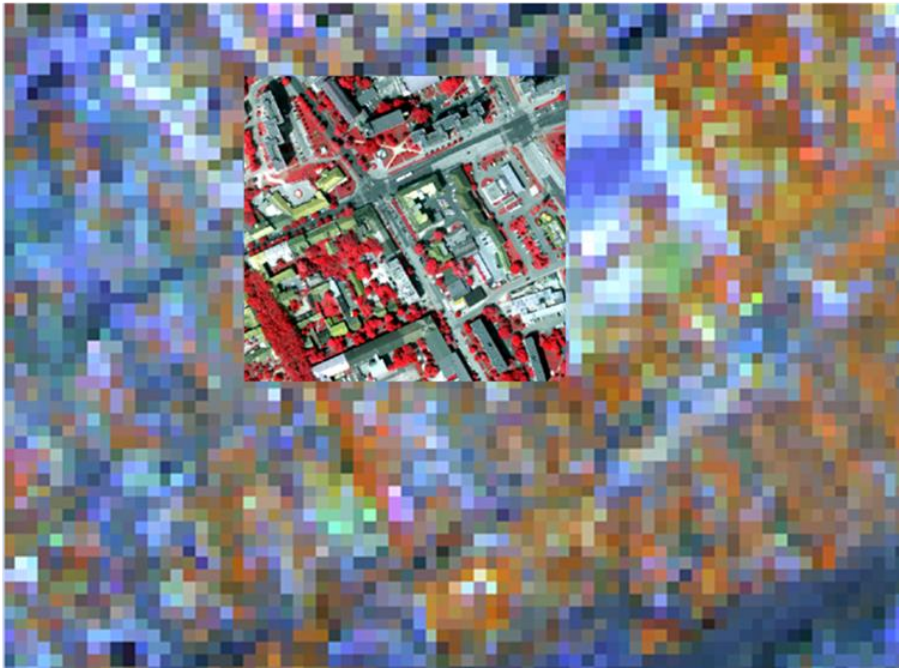
5. Ábra

Székesfehérvár területe (km²) négy különböző időpontra vonatkozóan.

V. VÁROSI FELSZÍNBORÍTÁS TÉRKÉPEZÉSE TÁVÉRZÉKELÉSI ADATOK OSZTÁLYOZÁSÁVAL

A városi területek műholdas interpretációjának nehézsége egyrészt a felszínt borító heterogén objektumok sokaságából adódik. Abban az esetben, amikor az egyes anyagok kisebb méretben reprezentáltak, mint a műholdkép felbontása, akkor spektrálisan vegyes pixelek keletkeznek. Ez azt jelenti, hogy a szenzorok által érzékelt pixelek – összetett – pl. az út, a ház, a növényzet spektrális tulajdonságainak kompozícióját képezik. Ennek következtében az űrfelvétel képpontjai nem egyetlen tárgyat reprezentálnak, hanem a felszínt alkotó anyagok visszaverődésének keverékét (6. ábra).

A felvételek geometriai felbontásának növelésével a probléma bizonyos mértékben csökkenhet, azonban a túl részletes adatok miatt az osztályon belüli különbségek oly mértékben megnövekedhetnek, hogy ez zavarhatja a feldolgozást és csökkentheti az osztályozás pontosságát. További gondot jelent, hogy a városi felszínborítás egyes kategóriái hasonló vagy azonos spektrális jellemzőkkel rendelkeznek, vagy egy kategórián belül spektrális eltérések lépnek fel (7. ábra). A mesterséges anyagkeverékek spektrális tulajdonságai, így megjelenésük a felvételen, koruk és pozíciójuk függvényében ugyanazon anyag esetében jelentősen eltérhet.



6. Ábra

Közepes felbontású műhold felvétel (30 m) és légifelvétel (0,5 m) pixeles felépítése.

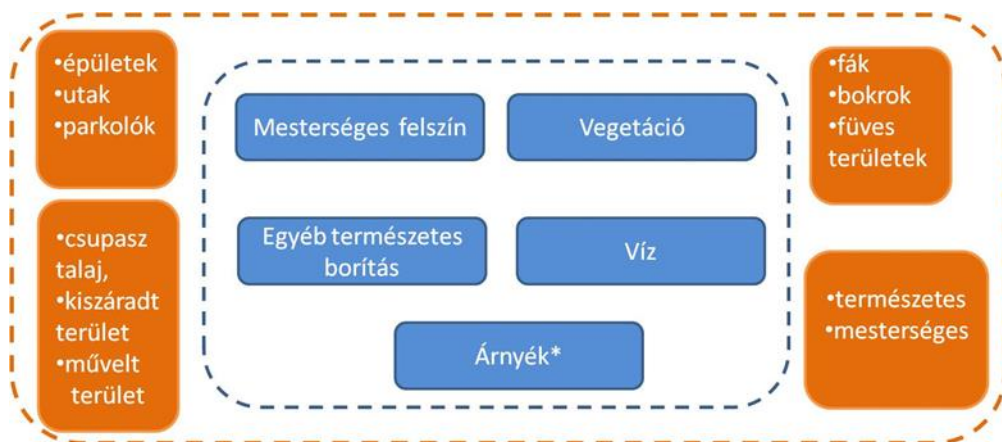


7. Ábra

Egy kategórián belüli spektrális eltérések példája: tetőkre jellemző különböző héjzat, anyag, kor, méret, alak.

Spektrális kérdések mellett a térképezendő kategóriák meghatározása is alapvető fontosságú. A felmérési módszertan egyértelműen definiált nomenklatúrát kell, hogy tartalmazzon. Célszerű, hogy ennek

meghatározása a jelenleg használt felszínborítási és földhasználati kategóriák alapján történjen. További lényeges szempont a felmérésben input adatként felhasznált adatok pontossága. A bemutatásra kerülő esettanulmányban a fent felsorolt szempontok figyelembe vételével a következő felszínborítási kategóriákat definiáltuk: épületek (2 alkategória: nyereg- és lapostető), utak és mesterséges felszín (3 alkategória: utak, parkolók, egyéb mesterséges felszín), vegetáció (2 alkategória: fás-bokros, füves terület) és víz (8. ábra). Első szinten került sor a 8. ábrán kék háttérrel megjelenő kategóriák (mesterséges felszín, vegetáció, víz, egyéb természetes borítás és az árnyékos területek) elkülönítésére, majd a második szinten történt az alkategóriák leválogatása. Az árnyékos területek – a geometriai tulajdonságok és a szomszédsági viszonyok alapján – utólagos feldolgozással átsorolásra kerültek a kategóriák valamelyikébe.



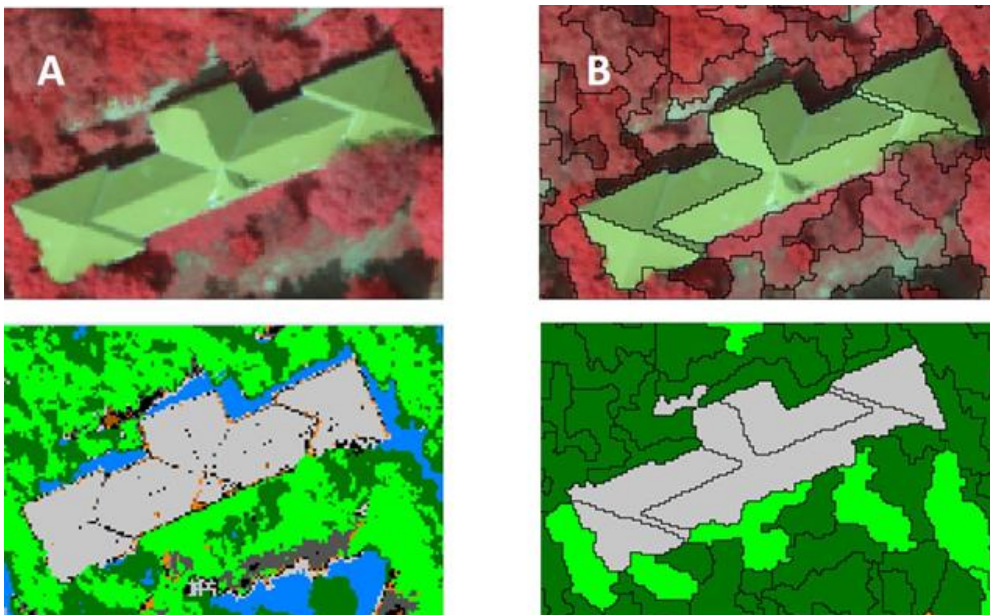
8. Ábra
Városi felszínborítási kategóriák kétszintű meghatározása.

Több forrásból származó adatok osztályozása

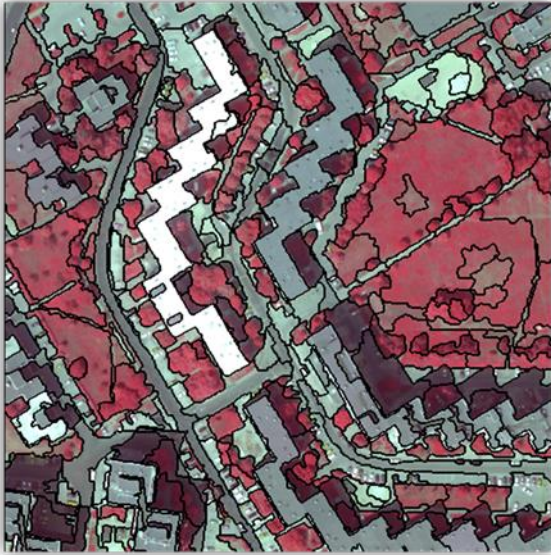
A távérzékelési adatok kiértékelése során a felvétel egyes pixeleit vagy pixel csoportjait a tematikus kategóriák egyikébe soroljuk. A besorolás terén különböző módszerek terjedtek el. A pixel-alapú osztályozásnál az ismeretlen hovatartozású képpontokat önmagukban, környezetüktől függetlenül vizsgáljuk, és a tanulóterületek spektrális jellemzői alapján a legmegfelelőbb kategóriába soroljuk be. A felszínborítás jellege miatt egy homogénnek tekinthető kategória egyes pontjai az átlagtól eltérhetnek,

így az ilyen pixelek más kategóriába kerülnek, mint ahova környezetével együtt valójában tartoznak. A távérzékelési adatok interpretációjának nehézségei a beépített területek sokféleségéből adódnak, valamint abból, hogy a városi felszínborítás egyes kategóriái hasonló, vagy azonos spektrális jellemzőkkel rendelkeznek. A szuper nagyfelbontású felvételek esetében a túl részletes adatok miatt az osztályon belüli különbségek oly mértékben megnövekedhetnek, ami melléosztályozáshoz vezethet. Ez azt jelenti, hogy a tematikus térképen valójában egy adat-kategóriához tartozó pixelek más kategóriába lesznek besorolva. Ez a típusú melléosztályozás a 9. ábrán látható.

A probléma megoldását olyan osztályozási eljárások fejlesztése és alkalmazása jelentheti, amelyek a képelemzésnél a fent felsorolt szempontokat veszik figyelembe. Az ún. objektum-alapú osztályozás (OBIA) az összetartozó pixelekként, mint képi egységekkel (szegmensekkel) dolgozik, így a képosztályozást megelőzően el kell végezni a kép szegmentálását. Ennek során a képet egymással összefüggő, homogén, a szomszédoktól elkülönülő területekre osztjuk fel (9., 10. ábra).



9. Ábra
Pixel-alapú (A) és szegmens-alapú (B) osztályozás eredménye.

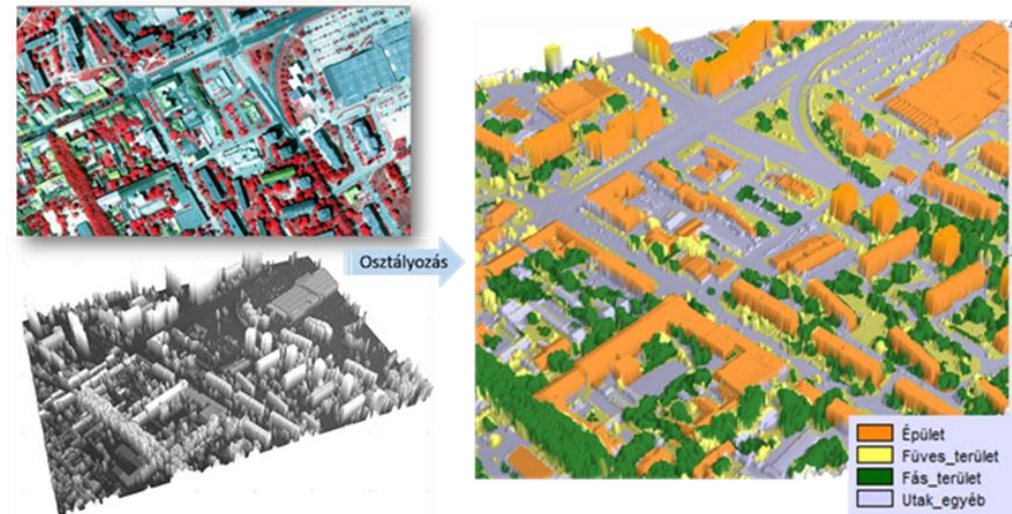


10. Ábra
Spektrálisan hasonló pixelek csoportosítása (szegmentálás).

A szegmensek nagysága a folyamat elején meghatározott hasonlósági kritérium küszöbértékétől függ. A szegmentálás során előállított objektumokat az osztályozás további lépéseiben input adatként használjuk. A városra jellemző felszínborítási kategóriák spektrális heterogenitása és a távérzékelés fizikai törvényszerűségei miatt az egyes felszínborítási kategóriák térképezése csak a spektrális jellemzők figyelembevételével nem egyértelmű. Különösen gondot jelent ez az épületek és az utak esetében. Az épületek lehatárolásához légi lézerszkennelésből származó magassági adatokat használtunk fel. Az épületek magasság alapján történt leválogatása lényegesen pontosabb eredményt adott. A magasság alapján történt előzetes leválogatást több hiba terhelte, pl. a fás területek besorolása az épületek kategóriájába. Ezt követően spektrális, szomszédsági vagy geometriai elemzések alapján történt a végleges osztályozás (11. ábra). Mindezt az egyes kategóriák azonosítását és leválogatását célzó algoritmusok kifejlesztése előzte meg. Az eljárás a következő lépéseket tartalmazza:

- szegmentálás és kategória jellemzőinek definiálása, tesztelése
- szegmensek előzetes osztályozása
- az osztályozás módosítása szükség esetén, pl. spektrális vagy térbeli tulajdonságok alapján

➤ pontossági vizsgálat



11. Ábra

Több forrásból származó adatok osztályozásának eredménye.

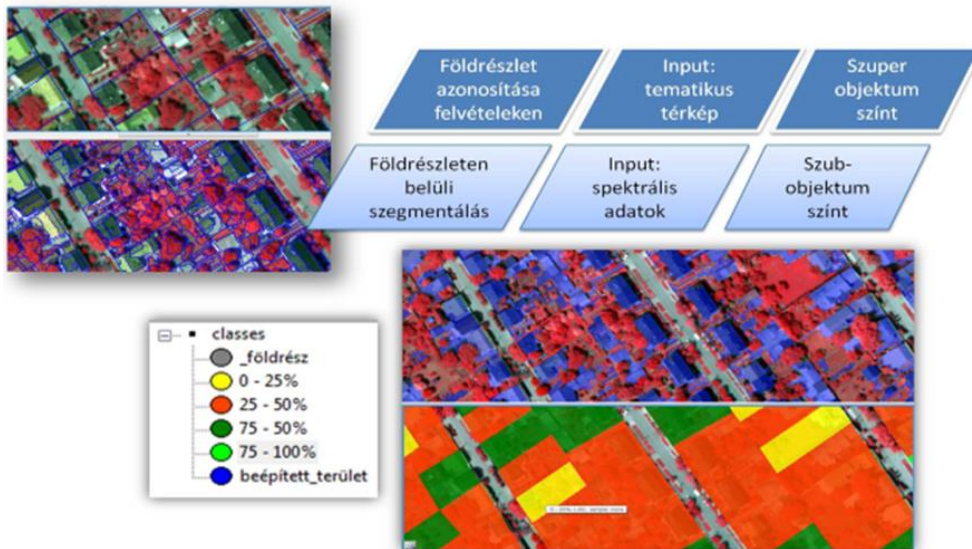
Beépítettség térképezése

Egyes képfeldolgozó szoftverek olyan eszköztárral rendelkeznek, amelyek lehetőséget adnak a távérzékelési adatok és térképi adatok együttes feldolgozására. Az analízis folyamatának egyes lépései – hierarchia szerint – egymásra építhetők, így több szegmentálási és osztályozási módszer kombinálható. A földrészleten belüli beépítettség térképezéséhez (12. ábra) nélkülözhetetlenek a kataszteri adatok, melyek alapján azonosíthatók a földrészlet határai. Ebben az esetben kataszteri adatok alapján hozunk létre ún. superobjektumokat (legmagasabb szint), melyek alapján történik a földrészletek azonosítása és osztályozása. A földrészleten belüli elemzést spektrális adatok alapján végezzük el (alárendelt, szubobjektum szint). A beépítettség szerinti osztályozás spektrális adatok és két hierarchia szint közötti relációk alapján végezzük el. Az osztályozás lépései:

1. Földrészlet azonosítása felvételeken
 - Szegmentálás kataszteri adatok alapján (chees board eljárással)
 - Osztályozás szegmens attribútum alapján
2. Földrészleten belüli elemzés

- Szubszegmensek előállítása spektrális adatok alapján (multiresolution eljárással)
- Osztályozás spektrális adatok és relációk alapján

Földrészleten belüli beépítettség térképezése



12. Ábra
Földrészleten belüli beépítettség térképezésének eredménye (részlet).

VI. ÖSSZEFOGLALÁS

A távérzékelési adatok felhasználása és a szegmens-, valamint objektum-alapú osztályozási eljárások alkalmazása olyan lehetőségeket ad városi területek tematikus térképeinek (pl. városi vegetáció térkép, mesterséges felszínborítási térkép, BGA index, stb...) elkészítésére, amely jelenleg más módszerekkel nem valósítható meg hasonló hatékonysággal. A különböző szakterületek számára a település pillanatnyi állapotáról gyorsan és nagy pontossággal szolgáltat adatokat, melyek fontos információkat tartalmaznak mind a rövid, mind a hosszú távú várostervezéshez. Emellett hatékonyan támogatják a városüzemeltetést is. Segítségükkel olyan statisztikai adatok nyerhetők, amelyek a térinformatikai elemzésekben input adatként használhatók fel. Az elért eredmények a megjelenítő és lekérdező GIS modulban a térinformatikai rendszerbe integrálva hasznosíthatók. Az adatok további (különböző szakterületi) kiértékelésekre alkalmasak. A magassági adatok ismeretében lehetőség van a felszínborítás térbeli megjelenítésére is.

FORRÁSOK ÉS SZAKIRODALOM

A cikk szerzője két évtizedes főiskolai és egyetemi előadásaiból, az azokhoz készült jegyzetektől és prezentációkból válogatva állította össze a cikk anyagát. Ezekhez természetesen nagyon sok forrást felhasznált, amelyeket lehetetlen itt mind felsorolni. Néhány alapvető művet azonban mégis meg kell itt említeni, amelyek a következők.

[1] HOLNDONNER P. 2013: Magyarország környezeti állapota. Nemzeti Környezetügyi Intézet

[2] MREKVA L. 2010: <http://magyardiplo.hu/archivum/2010-aprilis/189-a-vilag-teljes-elvarosiasodasa>.

[3]

<http://www.eea.europa.eu/hu/pressroom/newsreleases/varosiasodas-2013>

- [4] Tóth J. 1981:A településhálózat és a környezet kölcsönhatásának néhány elméleti és gyakorlati kérdése. Földrajzi Értesítő 30/2-3, pp.267-291.
- [5] MUCSI, L. et al. 2007: Városi földhasználat és felszínborítás vizsgálata távérzékelési módszerekkel. Földrajzitanulmányok Vol.1, Városökológia pp.:19-42, JATEPress
- [6] LU, D. et al. 2010: Land Cover Classification in a Complex Urban_Rural Landscape with QuickBird Imagery. Photogrammetric Engineering&R S. Vol.76, No 10, pp.1159-1168.
- [7] MYINT, S. W. et al. 2011: Per-pixel vs. Object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. Remote Sensing of Environment 115 (5):1145 – 1161.
- [8] VERŐNÉ WOJTASZEK, M. - RONCZYK, L. (2012): Object-based Classification of Urban Land Cover Extraction Using High Spatial Resolution Imagery, International Scientific Conference on Sustainable Development&Ecological Footprint, Proceedings, ISBN 978-963-334-047-9, 7 pp.
- [9] ZHANG, Y. (1999): Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering, Journal of Photogrammetry & R S, Vol. 54, No. 1, pp. 50-60.
- [10] FEKETE, I. et al. 2008: A szegmentálás szerepe az űrfelvételek tematikus osztályozásában (The role of segmentation in the thematic classification of satellite images). Az Informatika a felsőoktatásban 2008 konferencia elektronikus kiadványa, DE Informatikai Kar, Debrecen.
- [11] WENG, Q. 2012: Remote Sensing of impervious surfaces in urban areas: Requirements, methods and trends. Remote Sensing of Environment 117 : 34-49.

A MŰHOLDAS HELYMEGHATÁROZÁS NEGYEDSZÁZADOS FEJLŐDÉSE: A GPS-TŐL A GNSS-IG

Dr. Busics György, egy. docens

Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar (OE-AMK, Székesfehérvár)
busics.gyorgy@amk.uni-obuda.hu

Abstract—25 éve kezdődött a „GPS-korszak” hazánkban, mára a GPS-technika teljesen általánossá vált a helymeghatározásban és a navigációban. A GPS azonban csak az egyik ún. alaprendszere a műholdas navigációs szolgáltatásoknak, hiszen ma már teljes körűen használható az orosz Glonassz, és elkezdődött az európai Galileo rendszer kiépítése is. Írásomban e három műholdas navigációs alaprendszer történetét, jelenlegi helyzetét tekintem át, bemutatva a GNSS kiegészítő rendszereket is. Röviden kitérek néhány alkalmazási területre, elsősorban mint geodéta felhasználó, bár az alkalmazások köre is egyre szélesedő, szinte beláthatatlan perspektívát nyújt.

I. A GPS ÉS A GNSS FOGALMA

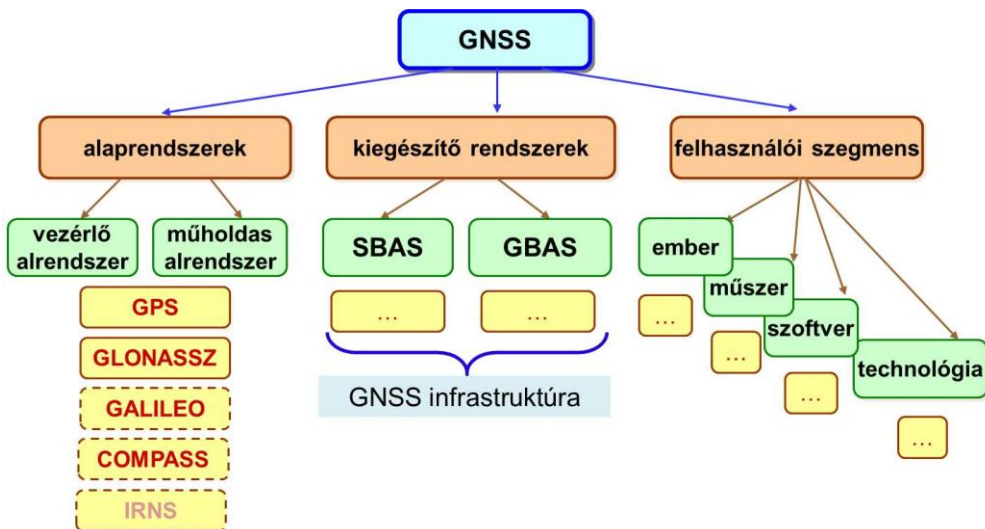
A **GPS** (*Global Positioning System*) az Egyesült Államok védelmi minisztériuma (*Department of Defense - DOD*) felügyelete alatt működő amerikai globális helymeghatározó rendszert jelöli, amely az egyik legismertebb rövidítés a helymeghatározás és navigáció területén.

A globális műholdas helymeghatározás azon alapszik, hogy a mesterséges holdak helyzete ismert, azok – geometriai értelemben – egy adott időpillanatban ismert pontoknak tekinthetők egy definiált vonatkoztatási rendszerben. A műholdak pályadatait ugyanis ismert helyzetű földi pontokon észlelő pályakövető állomások meghatározzák és ezeket az ún. navigációs adatokat a mesterséges holdak saját maguk sugározzák. A felhasználó (a GPS-vevő) közvetett módon távolságot határoz meg a vevő és néhány, egyidőben észlelt műhold között, majd ezen távolságok és a műhold-pozíciók ismeretében a vevő helyzete egy térbeli koordináta-rendszerben kiszámítható. A vevő sebessége is

számítható, mivel ismert azon időtartam, ami a vevő két helyzetmeghatározása között eltelik.

Ennek az egyszerűnek tűnő alapelvnek a megvalósítása napjaink csúcstechnikájának bevonását igényli és jelentős anyagi befektetést kíván meg. A csúcstechnikát olyan tudományágak legújabb eredményei alapozzák meg, mint az elektronika, a távközlés, az égi mechanika, a légkörfizika, a relativitáselmélet, a matematika, a szoftverfejlesztés és a geodézia.

A GPS rövidítést azonban nem használhatjuk általánosan a globális helymeghatározás jelölésére, mivel az Egyesült Államokon kívül más, tehető nagy hatalmak illetve országcsoportok is elkezdtek ilyeneket kiépíteni. Ez az egyik oka annak, hogy a globális navigációs műholdrendszer általános jelölésére inkább a GNSS rövidítést használjuk. A **GNSS (Global Navigational Satellite System)** a helymeghatározás, a navigáció és az időmeghatározás feladatainak megoldását hivatott szolgálni mesterséges holdak segítségével. A GNSS rendszer szolgáltatásait jelölik **PNT** jelzővel is (**Positioning, Navigation, Timing Services**), mert azok helyzetmeghatározásra, navigációra és időmeghatározásra irányulnak.



1. ábra. A GNSS részei

A másik ok, ami a GNSS rövidítés használatát indokolja az, hogy önmagában egy műholdas navigációs alaprendszer csak korlátozott pontosságú helymeghatározásra képes és a lehetőségeit is csak további kiegészítő szolgáltatások bevezetésével lehet igazán kihasználni. Ezért a

GNSS, mint rendszer fogalmába legalább három alrendszer tartozik: maga a navigációs alrendszer (ami műholdakból és földi követő állomásokból áll), a felhasználói alrendszer (a vevő-műszerek, a szoftverek és technológiák együtteseként), valamint az ún. műholdas kiegészítő alrendszer. Ez utóbbin értjük az alaprendszertől függetlenül működő ún. permanens állomásokat (más néven GNSS infrastruktúrát), amely állomások révén egy központ kiegészítő információkat továbbít a felhasználóknak a pontosság vagy az integritás javítása céljából. Ezeket a kiegészítő információkat vagy geostacionárius műholdon, vagy földi kommunikációs csatornán (leginkább Interneten) keresztül juttatják el a felhasználóknak, így beszélhetünk műholdas- vagy földi kiegészítő GNSS rendszerekről. Fentieket összefoglalóan az 1. ábra tartalmazza.

II. A GPS-KORSZAK KEZDETÉRŐL

Az űrkorszak kezdetét az első mesterséges hold fellövéséhez kötjük. Nem ilyen egyszerű a helyzet a „GPS-korszak” kezdetének megállapításakor, mivel ez egy szerves fejlődés eredményeként fogható fel. A mesterséges holdak helymeghatározási célzattal történő alkalmazása már 1962-ben elkezdődött, amikor fellőtték az ANNA (*Army, Navy, NASA, Air-Force*) jelzetű, fényjeleket kibocsátó jeladóval felszerelt geodéziai műholdat, amit a földről optikai-fotografikus módszerekkel figyeltek meg. Az 1960-as évek elején hozta létre az USA az 1100 km-es pályamagasságban keringő, hét Doppler-műholdból álló NNSS (*Navy Navigational Satellite System*), másnéven TRANSIT jelű rendszerét. Ennek a Doppler-elven működő technikának a pozitív és negatív tapasztalatai érlelték meg azt a gondolatot, hogy az egész földkerekségen, folyamatosan használható pontosabb műholdas rendszerre lenne szükség. A TRANSIT-műholdak észlelése ugyanis naponta csak néhány órán át volt lehetséges, az alacsony pályamagasság perturbált pályát eredményezett, az alacsony frekvenciát (150 és 400 MHz) erősen zavarta az ionosféra.

Az amerikai nemzetvédelmi minisztérium 1974-ben tett javaslatot a NAVSTAR-rendszer kiépítésére (*Navigation System with Timing and Ranging*). 1978-ban bocsátották fel az első GPS műholdat. Tekinethetnénk ezt a GPS-korszak kezdetének, de ismert, hogy legalább négy műhold jelére van szükség a térbeli helymeghatározáshoz és a rendszer teljes

kiépítése szükséges ahhoz, hogy valóban világszerte folyamatosan legyen használható.

Ezt az állapotot, vagyis, hogy mind a tervezett 24 műhold pályára kerüljön, csak másfél évtizeddel később, 1993-ban sikerült elérni. További tesztelésre is szükség volt ahhoz, hogy a rendszerfenntartó hivatalosan is teljes kiépítettségűvé nyilvánítsa a rendszert. Ennek dátuma pontosan ismert: 1995. július 17-én jelentették be, hogy a NAVSTAR GPS teljeskörűen kiépített (*Full Operational Capability*).

Van egy további pontos időpont, ami akár a GPS születésnapja lehetne. A GPS-nek ugyanis saját naptára és atom-idő rendszere van, hogy az idő folyása (mérése) ne függjön a hektikus köznapi naptártól és a koordinált világidő (UTC) léptetésétől. A GPS időszámítás kezdete 1980. január 6-dika, 0 óra. Ekkortól számozzák 1-től folytatólagosan a GPS-heteket, egy héten belül pedig a másodperceket. A GPS-időrendszerben így egyértelműen azonosítható a jelkibocsátás időpontja vagy adható meg a műholdak pályaadata.

A magyar felhasználó szempontjából azt az időpontot jelölhetjük meg a GPS-korszak kezdetének, amikortól ténylegesen használható is helymeghatározásra a rendszer. Ez az első GPS-vevők beszerzéséhez köthető. 1985 óta gyártnak polgári célra kereskedelmi (nem katonai) vevőket. Magyarországon 1990 elején a magyar honvédség vett két vevőt, majd ugyanebben az évben a FÖMI szerzett be további három vevőt. Bár akkor még nem volt teljes a GPS-műholdak száma, de naponta több észlelési ablak is lehetővé tette a gyakorlati használatot.

2015-ben tehát a GPS negyedszázados magyarországi történetét foglalhatjuk össze.

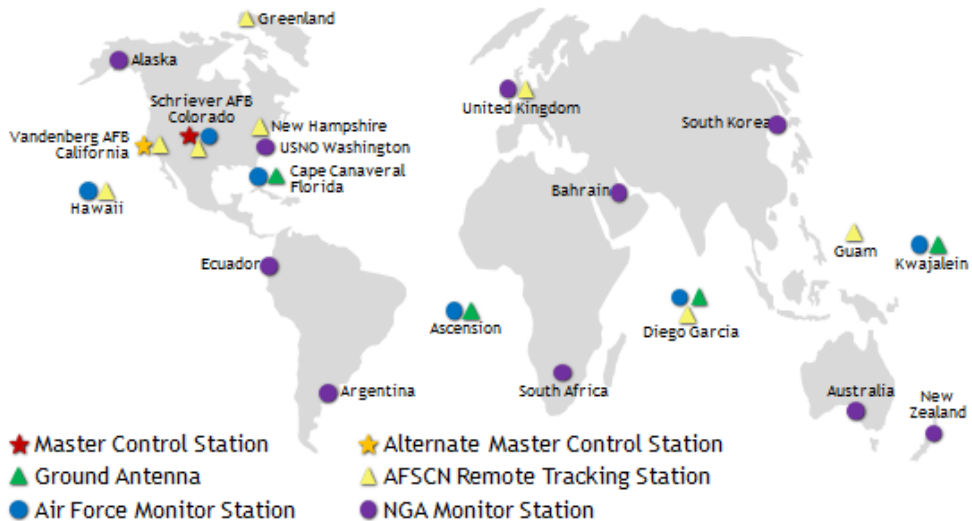
III. A GPS FEJLŐDÉSE

A GPS-rendszer üzemeltetését, fenntartását az amerikai védelmi minisztériumon belül az amerikai légierő (*US Air Force – USAF*) és az amerikai katonai térképész szolgálat (*National Geospatial-Intelligence Agency – NGA*) látja el. A GPS-t elsődlegesen katonai célokra hozták létre, de polgári célú felhasználása ma sokkal dominánsabb, amit kongresszusi és elnöki jogszabályok is biztosítanak. A GPS-t hivatalosan duális (katonai és polgári) rendszernek tekintik, s ennek a kettős feladatnak való

megfelelést a jövőben is fenn kívánják tartani. A GPS, mint minden műholdas navigációs alrendszer, alapvetően két alrendszerből áll: a földi követőállomások hálózatából (az az ún. vezérlő alrendszer) valamint a navigációs műholdakból (ez a műholdak alrendszere).

A GPS földi követőállomásait kezdetben az Egyenlítő közelében, óceáni szigeteken lévő amerikai katonai támaszpontokon (ismert pontokon) telepítették (Hawaii, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension). A GPS-korszak kezdetén négy követőállomás és egy vezérlőközpont (*Master Control Station – MCS*) volt Colorado Springs-ben, a Schriever légbázison. Később a követőállomások száma 15 fölé nőtt, részben az USAF, részben az NGA üzemeltetésében.

A vezérlőközpont helyettesítésére (meghibásodás esetén kiváltására) a Vandenberg légbázison alternatív vezérlő állomást hoztak létre. A monitorállomások feladata az egyes műholdak pályadatainak és órákorrekcióinak meghatározása, előrejelzése, valamint ezen adatok és más navigációs adatok feljuttatása a műholdakra. Erre a célra földi antennával ellátott injektáló (adatfeljuttató) állomások szolgálnak. Jelenleg négy ilyen követőállomás van (2. ábra).



2. ábra. A GPS követőállomásai

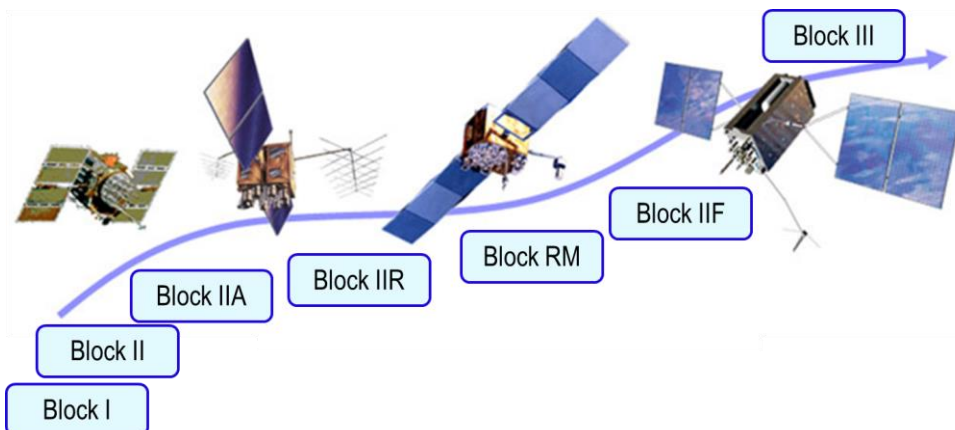
A GPS műholdas alrendszerének története jól mutatja, hogy az igényeknek és technikai fejlettségnek megfelelően az egyes műholdak kiépítettsége folyamatosan változott és a jövőben is jelentős fejlődés előtt áll (1.1. táblázat).

A műholdas alrendszer azt a célt szolgálja, hogy **„a földkerekség bármely pontján, bármely időpontban egyszerre legalább négy műhold legyen mérésre alkalmas helyzetben”** (Ádám et al. 2004). Többféle koncepció elvi tesztje után ezt a feltételt a következő műhold-konfigurációval valósították meg: az Egyenlítő síkjával 55 fokos szöget bezáró 6 darab ellipszis-pályán (fél-nagy tengelyük 26560 km), pályánként 4 műhold keringene, 12 sziderikus órás keringési idővel a Föld felszínétől mintegy 20 200 km-es távolságban.

1. táblázat. A GPS műholdak legutóbbi öt típusa

	Block IIA	Block IIR	Block IIRM	Block IIF	Block III
Fellövési időszak	1990- 1997	1997- 2004	2005-2009	2010-től	2016-tól
működő hold (2015)	3	12	7	8	-
polgári (C/A) kód:	csak L1 frekvencián	csak L1 frekvencián	L1 és L2 frekvencián	mint előző	mint előző
katonai kód:	P kód L1, L2-n	P kód L1, L2-n	M kód	mint előző	mint előző
Tervezett élettartam	7,5 év	7,5 év	7,5 év	12 év	15 év
Újdonság	autonóm navigáció	L2c frekvencia	M kód	új (3.) jel L5 frekvencia hidrogén-óra	új (4.) jel kereső-mentő szolg. SA megszűnik

A GPS műholdaknak következő típusait különböztetjük meg: Block I, Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIRM, Block IIF, Block III. Két lehetőség van a GPS-holdak azonosítására: a fellövési sorszám (*Space Vehicle Number-SVN*), és a műholdhoz hozzárendelt ál-véletlen kód sorszáma (*Pseudo Random Noise-PRN*).



3. ábra. A GPS-műholdak fejlődése

Az első Block I. típusú műholdat 1978. február 22-én lőtték fel, ilyenekből összesen 11 volt. Csak 1989-ben, a Block II. típusú holdakkal

(9 ilyen volt) kezdődött el az operatív szakasz. 1993. végére sikerült mind a 24 tervezett műholdat pályára juttatni, ekkor érték el az alap-kiépítést (**Initial Operation Capability – IOC**). A GPS-rendszert csak 1995-ben nyilvánították hivatalosan teljesen kiépítetté, amikor 24 db Block IIA típusú hold volt pályán. Minden Block I. – Block IIA típusú GPS műhold ugyanazt a két vivőfrekvenciát állítja elő: az L1 jelűt (**$f_1=1575,42\text{ MHz}$, $\lambda_1=19,03\text{ cm}$**) és az L2 jelűt (**$f_2=1227,60\text{ MHz}$, $\lambda_2=24,42\text{ cm}$**).

Az L1 jelet a C/A kóddal és a P kóddal, az L2 jelet csak a P kóddal modulálják a futási idő (kódtávolság) meghatározása érdekében. Csak a C/A kód szabad hozzáférésű, a P kód eredetileg valós időben katonai célokra szolgált. A GPS-rendszerben (a Block IIA típusú holdakig bezárólag) háromféle típusú kód lehetséges: L1 vivőjelen C/A és P kódmérés (L1 C/A és L1P, röviden C1 és P1), L2 vivőjelen P kódmérés, röviden LP2, valamint mindkét frekvencián vivőfázis mérés (L1 és L2 fázismérés).

Jelenleg (2015 augusztusában) működnek még Block IIA típusú műholdak, de ezeket fokozatosan felváltják az újabb típusok: Block IIR, IIR-M és F jelűek (R: Replenishment, M: M-code, modernized; F: Follow on) és kezdődik a GPS alaprendszer ún. modernizációja a Block III típusú holdakkal. Az újítások a következők. A C/A kódot az L2 vivőfrekvencián is alkalmazzák, ennek jele: L2C. Ezáltal a polgári felhasználók számára egyszerűbben kiküszöbölhető az ionoszféra hatása, a vevők kevésbé érzékenyek az interferenciára. Új kódot vezettek be az L1 és L2 frekvencián tisztán katonai célokra, ez az ún. M (*military*) kód. Az L2C-vel és M kóddal felszerelt első Block IIR-M típusú holdat 2005. szeptemberében lőtték fel. Az L1 és L2 frekvenciák mellett egy új, harmadik vivőjelet (frekvenciát) vezettek be polgári célra (jele: L5) a Block IIF típusnál.

A Block III jelű modernizációs szakasz új típusú GPS holdakat jelent egy negyedik civil vivőjel bevezetésével. Ennek megvalósulása után polgári célra négyféle kódmérés lesz lehetséges (L1C/A; L2C; L5I és L5Q jelű), katonai célra ugyancsak négyféle kódmérési lehetőség áll majd fenn (L1M; L2M; L1P és L2P).

A GPS pontossága (az abszolút helymeghatározás, vagyis az egyetlen vevővel, C/A kódméréssel elérhető pontosság) 1990 és 2000 között vízszintes értelemben 100 méteres, magasságilag 150 méteres volt. Ez nagyrészt az ún. szelektív hozzáférés politikájának volt „köszönhető”, ami

a gyakorlatban a GPS-műholdak által közvetített pályaadatok és óraadatok szándékos elrontását jelentette a vezérlő központ által. A civil felhasználók nyomására az amerikai elnök ezt 2000 májusában megszüntette. Mivel azóta bevezették az új katonai M-kódot, bejelentették, hogy a Block III. holdaknál az SA (*Selective Availability*) politikáját technikailag sem fogják alkalmazni. Hivatalosan az abszolút helymeghatározás vízszintes pontossága 22 méter, a gyakorlatban azonban ez 10 méter körüli becsülhető. A modernizáció eredményeként 4-6 méteres pontosság várható egyetlen vevővel; ezt gyakorlatilag ma is elérhetjük.

A GPS vonatkoztatási rendszere a WGS84 (*World Geodetic System-WGS*). A vonatkoztatási rendszer ez esetben egy, a Földdel együtt forgó geocentrikus, térbeli, derékszögű, jobbsodrású koordináta-rendszert, az ezt megvalósító fix pontok (a korábban említett amerikai követőállomások) hálózatát, valamint egy azonos nevű forgási ellipszoidot jelent, ami a Földet helyettesíti matematikai felületként. A helymeghatározás végeredményeként kapott térbeli koordináták lehetnek derékszögűek (X, Y, Z formában) vagy földrajziak (ellipszoidi szélesség, hosszúság és ellipszoid feletti magasság: φ , λ , h). WGS84 ellipszoidi földrajzi koordinátákat láthatunk (illetve ilyeneket állíthatunk be a kurzorral) a sokak által használt Google Earth világtérképén. A WGS84 rendszert a GPS követőállomásai valósítják meg a gyakorlatban; ezen pontok koordinátáit eddig háromszor pontosították, hogy a polgári földi vonatkoztatási rendszerrel (ITRF) cm-es pontossággal összhangban legyen. Fontos tudnunk, hogy a Magyarországon is használt európai térbeli vonatkoztatási rendszer (ETRS89) nem azonos teljesen a WGS84-gyel; 2015-ben mintegy 80 cm-es vízszintes értelmű eltolódás van a két koordináta-rendszer között, aminek oka az eurázsiai tábla ÉK-i irányú, évi 2,5 cm-es mozgása.

IV. A GLONASS ÉS A GALILEO

Az orosz GNSS alaprendszer, a Glonass kiépítésének célja és megoldása az amerikai GPS-hez hasonló, a rendszer mintegy válasznak tekinthető az amerikai kezdeményezésre és ahhoz hasonlóan duális (katonai és polgári) rendeltetésű.

A Glonass rendszerben az Egyenlítő síkjával 64,8 fokos szöget bezáró három pályán, pályánként 8 műhold kering, 19100 km Föld feletti magasságban. Összességében tehát itt is 24 műhold jelenti a teljes kiépítettséget, amit 1995 decemberére sikerült elérni. Finanszírozási okokból azonban a teljes kiépítettség állapotát évekig nem tudták fenntartani, erre csak 2013-ban került sor újra.

Az orosz vezérlő alrendszer kezdetben csak orosz területen kiépített 8 földi követő állomásból állt, később ezt 21-re növelték és 4 további, Oroszországon kívüli állomást is hozzácsatoltak. A vezérlő központ a Moszkva közelében lévő Golüchino 2-ben van.

2. táblázat. A Glonass műholdak jellemzői

	Glonass	Glonass M	Glonass K1	Glonass K2
Fellövési időszak	1982-től	2003-tól	2011-től	2013-tól
összes hold (2015)	81	39		
jelek száma:	3-féle jel: L1SF, L2SF, L1OF	4-féle jel: L1SF, L2SF, L1OF, L2OF	mint M-nél, + L3OC	mint M-nél, + L3OC, L1SC, L2SC
Tervezett élettartam	3-4 év	7 év	10 év	10 év
Órastabilitás	5×10^{-13}	1×10^{-13}	5×10^{-14}	1×10^{-14}

Az első műholdak fellövésére 1982. október 12-én került sor, Proton hordozórakétával, amely egyszerre 3 holdat képes pályára juttatni. A Glonass-holdak mindegyike ugyanazt a kódot közvetíti, de más-más frekvencián. A frekvenciák kiosztása meghatározott képlet szerint történik. Megjegyzendő, hogy azonos frekvencia is hozzárendelhető két műholdhoz – amennyiben azok nem észlelhetők egyidőben ugyanazon helyről.

A Glonass rendszer rendszer-ideje nem a GPS idő, hanem UTC idő a moszkvai időzóna szerint. A vonatkoztatási rendszer sem a WGS84, hanem az ahhoz hasonló PZ90 (*Parametri Zemli*).

Az orosz parlament modernizációs programot és költségvetést fogadott el a Glonass fejlesztésére, beleértve a másik két alrendszerrel való együttműködés biztosítását. A legrégebbi holdak csak egyetlen L1 jelű vivőfrekvencián sugároztak, később két frekvencián három- illetve négyféle jelet. A GLONASS K1 jelű holdaknál pedig megjelent egy harmadik, L3 jelű frekvencia.



4. ábra. Glonass-hold fellövése a Pleseck űrrepülőtérről

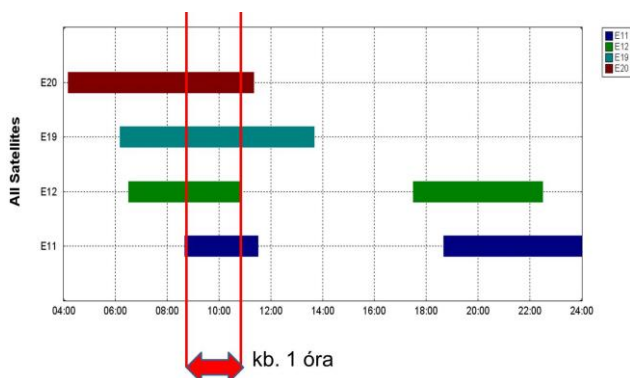
A Galileo nevű GNSS-rendszer európai versenytársa az amerikai és az orosz műholdas navigációs rendszereknek. Céljában nem, de megvalósításában és szolgáltatásaiban eltér az eddig működő rendszerektől. A Galileo deklaráltan tisztán polgári célú navigációs rendszer lesz, nincs katonai vonatkozása. Kezdetben az volt a terv, hogy fele-fele részben az Európai Unió és az Európai Űrhajózási Ügynökség (ESA) finanszírozza, és számítottak a magánszektor befektetéseire is (PPP beruházás), ez utóbbi azonban nem vált be.

A műholdas alrendszer 30 műholdból fog állni a teljes kiépítésben, ebből 3 tartalék. A műholdak három, 56 fokos hajlású pályán keringenek a Föld körül, 23200 km-es átlagos magasságban (a pálya fél nagytengelye átlagosan 29601 km). A műhold konstellációt úgy tervezték, hogy a magasabb (akár 75°-os) északi és déli szélességi körökön a GPS-hez képest több műhold legyen észlelhető, így például a skandináv országok a jelenleginél kedvezőbb helyzetbe kerülnek.

Kezdetben (2002-ben) úgy tervezték, hogy 2008-ra lesz kész a Galileo; 2011-ben 14 műholdat ígértek 2014 végére; 2013-ban 2019 végére gondolták a teljes kiépítést. A tervek helyett a következőkben a tényeket foglaljuk össze időrendben.

- 2001-ben születtek meg az első projekt-leírások a Galileo-ról.
- 2002. március 26-án az Európai Tanács határozatot hozott a projekt indításáról, 3,4 milliárd euróra becsülve a költségeket.
- 2003-ban közös vállalatot alapítottak brüsszeli székhellyel.
- 2004 júniusában megállapodtak az USA-val a frekvenciákról.

- 2005. december 28-án Bajkonurból, orosz hordozórakétával tesztelési céllal fellőtték az első kísérleti műholdat, amit 2 év múlva követett egy második. (GIOVE A-B)
- 2007-ben pénzügyi válságba került a projekt.
- 2008 áprilisában pénzforrást szabadítottak fel; a PPP helyett tisztán EU-s finanszírozásra tértek át.
- 2009-ben felavatták Dél-Amerikában, Francia Guyanában a *Guiana Space Centre*-t, az európai űrrepülőteret.
- 2010-ben földi állomást avattak Kirunában (Svédországban).
- 2011. október 22-én Francia Guyanából, orosz Szojuz 2-1B típusú hordozórakétával felbocsátották az első két Galileo műholdat.
- 2012. október 12-én felbocsátották a 3. és 4. számú Galileo műholdat.
- 2013-ban két új követőállomás létesült Európa déli és északi részén, amely a kereső-mentő szolgáltatást is támogatja.
- 2013. május 15-én Hollandiában megkezdődött az első új típusú (FOC) műholdak tesztelése (*Full Operational Capability*, FOC)
- 2014. augusztus 22-én felbocsátották az 5. és 6. számú Galileo műholdat. A következő napon kiderült, hogy rossz pályára kerültek a műholdak, mert a pályamódosításért felelős fuvókában megfagyott a hajtóanyag. A pálya földközeli pontja 13700 km, ami nem módosítható.



5. ábra. Galileo-holdak láthatósága Székesfehérváron (2014.03.17)

2014-ben és 2015-ben tehát összesen 4 darab működő Galileo-hold volt pályán. Ismeretes, hogy minimálisan 4 műhold jelét kell észlelni

ahhoz, hogy térbeli pozíciót kapjunk. Az észlelési ablak (amikor 4 műhold egyidejűleg mérhető) szűk (5. ábra), mégis, egy ilyen tesztmérésre sort kerítettünk 2014. március 17-én, az elsők között Magyarországon. A Galileo-holdak vételére és feldolgozásra képes Javad típusú GNSS-vevőt Varga Zoltán kollégánk biztosította. Az eredmény meglepően jó volt, az ismert pont koordinátáit, tisztán Galileo-holdakra végzett kód mérésből, 1-2 méteres pontossággal kaptuk meg.



6. ábra. Galileo-tesztmérés a Pirosalma épület tetején 2014 tavaszán

A Galileo vezérlő alrendszere két vezérlő központból áll; ezek elkészültek (Németországban, Oberpfaffenhofen; illetve Olaszországban Fucino). 15 adatfeltöltő állomás és 4 telekommunikációs állomás fogja szolgálni a kétirányú kapcsolatot a műholdak és a követőállomások között, ami a megbízhatóságot és integritást növeli és új szolgáltatásokra ad lehetőséget. A Galileo öt tervezett szolgáltatása: Nyílt szolgáltatás (*Open Service*); életvédelmi szolgáltatás (*Safety-of-Life Service*); kereskedelmi szolgáltatás (*Commercial Service*); közbiztonsági szolgáltatás (*Public Regulated Service*); életbiztonsági és mentő szolgáltatás (*Search and Rescue Services*). Ez utóbbi szolgáltatás Európa hozzájárulásának tekinthető a világban már működő életmentő és kereső szolgálatokhoz (COSPAS-SARSAT). A jelenlegi megoldáshoz képest csökkenni fog a riasztástól számított várakozási idő, és lényegesen nőni fog a helymeghatározás pontossága. A Galileo regionális komponense közé fog tartozni egy olyan garantált integritás-ellenőrzés, amely független lesz az alaprendszertől.

V. A GNSS INFRASTRUKTÚRA

A GNSS kiegészítő rendszert az alaprendszer infrastruktúrájának is nevezik. Olyan szolgáltatások tartoznak ide, amelyek az alaprendszer pontosságát, integritását, biztonságát, vagy gazdaságosságát növelik.

Az infrastruktúra alapja, háttere minden esetben egy folyamatosan üzemelő referenciaállomás hálózat (*Continuously Operating Reference Stations–CORS*). Ezen hálózat ismert koordinátájú pontjaiban meghatározzák a műhold-vevő távolságok hibáját és ezt egy központból, valamilyen csatornán továbbítják a felhasználóknak. A központ szerepe a GNSS-méréseket terhelő hibák modellezése is.

A kiegészítő rendszerek tehát a navigációs alaprendszertől függetlenül továbbítanak további pontosság- vagy biztonságjavító információkat. A közvetítő csatornától (médiumtól) függően beszélünk műholdas alapú vagy földi alapú kiegészítő rendszerről.

A műholdas alapú kiegészítő rendszerek (*Satellite Based Augmentation System–SBAS*) közös jellemzője, hogy geostacionárius pályán lévő műholdak továbbítanak távolság-korrekciókat a felhasználók felé. A korrekciók meghatározásához és modellezéséhez önálló permanens állomáshálózatra, feldolgozó központra, adatfeljuttató állomásra (földi antennára) és távközlési műholdakra van szükség. Egészen nagy, akár kontinentális területre kiterjedően is lehet modellezni a pályaadatokat, a műhold órahibákat és az ionoszférikus hatást, valamint ezek időbeli változását. A modell-paraméterek ismeretében a földrajzi helytől függő korrekciók számíthatók. Egy-egy geoszinkron hold vételi körzete csak meghatározott területre terjed ki (alacsony magassági szög alatt a vétel korlátozott), így regionális kiegészítő rendszerek jöttek létre.

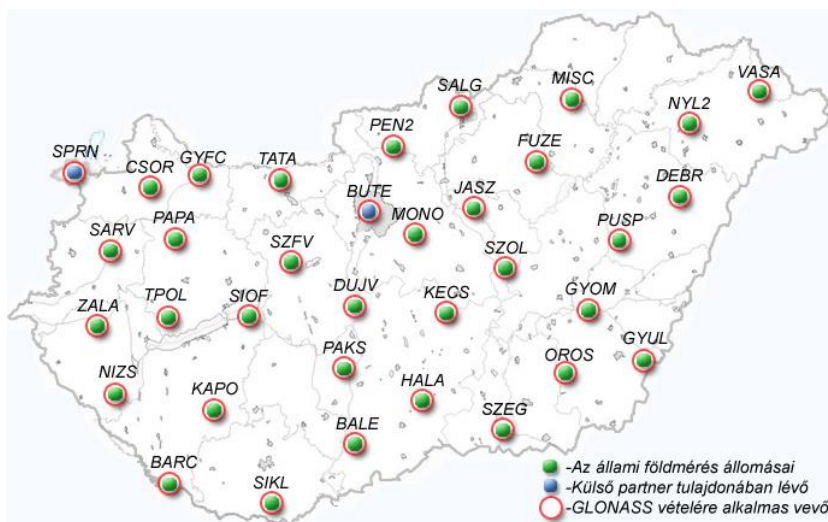
Amerikában a WAAS (*Wide Area Augmentation System*), Európában pedig az EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*) működik a fenti elven.

Számunkra az európai EGNOS SBAS rendszer bír jelentőséggel, amelynek 34 földi követőállomása és négy vezérlő állomása van. A műholdas alrendszer 3 geostacionárius holdból áll. Az EGNOS 2009-ben készült el, amely ingyenesen használható, ha a vevő a DGPS korrekciók vételére képes. Magyarországról viszonylag alacsony magassági szög alatt

észlelhetők az EGNOS-jelek, így a jelvételek takart környezetben gyakran korlátozott.

Elterjedtsége miatt megemlíthető az Omnistar elnevezésű SBAS rendszer, amely az egész világot behálózza, de magán-fenntartású, így fizetős korrekciós szolgáltatást nyújt.

A földi alapú kiegészítő rendszerek (*Ground Based Augmentation System – SBAS*) legfőbb összetevője szintén a folyamatosan üzemelő permanens állomások alkotta hálózat (az ún. aktív hálózat). Szükséges még a permanens állomások adatait gyűjtő, feldolgozó és a felhasználók felé továbbító központ, valamint az adattovábbítás eszközei és rendszere. Az adattovábbítás a felhasználók felé legtöbb esetben mobil interneten valósul meg.

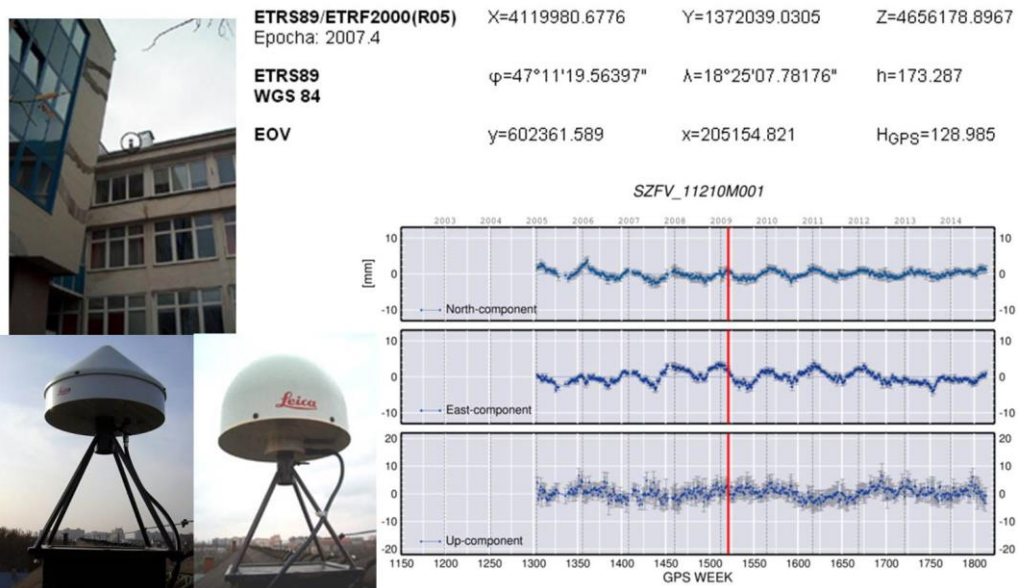


7. ábra. A hazai aktív GNSS hálózat belföldi referenciaállomásai

A földi kiegészítő rendszerekre példaként a magyar aktív hálózatot említjük (bár vannak globális és kontinentális hálózatok is). Ennek neve jelenleg a honlap címével azonos: *gnssnet.hu*. A magyar aktív GNSS hálózatban jelenleg 34 hazai állomás üzemel és további 20 szomszédos országokbeli állomás adatai is feldolgozásra kerülnek.

Alapvetően kétféle szolgáltatást lehet igénybe venni: utófeldolgozáshoz letölthetők a valós állomások nyers adatai és generálhatók fix pontokra mesterséges nyers adatok is; valós idejű GNSS mérésekhez pedig 22 féle szolgáltatást nyújt a központ.

A valós idejű adatszolgáltatáshoz a referenciaállomások TCP/IP porton keresztül másodpercenként küldik a korrekciókat a központnak. A penci központban 2004 tavaszán állították üzembe az első internetes (NTRIP) szervert, amely DGPS és RTK adatok elérését tette lehetővé. A szerverek száma, a központban alkalmazott feldolgozó szoftverek típusa és szolgáltatása azóta sokat változott, éppen a központi szoftverfejlesztés jelenti az infrastruktúra minőségi színvonalának emelését, a termelékenyebb technológiák kialakításának egyik lehetőségét. 2007. márciusától a német Geo++ cég GNSMART szoftverével állítják elő a valós idejű DGPS és RTK korrekciókat illetve fázismérési adatokat, valamint az utólagos feldolgozásra használható RINEX formátumú nyers adatokat.



8. ábra. 2005 óta működik a Pirosalma utcai épület tetején a referenciaállomás

VI. A GNSS TECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE

Az egyetlen vevővel végzett, csak a GNSS alaprendszerre támaszkodó ún. abszolút helymeghatározás pontossága 5-10 méterre becsülhető. Ha javítani szeretnénk ezen a pontosságon, akkor ún. relatív helymeghatározást kell végeznünk, amikor egy szinkronban mérő másik (vagy több) vevő mérési adatait is felhasználjuk az eredményhez. Ezzel a módszerrel a GNSS hibahatások (a pályaadatok, az óraadatok, a légkör hibái) lényegesen csökkenthetők. A feldolgozás pontosságát befolyásolja,

hogy csak kódmeréseket dolgozunk-e fel, vagy pedig fázisméréseket is. Ha sok felhasználó mér, nem lenne gazdaságos és ésszerű, hogy a referenciavevőt ki-ki magának biztosítsa – éppen erre a célra hozták létre az aktív hálózatokat.

A DGPS-módszer azt jelenti, hogy a vevő egy ismert ponton mérő referenciavevő (vagy állomáshálózat) kódtávolság-javításait is felhasználja. Ezáltal 0,5-2 méteres helyzeti pontosságot érhet el. Ilyen az EGNOS korrekciók igénybevétele, de többféle DGPS szolgáltatása van például a magyar aktív hálózatnak is.

Ha nagy pontosságra törekszünk (cm-es vagy akár mm-es), akkor hosszú időtartamú (akár több órás) statikus mérést kell végeznünk egyidejűleg több ponton geodéziai vevőkkel. Az 1-3 cm-es pontosságot elérhetjük 10-20 perces ún. gyors statikus méréssel és utófeldolgozással is.

Az RTK (Real Time Kinematic) módszer valós idejű, fázismérésen alapuló, néhány cm-es pontosságú GNSS mérést jelent, amit akár mozgó vevővel is megvalósíthatunk. Kezdetben (a 90-es évek végén) a felhasználónak két vevővel kellett egyidejűleg mérnie. Egyiket, a referenciavevőt, ismert ponton telepítette és ez a műszer rádiókapcsolat révén az összes mérési adatot (kód- és fázisméréseket) azonnal továbbította a mozgó vevőnek, amely azt lényegében valós időben feldolgozta. Ez a volt a hagyományos RTK koncepció.

A 2000-es évek közepétől a saját referenciavevő szerepét a permanens állomások vették át, az előfeldolgozást, adattovábbítást pedig a központ végzi. A központ nemcsak egyetlen állomás adatát küldi a felhasználónak, hanem figyelembe veszi, hogy a felhasználó körül (30-70 km-es körzetben) több referenciaállomás is üzemel és ezek együttes mérését vagy valamilyen generált korrekciós adatcsomagját továbbítja a felhasználónak. Ez a hálózatos (vagy hálózati) RTK koncepció. A felhasználó így egyetlen vevővel tud néhány cm-es pontosságú felmérést vagy kitűzést végezni az ország teljes területén, ha ilyen hálózatos RTK vevője van és igénybe veszi a szolgáltató központ mobil interneten továbbított adatait. Nem csoda, hogy a hálózatos RTK technológia igen gyorsan elterjedt a felhasználók körében, mert kényelmes és lényegesen javítja a termelékenységet.

VII. A GNSS NÉHÁNY ALKALMAZÁSI TERÜLETE

A GNSS technológia az elmúlt másfél évtizedben olyan széles körben terjedt el, hogy szinte nincs az életnek olyan területe, ahol ne alkalmazzák. A szerteágazó alkalmazások áttekintését két szempont alapján kíséreljük meg.

Az egyik szempont a pontossági igény; ez alapján beszélhetünk navigációs pontossági kategóriáról (ahol elegendő az abszolút helymeghatározás pontossága); korrekciós szolgáltatásokról (amikor valamilyen DGNSS módszert használunk) és professzionális alkalmazásról (amikor fázismérést végezve néhány cm-es pontosságot kívánunk elérni).

A csoportosítás másik szempontja lehet, hogy melyik nemzetgazdasági területet érinti az alkalmazás. A legfőbb alkalmazói szektor a közlekedés és szállítás, de egyre jelentősebbek a mezőgazdaságot, az építőipart vagy a sportot és a turizmust szolgáló alkalmazások. A következőkben csak felsorolás-szerűen említünk meg néhány példát a közelműltből.

Magyarország és a Kárpát-medence jelenkori tektonikai mozgásviszonyait a GPS geodinamikai program 1991 óta tartó statikus méréseiből sikerült meghatározni. (www.urvilag.hu)

A hazai aktív hálózat másodperces méréseinek újrafeldolgozásával az emlékezetes 2011 márciusi japán földrengés lökéshullámának magyarországi hatását mutatták ki. (www.urvilag.hu)

A földmérés, geoinformatika területén, ha az észlelési feltételek megfelelők, a GNSS-technika vált uralkodóvá a felmérésben (például: mederfelmérés, közműfelmérés, temetőkataszter...), kitűzésnél (útépítésnél, telekhatárkitűzésnél...), mérnökgeodéziában...

A precíziós mezőgazdaságban egyre több traktort, vetőgépet, műtrágyaszórót szerelnek fel GPS járműnavigációs rendszerrel a termelékenység fokozása érdekében.

A vadállatok mozgáskörzetének tanulmányozására GPS-nyakörvet használnak.

A járműnavigációban egyre terjed az útvonaltervező és navigáló szoftverek, eszközök használata. A céges gépkocsi-flották útvonalának

menedzsmentje számos előnnyel és információval jár, az ilyen rendszerek is egyre kiterjedtebbek. A GPS segítheti az útdíj fizetést, nyilvántartást és az autólopás elleni védelmet. A tömegközlekedési eszközök felszerelése GPS-vevővel az utastájékoztatót segíti; több helyi autóbuszos közlekedési cég és a MÁV is megvalósított ilyen rendszert.

Az építőiparban a földmunkagépek, útépítőgépek automatikus irányítása GPS-helymeghatározáson alapszik. A külszíni bányászat fejtőgépei is robotként működtethetők.

A mobil eszközökbe épített helymeghatározó eszközök, kiegészítve térképészeti geo-adatbázisokkal az ún. helyfüggő szolgáltatások egészen új világot hozták el.

Vak emberek tájékozódását, autisták, Alzheimer-kórban szenvedők mozgáskörzetének figyelését, balesetet szenvedett személyek mentését nagyban segítheti az intelligens személyi navigációs eszköz.

A geoládázás (GPS-koordináták alapján történő kincskeresés) Magyarországon kedvelt hobbi, ami egyúttal hasznos, sportos időtöltés is.

SZAKIRODALOM

Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Kenyeres A, Krauter A, Takács B (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.

Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (1997): Global Positioning System Theory and Practice. Fourth, revised edition. Springer-Verlag. Wien, New York 1997.

ÉLETÜNK A FÉNY

Dr. Lakner József címzetes egyetemi tanár

Soós Ernő Viztechnológiai Kutatóintézet Nagykanizsa és Óbudai Egyetem Alba Regia
Műszaki Kar Székesfehérvár, lakner.jozsef@amk.uni-obuda.hu

Absztrakt: Az UNESCO felhívta a figyelmet arra, hogy milyen fontos szerepet játszik a fény az életünkben. Ezért a 2015-ös évet ismét a Fény Évének választotta. A fény nemcsak egy fizikai jelenség, hanem annál sokkal több, hiszen nélküle nem alakulhatott volna ki az élet. A róla szerzett ismereteink határozzák meg világképünket, életünket, elkezdve a mindennapi léttel, bezárva a művészetekkel. Az előadás a fénynek ezt a szó szerint is vehető sokszínűségét ismerteti szemléletes módon.

I. BEVEZETÉS

Voltaképpen mi is a fény? Ahány ember annyi a válasz. Mást jelent a fény a fizikusnak, mást a költőnek és megint mást a festőnek. Egyben azonban megegyeznek, egy jól ismert szállóigét kicsit átfogalmazva¹: *Extra lucem non est vita, et si est, non est ita* (A fényen kívül nincs élet, ha mégis van, az nem ugyanaz), valóban a fény és a róla szerzett ismereteink

határozzák meg életünket, világképünket, elkezdve a mindennapi léttel, bezárva a művészetekkel. Így volt ez már a korai időkben is:

Hitet az öröklét misztériumához te adsz.

Ha lehullsz, nincs fény és megtorpan a munka.

részlet Ehnaton (1. ábra) fáraó híres Naphim-nuszából². Találunk természetesen közelebbit is Márai Sándortól, aki lényegében ugyanezt mondja:

*Az ember... talán nem is élhet másképp,
csak a hőben, a fényben, a levegőben és a szeretetben.*



1.ábra

Ehnaton áldozatot mutat be a Napnak

Nemcsak az élethez, de a halálhoz is fény kell. Még meghalni is jobb fényben, mint ködben, mert jobb tudni mi vár ránk, mint tévelyegve botladozni és a halállal hirtelen találkozni, amelyre így nem lehet felkészülni, hiszen nem lehet vele szembenézni. Homérosz így ír róla az Odüsszeiában:

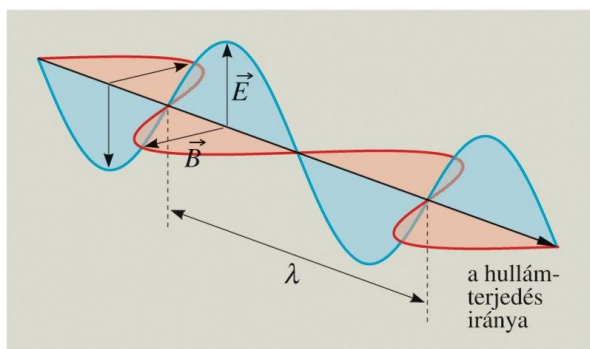
*Zeusz atya, mentsd meg a ködtől hát az akháj daliákat,
adj tündöklő fényt, hadd lássunk már a szemünkkel,
napfényben pedig ölj meg akár, ha a kedved akarja.*

(Devecseri Gábor fordítása)

Vég nélkül folytathatnánk az idézeteket, de bevezetésül úgy gondolom ennyi is elég.

II. A FÉNY FIZIKÁJA

Akkor voltaképpen mi is a fény. Ahány ember annyi válasz lehetséges. A fizikusok szerint *elektromágneses hullám*. A laikus ebből csak két dolgot nem ért, nevezetesen azt, hogy mi a hullám és mit jelent az, hogy elektromágneses. A elsőt még csak-csak, mert mindenki látta már a hullámzó Balatont, vagy Pista bácsit a kocsmából hazatérni, de azért a hullám ennél kicsit több. Vegyünk egy egyszerű példát! Mindenki volt már hullámfürdőben. A hullámfürdő úgy működik, hogy van egy gépezet, amely egy lapot ritmikusan fel-le mozgat (ez ugyan nem látható), így függőleges irányban megmozgatja (megrezegteti) a víz részecskéit. Ez a rezgés vízszintes irányban a medencében tovaterjed, kialakul a hullám. Tehát a hullám rezgések tovaterjedése valamilyen közegben. Vagyis a hullámhoz két dolog szükséges: egy rezgés és egy közeg. A rezgő



2. ábra

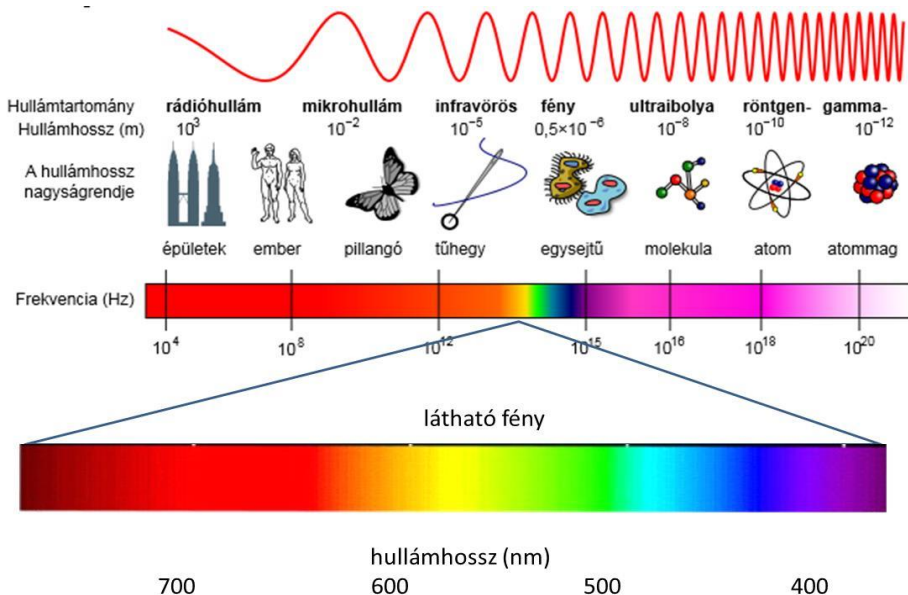
Az elektromágneses hullám ábrázolása

részecskék helyben maradnak, csak a rezgés (az energia) terjed tovább. Az előzőhöz hasonlóan az elektromágneses hullám az elektromos és a mágneses rezgések tovaterjedése. Leegyszerűbben úgy állíthatjuk elő, hogy veszünk egy kondenzátorból és egy tekercsből álló rezgőkört. Feltöltjük a kondenzátort,

amelyben ezáltal egy elektromos mező alakul ki. A kondenzátor a tekercsen keresztül kisül, miközben az áram a tekercsben mágneses mezőt hoz létre. Az áram, a tekercs öninduktivitása következtében, a kisülést követően is tovább folyik és a kondenzátort ellenkező irányba újra feltölti és így tovább, oda-vissza. Szétnyitva a kondenzátor két lemezét egy antennához (elektromágneses dipólus) jutunk, amely hullámokat sugároz ki³.

Az elektromágneses hullámban a terjedési irányra és egymásra merőlegesen rezeg az elektromos (E) és a mágneses (B) tér (2. ábra). A közeg viszont? Nos, mivel az elektromágneses hullám (fény) a csillagközi térben (vákuumban) is terjed, ezért úgy néz ki, hogy nincs szüksége közegre. Ez azonban ellentmond a klasszikus hullám-értelmezésnek, ezért feltételezték, hogy mégis létezik valamilyen közeg, amely ezt a teret egyenletesen kitölti és azt *éternek* (aether) nevezték. A fény tulajdonképpen ennek az éternek a rezgése.

Az elektromágneses hullámnak, mint minden hullámnak, a legfontosabb jellemzője a *hullámhossz* (λ). Az elektromágneses sugárzás hullámhossz tartománya igen széles, mintegy 15 nagyságrendet is átfoghat, elindulva a több százméter hullámhosszú rádióhullámoktól egészen a nanométernél is jóval kisebb gamma sugárzásig (3. ábra).



3. ábra

A elektromágneses sugárzás hullámhossz- illetve frekvencia tartománya

Az elektromágneses sugárzáson belül a *fény* csak egy nagyon szűk tartományt fed le, a 15 nagyságrendből még egy felet sem (3. ábra). Az, hogy miért éppen ez vált mégis életünk alapjává, első látásra elég különösnek tűnik. A továbbiak, remélem, megadják rá a választ.

Ismeretes, hogy a fény kettős természettel rendelkezik, hullám is, meg részecske is. A *hullámtermészet* (λ) fő jellemzője az interferencia, amely azt jelenti, hogyha két fénysugár azonos fázisban találkozik, erősítik, ha ellentétesben, akkor gyengítik (kioltják) egymást. A hullámtermészet látványos megnyilvánulása, többek között, a prizma fénytörése, a színekre bontás. Mivel a törésmutató függ a hullámhossztól, ezért a prizma a fehér fényt (napfényt) színeire bontja (4. ábra). A színeken belül három alapszínt különböztetünk meg: a pirosat, a sárgát és a kéket,



4. ábra
A prizma fénytörése

melyek kombinációjából az összes szín előállítható. Így működik a színes televízió, de az emberi szem is. Engem mindig elvarázsolt az a tény, hogy a fehér színű fény a szivárvány színeire bontható és néhányból minden szín előállítható,

azaz a fényben minden benne van és közülük mégis néhány képviseli a

teljességet. Talán éppen ezért választottam mottóul az említett Ehnaton idézetet.

A fény ugyanakkor részecske is. A *részecsketermészet* fő jellemzője a mozgásmennyiség, másszóval az impulzus, p , azaz a tömeg (m) és a sebesség (v) szorzata, amely ütközéskor átadódik. A fényhez rendelt részecskét *fotonnak* nevezzük, melynek talán leglátványosabb megnyilvánulása az üstökös csóvája, a Napból kiáramló fotonok (napszél), amelyek mintegy elfújják az üstökösből kiszabaduló finom port.

A foton fogalmát Max Planck vezette be 1900-ban, mint hipotézist, a hőmérsékleti sugárzás magyarázatára (Nobel-díj, 1918), nevezetesen azt, hogy az elektromágneses sugárzás energiája nem folytonos, hanem diszkrét értékekből, *kvantumokból* áll. A cikk 1900. december 14-én

jelent meg, ezért ez az időpont tekinthető a kvantumelmélet születésnapjának, azon elméletének, amely alapvetően átformálta a fizika képét és a modern fizika egyik alappilléreinek tekinthető. Albert Einstein a foton már fizikai valóságnak, részecskének tekintette és vele magyarázta fotoeffektus jelenségét, azaz a megvilágítást végző fény és hatására a fémből kilépő elektronok jellemzői közötti kapcsolatot is. Albert Einstein ezért az 1905-ben megjelent munkájáért kapott Nobel-díjat (1921) és ennek emlékére nyilvánította az UNESCO először a 2005-öt, majd most a 2015-öt a Fény Évének.

III. A FÉNY ÉS AZ ANYAG

A fény kettős természete alapján változtatta meg magáról az anyagról vallott felfogásunkat. Amennyiben a fénynek, mint hullámnak van részecsketermészete, akkor a szimmetria miatt az anyagnak, mint részecskének is kell lenni hullámtermészetének. Felmerül a kérdés, hogy nem lehetne-e a nyilvánvalóan részecskének tekinthető objektumokat, például az elektronokat, hullámként leírni? Luis-Victor de Broglie konzekvensen követte ezt a gondolatmenetet és 1923-ban közreadta a részecskék és hullámok kettős természetéről (dualitásáról) szóló munkáját (fizikai Nobel díj, 1929), amely szerint minden p impulzussal rendelkező anyagi részecskéhez:



5. ábra
Ag-vel szennyezett Ge egykristály
elektron diffrakciós képe

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

hullámhosszú hullám rendelhető, ahol h az un. Planck-állandó. Mivel a Planck-állandó a köznapi dolgokhoz képest (ahol p nagy, mivel m nagy) nagyon kicsiny ($h=6.6261 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{sec}$), így az említett hullámhosszak is kicsik, ezért azokat hullámként nem észleljük (az említett Pista bácsi sem a dualitás, hanem az alkohol miatt hullámszik). Viszont ha p kicsi

(az m kicsiny), mint például az elektron esetén, akkor a hullámtermészet már jelentkezhet. Ennek tipikus megnyilvánulása az elektronsugárnak a kristályrácsra való elhajlása, az elektron diffrakció (5. ábra).

A kettős természet következménye, hogy az anyag valójában sem nem részecske, sem nem hullám, hanem valami egészen más. Úgy lehetne elképzelni, mint egy élével megforgatott pénzdarabot, amely sem nem írás, sem nem fej, viszont amikor rácsapunk (mérés), vagy az írás, vagy a fej lesz felül. A kettős természet valójában a fizikában gyakran alkalmazott, ún. korrespondencia-elv következménye. Nevezetesen annak, hogy esetünkben a makro világban használt fogalmakat visszük át a mikrovilágra. Innen ered a jól ismert Heisenberg-féle határozatlansági reláció is, ami azt mondja ki, hogy nem határozható meg egy időben tetszőleges pontossággal a részecske (klasszikus) helye és impulzusa. A meghatározás bizonytalansága:

$$\Delta p \cdot \Delta x \approx h \quad ,$$

amely a h kicsi volta miatt a köznapi dolgoknál szintén elhanyagolható. Ha viszont p (m) kicsi (elektron), a helymeghatározás bizonytalansága már számottevő lehet. Ennek számos következménye van, többek között például az, hogy a korrespondencia elven alapuló klasszikus atommodellek (bolygómodell) módosításra szorultak.

A fényről szerzett ismereteink alapozták meg a korszerű fizika egyik ágát, a mikro-részecskék mechanikai tulajdonságait leíró *kvantummechanikát*. De-Broglie ötletét továbbfejlesztve Ervin Schödinger megalkotta a róla elnevezett Schödinger-egyenletet, melynek segítségével a elektron, mint hullám írható le (Nobel-díj, 1933). A Schrödinger-egyenlet ugyanazt a szerepet tölti be a kvantummechanikában mint Newton-é a klasszikusban.

A továbbfejlesztett Schrödinger-egyenlet érdekessége, hogy szimmetrikus a töltésre, így Dirac (Nobel díj, 1933) megjósolta, hogy létezhet az elektronnak pozitív töltéssel rendelkező párja, a *pozitron*, amelyet Anderson (Nobel díj, 1936) fel is fedezett. Azóta megtalálták a többi részecske párját is (antirészecskék, antianyag). Környezetünkben ugyan nem találkozhatunk velük, mert ha egy részecske találkozik párjával, megsemmisülnek és energiájuk foton formájában szétsugárzódik, bár nem zárható ki, hogy létezhetnek antianyagból felépülő univerzumok⁴.

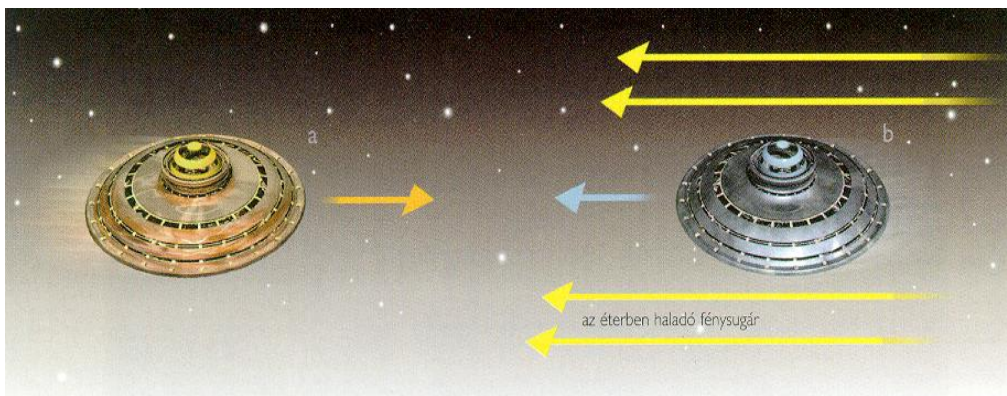
IV. A FÉNY ÉS VILÁGKÉPÜNK

Képzeljük el, hogy a vasútállomáson keresztül egy vonat v_0 sebességgel halad át, a vonaton sétál valaki v sebességgel, akkor az állomásról nézve annak a sebessége:

$$v^* = v_0 + v$$

lesz, azaz a sebességek összeadódnak. Ezt Galilei-féle sebesség-összetevésnek nevezzük.

Mi a helyzet a fény esetén? A fény az éter rugalmas rezgései. Ha létezne az éter, akkor a baloldali űrhajós a sebesség-összetevés miatt nagyobbak látná a fény sebességét (c), mint a jobboldali (6. ábra). Ezzel szemben mindkettő ugyanakkorának látja, azaz minden egymáshoz képest állandó sebességgel mozgó rendszerben a fény sebessége azonos.



6. ábra

Sebesség-összetevés fény sugár esetén (*Stephen Hawking nyomán*)

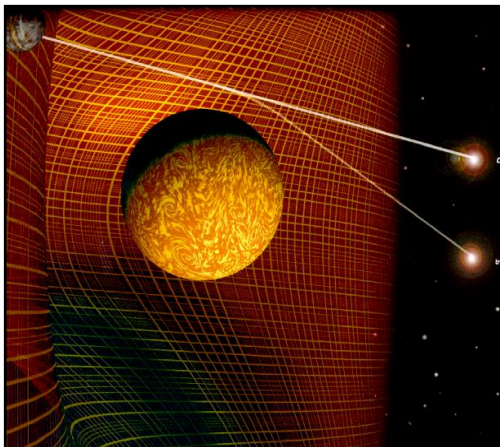
A Galilei féle sebesség-összetevés helyett:

$$v^* = \frac{v_0 + v}{1 + \frac{v_0 v}{c^2}}$$

un. Einstein félét kell használni, amelynél $v \rightarrow 0$ esetben a Galilei-félét adja vissza, míg a $v=c$ esetben $v^*=c$. A fénysebesség függetlensége azt jelenti, hogy az egymáshoz képest állandó sebességgel mozgó koordinátarendszerek egyenértékűek. Ez az Einstein-féle speciális relativitás elve.

Az elmondottak több következménnyel is járnak, nevezetesen a távolság kontrakció, az idődilatació, a tömeg és energia ekvivalenciája, stb.. Mivel az előadás témája nem a relativitáselmélet, ezért közülük csak egyet, a világméretű legnagyobb hatást gyakorlót, nevezetesen a térnek és az időnek a kapcsolatát emelném ki.

A Galilei-féle sebesség-összetevést kielégítő esetben a más koordinátarendszerre történő áttérésnél a helykoordináták változnak, de az idő mindegyikben azonosan telik. Ezzel ellentétben az Einstein-féle esetben a helykoordináták mellett, azokkal megegyező módon, az idő is transzformálódik, vagyis a hely (tér) és az idő szorosan összetartozik. Ezt az összetartozást úgy fejezzük ki, hogy a két mennyiséget egynek tekintjük és téridőnek nevezzük. Ezt matematikailag egy négydimenziós vektorral (az első három komponens a helykoordináták, a negyedik az idő) írhatjuk le, azaz a téridő egy négydimenziós mennyiség, és Euklideszi geometriát követ. Figyelem, nem a tér a négydimenziós, hanem a téridő!



7. ábra

A tér görbülése nagy tömeg közelében
(Stephen Hawking nyomán)

A téridő összetartozásának következménye, hogy amennyiben világunk időben véges, akkor a tér és az idő együtt keletkezett. A világ keletkezése mindig is az emberiség előtt álló egyik legfontosabb kérdés volt. A teremtésmítoszok mindig valami véges időről és véges méretű „világegyetemről” szóltak. A tudomány fejlődése során mindkettőt elkezdték tagadni (ebben elsősorban a teremtés tagadása játszotta a fő szerepet), örökkévalónak és végtelennek tekintették. A végtelen azonban nem egy megfogható mennyiség, hanem egy matematikai absztrakció (például az, hogy egész számok sorozata végtelen, mindössze azt jelenti, ha bármely nagy számot is veszünk, lesz annál nagyobb, de az is véges). Ebből nyilvánvaló, hogy végtelen világegyetemről nincs sok értelme beszélni, véges esetén viszont felmerül a kérdés, mi volt előtte és mi van kívüle⁵.

A megoldást, legalább is egy valószínűsíthető modell kidolgozását, ismét a fény tette lehetővé. Mindenki ismeri a *Doppler-effektust*: azaz a felénk közeledő hullámforrásnál nagyobb (magasabb hangot), a távolodónál kisebb frekvenciát (alacsonyabb hangot) észlelünk. Hubble 1926-ban azt tapasztalta, hogy a csillagok színképvonalai eltolódnak a kisebb frekvenciák (vörös) irányába ezért úgy néz ki, mintha azok távolodnának tőlünk. Ezt az eltolódást *vöröseltolódás*nak nevezzük. A távolodás sebessége elég nagy (átlagosan a fénysebesség harmada) és annál nagyobb, minél távolabbi a csillag. Ez a távolodás a világegyetem bármely pontjára igaz, azaz az univerzum folyamatosan tágul⁶. Ebből viszont az következik, hogy kellett lenni egy időpontnak (kb. 14 milliárd évvel ezelőtt), amikor a világegyetem egy pontban volt és valami miatt (Ősrobbanás) elkezdett tágulni.

Az Ősrobbanás megmagyarázza az idő véges voltát, mivel az, az elmondottak alapján, szorosan hozzátartozik a térhez, így azzal együtt keletkezett. Már az egyházatyák is hasonlóan gondolkodtak az időről: „Az idő az Isten által teremtett világegyetem sajátja, s a világegyetem létrejötte előtt nem létezett” mondta Szent Ágoston. Így nem meglepő, hogy az Ősrobbanás elméletet az egyház sem ellenzi, mivel valamennyire összhangba lehet hozni a Biblia teremtéstörténetével, mivel azt, hogy az Ősrobbanás hogyan történt, nem tudjuk, a “gombot” akár Isten is megnyomhatta. Az sem lehet véletlen, hogy az elmélet kiagyalója (1931), Georges Lemaître (1894–1966) belga pap, a Louvaini Római Katolikus Egyetem fizika és csillagászat tanára volt és Einstein a legszebb teremtéstörténetnek nevezte, amit valaha is hallott.

A másik kérdés a világegyetem véges vagy végtelen volta. Amennyiben véges, mi van mögötte, mi történik, ha a szélére érünk? Lelógathatjuk-e a lábunkat? A végeesség problémája feloldható a határtalan bevezetésével. Képzeljünk el egy (kétdimenziós) gömbfelületet, az véges, de határtalan, sohasem érünk a szélére. A gömbfelület tulajdonképpen nem más, mint egy meggömbített síkfelület. Hasonlónak gondoljuk el a téridőt, amely egy meggömbített négydimenziós önmagában záródó gömb (vagy egyéb) „felület”. A határ kérdése máris megoldódott.

Mitől görbülhet meg a tér (a téridő)? Oka a tehetetlen és gravitációs tömeg egyen-értékűsége⁷. Végezzük el a következő gondolatkísérletet! Vegyünk két liftszekrényt, az egyik legyen a Földön, akkor a benne álló személyre:

$$F=mg$$

erő hat, ahol g a gravitációs gyorsulás, m az un. súlyos (a gravitációs vonzásból származó) tömeg. A másik lift legyen egy rakétában, amely $a=g$ gyorsulással gyorsul. A személyre ható erő ebben az esetben:

$$F=ma=mg,$$

ahol az m most a tehetetlen (a sebességváltozásnak ellenálló) tömeg. Mivel a kettő egyenlő, a liftben álló megfigyelő nem tudja megkülönböztetni a Földön álló liftszekrényt a rakétával gyorsítottól. Ha a rakéta motorját kikapcsoljuk, akkor ugyanazt érzi, mintha a lift szabadon esne. Ebből következik, hogy bármely gyorsuló rendszer egyenértékű egy olyan rendszerrel, amelyben a nehézségi gyorsulás hat. Ez az Einstein féle általános relativitás elve.

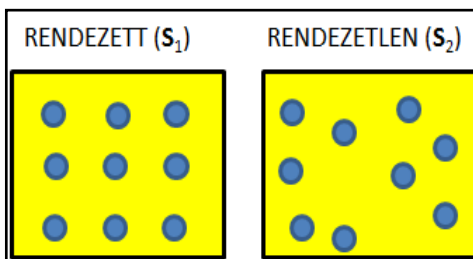
A liftből, mint gyorsuló rendszerből nézve az egyenesen haladó fénysugár görbe lesz, ezért annak a gravitációs térben is meg kell görbülni. Mivel a fény jelöli ki a térben az egyenest, ezért a tér (téridő) szintén meggömbül a nagy tömegek közelében (7. ábra). Ennek az lesz a következménye, hogy a négydimenziós téridő nem Euklideszi geometriát követ⁸. Amennyiben a téridőt Euklideszi térben szeretnénk ábrázolni, ahhoz négynél több (egyes modellek szerint 10-11) dimenzió kell (lásd a meggömbített kétdimenziós síkot három-dimenziós térben)⁹.

V. A FÉNY ÉS AZ ÉLET

Biológiai folyamatok tulajdonképpen fizikai-kémiai folyamatok összessége. Az élet azonban ennél több, de eleget kell tenni az erre a folyamatokra vonatkozó (termo-dinamikai) törvényeknek, ezen belül is a termodinamika főtételeinek.

A termodinamikában az egyik fő kérdés, mi az, ami meghatározza a folyamatok irányát? A termodinamika első főtétele az energiamegmaradás törvénye, ennek minden folyamatra, iránytól függetlenül teljesülni kell.

A folyamatok irányát általában az energiacsökkenés (U) szabja meg



8. ábra

Rendezett és rendezetlen struktúrák az entrópia fogalmához

(ezért folyik a víz a magasabb (potenciális energiájú) helyről az alacsonyabbra (a völgybe). Mi a helyzet azonban a zárt rendszernél¹⁰, ahol nincs energiaváltozás? Ebben az esetben a folyamatok irányát a termodinamika második főtétele szerint az entrópia-növekedés jelöli ki¹¹.

Mi is az *entrópia*? Esetünkben a rendezetlenség mértéke! A

rendezetlen állapot entrópiája a nagyobb ($S_2 > S_1$), ezért zárt rendszerben a folyamatok a rendezettből a rendezetlen felé haladnak. Ez egybevág azzal a tapasztalattal, hogy a rendetlenül hagyott szobában hazatértünkkor (külső segítség nélkül) nem lesz rend.

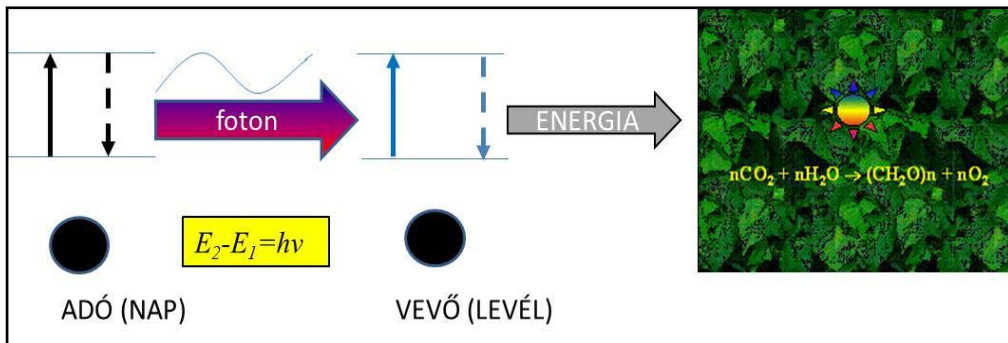
Az élő szervezet azonban nyitott rendszer! Nyitott rendszer esetén a folyamat irányát a *szabadenergia*¹² (entalpia) szabja meg:

$$F = U - TS,$$

ahol az U a belső energia, T az (abszolút) hőmérséklet. A folyamat olyan irányba megy végbe, hogy a szabadenergia csökkenjen, azaz $\Delta F < 0$! A szabadenergia változás tartalmazza mind az energiacsökkenést ($\Delta S = 0$), mind az entrópianövekedést ($\Delta U = 0$), mindkét lehetőséget, amelyek a folyamatok irányát meghatározhatják.

Az élő szervezet (rendezett) nagyobb szabadenergiával rendelkezik, mint az a környezet (azon elemek összessége) amiből felépül! Miért megy végbe mégis a folyamat? Ismét a fény (a napsugár) az, amely besegít, mégpedig a fotoszintézis által. A kialakult szerves vegyületet (növényt) megeszi az állat (nyúl), részben beépíti magába a növéynél rendezettebb, így nagyobb szabadenergiával rendelkező stuktúráként, a maradék viszont kisebb szabadenergiájú végtermékként eltávozik. Az átlagos szabadenergia kisebb lesz, min a kiinduló, így a folyamat végbemehet (9. ábra). Ez hasonló módon folytatódik (ember) egészen addig, míg ismét szervetlen anyag jelenik meg, majd a kör újra indul.

Az elmondottakkal kapcsolatban két kérdés merülhet fel. Az első: Miért éppen a fény? Erre megadható a tudományos magyarázat. A Napban lejátszódó termonukleáris reakció során felszabaduló energia gerjeszti a Nap felületén lévő (többnyire hidrogén) atomokat, amelyek az alapállapotba való visszatérésük után fotonok formájában fényt bocsátanak ki. A vevő, a levél hasonló mechanizmussal ezeket a

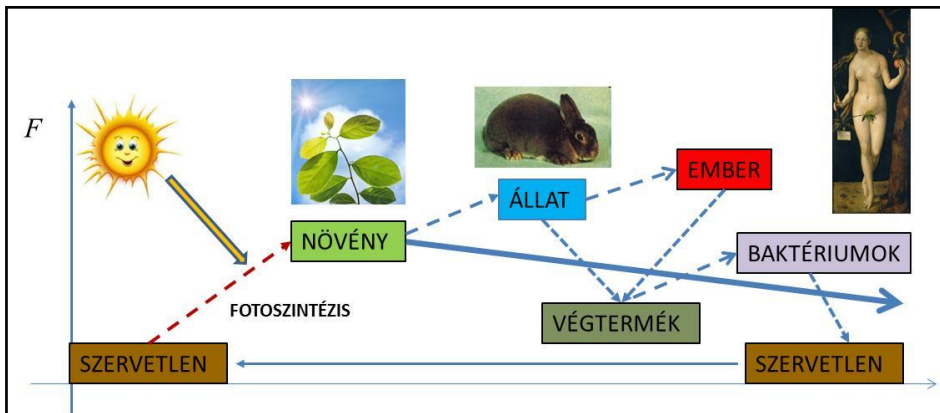


9. ábra.

A szabadenergia változás folyamata az élőlények esetében

fotonokat abszorbeálja és a felvett energia segítségével, meglehetősen bonyolult folyamatokon keresztül, szerves molekula alakul ki (10. ábra). Energiafelvétel nélkül H_2CO_3 , azaz szénsav keletkezne! Tehát úgy működik, mint egy adó-vevő, ahol a vörös-frekvencia maga a fény, nevezetesen a 450 nm körül (kék) és a 650-750 nm-nél (piros), így a visszavert fény, a levél színe, zöld lesz¹³.

A második kérdés: Miért tesz a természet egy "kunkort", hogy ugyanahhoz a végállapothoz eljusson? Erre a válasz már kevésbé adható meg. Nem ismerünk olyan természeti törvényt, amely ezt a kunkort magyarázná, azaz a szabadenergia csökkenésnek ezt a bonyolultabb útját választaná. Ismét felmerülhet a teremtés kérdése!



10. ábra

A fotoszintézis folyamatának sematikus ábrája

VI. A FÉNY ÉS A MŰVÉSZET

Befejezésül a fénynek a művészetben betöltött szerepével foglalkozom. Művészet alatt képzőművészetet, ezen belül is elsősorban festészetet értek. Nézzük meg, hogy a fény milyen szerepet tölthet be. A fény lehet képkalkotó, ez a *fotoművészet*, kicsit elkülönül a képzőművészettől, maga is külön előadást érdemelne.

A fény *információközvetítő*, természetesen nemcsak a művészet terén. A képzőművészetnek elsődleges célja, hogy vizuális információkat közvetítsen a közönség felé, melynek eszköze a látás. A látás egy biológiai (fizikai) folyamat, de ugyanakkor szellemi folyamat is, amihez elsősorban a képzőművészet terén, esztétikai kategóriák is társulnak.

A látás mibenléte régóta foglalkoztatja az embereket. Püthagorasz és követői úgy gondol-ták, hogy a szem fényt bocsát ki, ami az adott tárgyról visszaverődik. Epikurosz és követői pedig úgy vélekedtek, hogy a tárgy felületéről finom rétegek válnak le, és a szemünkbe jutnak. Arisztotelész szerint a megvilágított tárgyról visszaverődő fény a közvetítő levegőn át érkezik a szemhez. A mai elképzelés az Arisztotelészéhez áll közelebb, a tárgy fénysugarakat bocsát ki, ver vissza, ezek bekerülnek a szembe, amely egy lencse segítségével rávetíti egy ideghártyára. Az ideghártyán elhelyezkedő receptorok érzékelik (külön-külön a három szint) és az agy képpé rakja össze.



11. ábra

A lepkének a szárnya, mint optikai rács



12. ábra.

Delphoi: Apollón templom

A fénykibocsátás szempontjából két alapesetet különböztethetünk meg. Az egyik a hőmérsékleti sugárzás (izzólámpa, vaskályha), ahol a szín (frekvencia) a hőmérséklettől függ. A másik az atomok gerjesztésének elvén működő eszközök (led, fénycső), amelyek adott frekvenciájú (színű) fényt bocsátanak ki.

Maga a látás viszont inkább a fényvissza-verődésen alapul. A tárgyak a rájuk eső (általában fehér) fényből bizonyos színeket visszavernek (pigmentek), illetve elnyelnek, ebben az esetben a komplementer szín verődik vissza (levél). Nagyon érdekes, hogy hogyan alakul egyes pillangók szárnyának a színe. A szárny tulajdonképpen egy optikai

rács (11. ábra), amelyben a ráctávolság akkora, hogy egy adott hullámhosszú féynél interferencia lép fel, ami így a színét adja. A lepke pusztulása után ez a távolság megváltozik, így a szín is, szemben azzal az esettel, amikor a színt a reflexió (pigmentek) adják.

A következőkben a fényről, mint a *művészi kifejezés eszközéről* szeretnék pár szót szólni. Ebből a szempontból a fény mindig is fontos szerepet játszott a képzőművészetben, elsősorban a festészetben, amely a színek művészete. Az ókorból (görögök, rómaiak) ilyen emlék nemigen maradt ránk, az a tény viszont, hogy templomaikat (Apollón kultusz) gyakran olyan helyre építették, ahol sok volt a fény (Delphoi, 12. ábra) azt

mutatja, hogy a fény fontos lehetett számukra. Ugyanerre utalnak egyes irodalmi alkotások is, többek között a Homéroszi Apollón himnusz:

*Itt ugrott ki belőle a messzelövő nagy Apollón,
mint csillag ragyogó délben; mert róla a szikrák
röppentek seregestől, fényük elért a nagy égig...*

(Devecseri Gábor fordítása)



12. ábra.

Párizs. St. Chapelle kápolna gótikus üvegablakai



13. ábra.

Rembrant: Éjjeli őrző

A középkor évszázadai, nem véletlenül illetik sötét jelzővel, nem kifejezetten a fényről szólnak. Elmozdulást a *gótika* jelent, a hatalmas üvegablakokon keresztül már beengedi a fényt, de annak eszközként való alkalmazása csak a gótika végén, a reneszánsz elején kezdődik.

A festészet területén *reneszánsz* mozdul el először a természethű ábrázolás irányába, ekkor jelenik meg a tájkép, és a portré, mint műfaj. Mindkettőnél fontos a fény és a színek. A reneszánsz legnagyobb ered-ménye a térnek a perspektívának (vonal-, levegő- és színperspektíva) a felfedezése és széleskörű alkalmazása.

Művészi kifejezés eszközeként igazi jelen-tőiségre a *barokk*ban tesz szert. A barokk a térben szabadon áramló, lendületes vonal-vezetést kedveli.

Megmozgatja a formát s ennek érdekében előszeretettel aknázza ki a fény és az árnyék festői ellentétét, fokozván a

látványosságot és a drámai hatást. Fénnyel emeli ki a fontosat, a mondanivalót, amelyre tipikus példa Rembrandt Éjjeli Őrzője¹⁴. A festményen a festő fénnyel emeli ki a középen lévő két alakot, egyben ez

jelzi a kép mondanivalóját is, nevezetesen azt, hogy Frans Banning-Cocq, a Polgárőrség kapitánya parancsot ad hadnagyának, Willem van Rytenburch lovagnak, hogy vonultassa ki századát (13. ábra).



A másik példa a fény művészi eszközként való alkalmazására Bernini Szent Teréz extázisa (14. ábra). Ez ugyan nem festmény, hanem egy szobor, a jelenet mondani- valóját, Szent Teréz álmában megjelenő angyalt az elhelyezés, az ablakon keresztül beáramló fény hangsúlyozza. További érdekessége a műnek, hogy a művész ezt tovább erősíti a lefelé tartó fénysugarak plasztikus ábrázolásával is.

14. ábra.

Bernini: Szent Teréz extázisa.

A fény, mint a művészi kifejezés eszköze az *impresszionizmusban* éri el csúcspontját. Impresszió, benyomás,

ennek elsődleges eszköze a látás, melynek hordozója a fény. Ezért nem



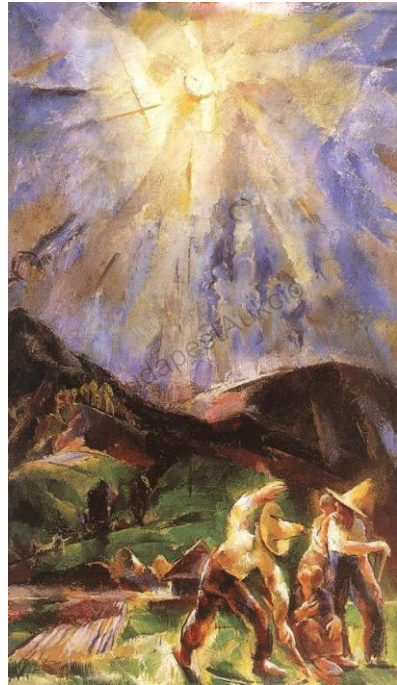
15. ábra

Claude Monet. A Roueni székesegyház különböző napszakokban sorozat néhány képe

véletlenül kapta az impresszionizmus a fény művészete elnevezést. A fény meghatározóvá válik az alkotás szempontjából. A festők eljátszadoztak a fénnel, szinte már tudományos alapossággal vizsgálták a fény szerepét, hogyan változtatja meg a fény a tárgyak képét és általában az egész művet. Claude Monet több mint 30 képet festett a Roueni székesegyházról, amelyek azt különböző napszakokban ábrázolják (15. ábra).

Befejezésül a fényről, mint a *művészet tárgyáról* szeretnék pár szót szólni. A fény ábrázolása mindig is témája volt a művészeteknek (lásd például az 1. és a 14. ábrákat!), de önálló szerephez csak a múlt században jut (valószínűleg nem véletlenül, hatással lehetek rá a kor fizikájának a fénnel kapcsolatos eredményei).

Egy hosszú fejlődésnek lehetünk szemtanúi. Kezdetben a fény, ha nem is kizárólagos, de központi szerepet játszik. Aba Novák Vilmosnak „A fény” című munkája (16. ábra) központjában valamiféle, a Nappal kapcsolatos



16. ábra.

Aba Novák Vilmos: A fény



17. ábra.

Csáji Attila: Fényút

fényjelenség áll, talán napkitörés, mindenesetre a lent dolgozó földművesek vegyes, kíváncsisággal teli félelemmel nézik a különleges eseményt.

A század közepén megjelenik a fény, mint kizárólagos motívum, önmagáért való ábrázolás, amelyet összefoglalóan fényművészetnek nevezünk (16. ábra). Az új fényforrás, a lézer megjelenése, a koherencia által lehetővé vált holografikus ábrázolás, a különféle optikai jelenségek, mint pl. a

fényvezetés jelensége üvegben, plexiben és vízben, vagy a feszültségoptikai jelenség, új meg új területre vezette a művészek alkotó fantáziáját. A fényművészet kialakulásában és fejlődésében a magyar művészeknek jelentős szerepe van (Csáji Attila).

Végül, most már valóan befejezéseképpen, ismét egy idézet. Goethe mondta állítólag halálos ágyán, hogy „több fényt”. Átvitt értelemben talán igen, konkrétan talán nem, ugyanis a túlzott mennyiségű fénynek káros hatásai is lehetnek. Ez nemcsak abban nyilvánul meg, hogy a nagyvárosok közelében nem gyönyörködhetünk az éjszakai égboltban, hanem abban is, hogy például az embernél a biológiai ritmus felborulásához, álmatlansághoz és az ezzel kapcsolatos különböző depressziós betegségek kialakulásához vezethet, a bőrrákról nem is szólva. Mindenből csak mértékkel, így a fényből is.

JEGYZETEK

1. Az eredeti szállóige: *Extra Hungariam non est vita, et si est, non est ita.*
2. Ehnaton, eredeti nevén IV. Amenhotep (uralkodott: kb. i.e. 1354 – i.e. 1336) az egyiptomi XVIII. dinasztia tízedik fáraója. Leginkább átfogó vallási-kulturális reformjáról ismert, mely során igyekezett bevezetni Egyiptomban az egyistenhitet, a napkoronggal fémjelzett Aton kultuszát állítva a központba. Naphimnusa az ókori költészet talán legszebb alkotása.
3. A sugárzás következtében a rezgőkör energiája folyamatosan csökken (csillapított rezgőmozgás), így azt folyamatosan pótolni kell. A pótlás a kondenzátornak folyamatos feltöltésével oldható meg.
4. Az Ősrobbanás (a Nagy Bumm) során mind részecskék, mind antirészecskék keletkeztek, amelyek azt követően páronként megsemmisültek (energiává alakultak). Valami miatt minden egymillió antirészecskére egymillió-egy részecske jutott, így a feleslegből alakult ki a mai világegyetem.
5. A véges méret esetén további gondot jelent az is, hogy a világegyetemet gravitáció egy pontba húzná össze (statikus világegyetem), ami ugyan elég mesterkéltnél is, egy ellenerővel (Einstein) kiküszöbölhető lenne.
6. A táguló (dinamikus) világegyetem, legalább is addig, ameddig a tágulás tart, nem omlik össze. Egyes elképzelések szerint a tágulás örökké tart, mások szerint (néhány tízmilliárd év múlva) megáll és a világegyetem ismét egy pontba esik össze (Nagy Zutty).
7. Egyáltalán nem triviális a két tömeg azonossága. Két egymástól különböző jellemzőről van szó: a külső erővel szembeni ellenállásról (tehetetlenség) és a tömegvonzásról (gravitáció).

8. Az euklideszi tér egyik jellemzője, hogy a háromszög szögeinek összege 180° . Nem euklideszi tér esetén ez több (lásd pl. gömbfelületen felvett háromszöget), vagy kevesebb lehet.
9. A tér meggörbülése nem okvetlenül vezet annak véges voltához (lásd a gömbfelület helyett egy parabolidot). Ehhez feltevésekkel kell élni a világegyetem tömegére, annak eloszlására vonatkozólag.
10. Egy termodinamikai rendszer anyag- és (hő) energiátranzsporton keresztül lehet kapcsolatban a környezetével (nyitott rendszer). Zárt rendszerről akkor beszélünk, ha sem anyag-, sem energiátranzport nincs.
11. Az entrópiánövekedésnek a következménye az is, ha például egy liter 100 fokos és egy liter 20 fokos vizet összeöntünk, abból két liter 60 fokos víz lesz, és soha sem fordul elő a fordítottja, jóllehet az energiamegmaradás törvénye ezt megengedné.
12. Valójában szabad entalpia. Állandó nyomáson (p) az entalpia, $H=U+pV$ az állapotfüggvény, ami változhat, azaz $\Delta H=\Delta U+p\Delta V$. Mivel a szilárd testek (folyadékok) összenyomhatatlanok, azaz $\Delta V=0$, ezért $\Delta H=\Delta U$.
13. Nem a fotószintézis a szerves anyag létrejöttének egyetlen lehetséges útja. Vannak egyéb lehetőségek is, például a kénbaktériumok, a kéntartalmú vegyületeket oxidáló, szerves anyagot kemoszintézissel előállító baktériumok. Ezeknek azonban az élet körfolyamatában csak másodlagos szerepük van. Fotószintézis nélkül legfeljebb valami primitív élet alakulhatott volna ki.
14. A képnek eredetileg nem volt címe, elnevezés onnan kapta, hogy a kép az évszázadok alatt ráarakódott kosztól sötét tónusúvá vált. Miután a restaurátorok eltávolították a port és a sok lakkréteget, előtűnt a már korábban is sejtett tény: az alakokat nem az éjjeli homályban, hanem a tűző napsütésben ábrázolta Rembrandt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Devecseri Gábor: Epidauroszi tücskök szóljatok, Magvető könyvkiadó, Budapest, 1978
Egyetemes művészettörténet, Park kiadó, Budapest, 1999
Erdey-Grúz Tibor: *A fizikai kémia alapjai*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972
<http://keskenyuton.blogspot.hu/2011/08/keresztyenség-vagy->
<http://evolucion.html><http://teremtstudomany.hu/masodik-fo-tetel/>
http://tudomany.blog.hu/2015/02/21/2015_a_feny_nemzetkozi_eve#more7193341
<http://www.ujmuveszETFolyoirat.hu/2015/04/fenymuveszet-tortenet-magyarul/>
<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/kornyekem1/szen.htm>
Schanda János: *Élet a sugárözönben*, Magyar Tudomány **8**, 2002
SH atlasz Biológia, Springer-Verlag, Budapest Berlin Heidenberg New York London Párizs Tokyo Hong Kong Barcelona, 1995
SH atlasz Fizika, Springer-Verlag, Budapest Berlin Heidenberg New York London Párizs Tokyo Hong Kong Barcelona, 1993
Stephen Hawking: *Az idő rövid története*, Maecenas Kiadó, Budapest, 1989
Stephen Hawking: *A Világegyetem dióhéjban*, Akkord Kiadó, Budapest, 2002
Tarnai Andor: *Extra Hungariam non est vita...* Modern filológiai füzetek, **6**. Akadémiai Kiadó Budapest, 1969.

MIRŐL BESZÉLNEK A BÉLBAKTÉRIUMOK

Dr. Izbéki Ferenc

Fejér Megyei Szent György Kórház Székesfehérvár

I. BEVEZETÉS

A biológiai rendszerekben a reprodukció folyamatában bekövetkező hibák kijavítása a rendszerek inherens tulajdonsága. A hiba néha szelekciós előny jelent, ami földtörténeti léptékkal mérve, az evolúció szempontjából jelentős is lehet. A bonyolult biológiai rendszerekben a hibák is bonyolultabbak ezeket összefoglalóan betegségnek is nevezhetjük, és az emberiség története során a hibák kijavításával foglalkozó személyek kezdtek el működni. Az első név szerint is ismert orvos, *Imhotep* tevékenysége óta eltelt mintegy négy és félezer évben, ha áttekintjük az orvoslás történelmét, az orvos munkájában egyfajta állandóság figyelhető meg, mégis az orvostudomány hihetetlen fejlődésen ment keresztül. Különösen így van ez az elmúlt néhány száz évben, mióta a mérnöki tudományok fejlődésnek indultak. A mérnök számos idegen nyelvben használt elnevezése a latin *ingenium* szóra vezethető vissza, ami olyan személy tevékenységét jelenti, aki a természet törvényeinek megismerésére alapozva olyan dolgokat hoz létre, ami korábban a természetben nem létezett.

A modern orvostudomány fejlődése nagyrészt a mérnöki tudományok által megteremtett eszközöknek köszönhető, gondoljunk például a komputer tomográfiára, vagy a mágneses rezonanciára alapuló képalkotó eljárásokra, amelyek milliméteres szeleteket képesek készíteni a különböző szervekről. A mérnököknek köszönheti az orvostudomány azt is, hogy a testünkben élő baktériumok vizsgálata is lehetővé vált.

II. A MIKROBIÓTA

A bélben élő és szaporodó, zömében oxigénhiányos környezetet kedvelő baktériumok összessége alkotja a bélflorát, aminek tömege 1-1,5 kg. Ezt a mikroorganizmus tömeget, amivel az étletterünket megosztjuk, vagy aminek étletteréül szolgálunk, *Joshua Lederberg* nevezte el *mikrobióta*-nak. Ez a baktérium tömeget, amelyek egyedei az emberi sejteknél mintegy 10-szer kisebbek (0,5-1 mikrométer), mintegy 100 billió (10^{14}) baktérium teszi ki. Ez a szám egy nagyságrenddel nagyobb, mint az emberi testet felépítő sejtek száma (10^{13}). Ha azt gondoljuk, hogy az élet fennmaradásának egyik alapvető feltétele az örökítő anyag, a gének, tehát az, ami számít, akkor még jelentősebb különbséget találunk. Ebben a baktérium tömegben becsülhető három millió gén összességében mintegy két nagyságrenddel meghaladja azt a körülbelüli harminc ezret, ami az emberi genomban van. Ezért ezt a mikrobióta által reprezentált genom tömeget a tudományos közlemények mikrobiomának nevezik. Ennek megismerésére, hasonlóan a Humán Genom feltérképezését szolgáló projekthez, 2007-ben az Amerikai Egyesült Államokban elindították a Human Microbiome Projectet.

Az ember tápcsatornájában baktériumok döntő többsége a vastagbélben él, a gyomorban és a vékonybélben élő baktériumok mennyisége elenyésző. Ezt a bakteriális egyensúlyt, ami az egészséges állapotot jellemzi, eubiosisnak nevezzük, és az egyensúly felborulása a dysbiosis, aminek betegség lehet a következménye. Az így kialakuló betegségek egy részét régóta és jól ismerjük, például szalmonella, vagy a kolera, de csak az utóbbi időben vált ismertté, hogy egyfajta „dysbiosis” jellemzi az elhízottakat, a cukorbetegeket, a depressziósokat, vagy a skizofréniasokat és még számos egyéb betegségben szenvedőket is. De nem csak betegség, hanem az egészséges embereknél az életkor során is változik a mikrobióta összetétele. Az újszülötteknél nagyobb arányban vannak az acinetobaktériumok, az idős embereknél pedig a firmicuta csoport van nagyobb arányban. A normális öregedés folyamatában játszott szerepük és a betegségekkel való ok-okozati összefüggések vizsgálata képezi jelenleg a legintenzívebb orvos-biológiai kutatások tárgyát.

III. A MIKROBIÓTA MEGISMERÉSÉT LEHETŐVÉ TEVŐ MÓDSZEREK

A bélben élő baktériumok vizsgálatának lehetősége nem tekint vissza hosszú múltra, hiszen maga az a szó, baktérium, is alig kétszáz éve született. A baktériumok többségének tenyésztése rendkívül nehéz, és leginkább a súlyos betegségek kórokozóira korlátozódott, emiatt a szervezetünkben velünk élő mintegy ezer különböző fajba tartozó hasznos baktérium azonosítása a közelmúltig lehetetlen volt.

Egyfajta baktérium törzssel végzett kutatásokban a polimeráz láncreakció (PCR) régóta ismert, alapvető módszer, de olyan sok féle és nagyszámú **baktérium kimutatását**, mint ami az emberi szervezetben él csak az utóbbi időben kifejlesztett mikroarray (DNS chip) módszer tette lehetővé. A módszer alapját néhány biokémiai és fizikai törvény mérnöki alkalmazása képezte. A DNS kettős spirál hő hatására szétválik, és polimeráz enzim valamint a DNS-t alkotó nukleotidok hozzáadásával replikák készíthetők. A hőmérséklet csökkentésére a szálak újra egyesülnek. A folyamat ismétlésével elvileg egyetlen, önmagában nem vizsgálható DNS molekulából mérhető, analizálható mennyiségű nukleinsav mennyiség készíthető. A mikroarray esetében az egyik szálát szilárd fázison fixálják, ami egy üveglap, és egy célkönyvtárat hoznak létre. Polimerázzal felsokszorozzuk a mintát és az egyik szálát festékkel megjelölve odakötik a szilárd fázishoz. Hagyományosan egy piros és egy zöld színű fluoreszcens festéket használnak. Ha a két szín egyenlő erősségű, akkor sárga színű jel keletkezik, ha az egyik túlsúlyban van, akkor zöld vagy vörös. A DNS-chipeken kialakuló fluoreszcens hibridizációs reakciót egy kifelbontású konfokális lézer-mikroszkóppal olvas le, s mivel a kép digitalizált, az olvasó program számára azonnal értelmezhető. Az így kialakuló színminta komplex bioinformatikai komputeres programokkal olvasható. Az adatbázisokban szereplő 16S rRNS gén szekvenciák alapján a bakteriális DNS szekvenciák azonosíthatók és egymással összehasonlíthatók. A jelenlegi technikai lehetőségek már több ezer különböző próbát tartalmazó folt (spot) felhelyezését teszik lehetővé egy négyzetcentiméternyi felületre. Ez által igen nagyszámú bakteriális genom egyszerre vizsgálható, és összehasonlíthatóvá válik különböző betegségekben szenvedő személyek bélbaktérium flórája. Az emberi béltraktus vizsgálatára tervezett chip

(HITChip) például 4809 próba alkalmazásával egyszerre 1140 baktérium faj vizsgálatát teszi lehetővé. Az ilyen filogenetikai mikroarray tervezésére számos szoftver csomag áll rendelkezésre (ARB, PRIMORSE, ORMA). A mikroarray készítése során a tervezési stratégia helyességét *in silico* tesztelésnek is alávetik.

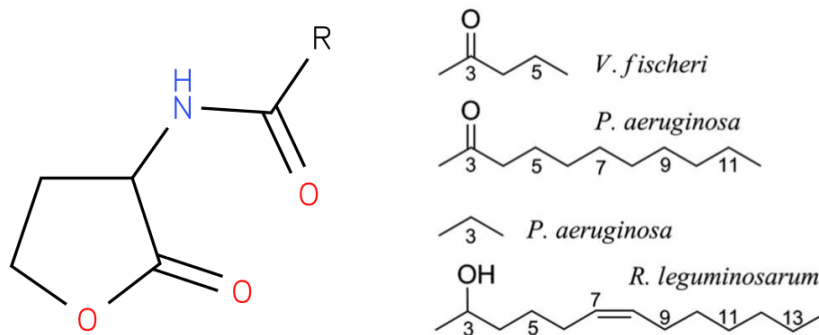
IV. A BAKTÉRIUMOK KOMMUNIKÁCIÓJA

Az elmúlt két-három évtized vizsgálataiból vált ismertté, hogy a bélflóra összetétele adott egyénben viszonylag stabil, de a különböző személyek esetében, még egyetétjű ikrek esetében is, igen nagy különbségek lehetnek. Az összetétel eltéréseiben a táplálkozásnak igen jelentős szerepe lehet. Afrikai ősi életkörülmények között élő törzsek gyermekeinek és az európai gyerekek bélflórája között meghökkentő különbség áll fenn.

Az állandóság megőrzésében és a változások mértékének szabályozásában nagy jelentősége van a *kvórum érzékelés* jelenségének. A baktérium populációk a baktériumsűrűség érzékeléssel, kvórum érzékeléssel, szabályozzák az egyedek génkifejeződést, tehát szaporodását. A baktériumok ebben az egymás közötti kommunikációban egyfajta molekuláris, vagy kémiai nyelvet beszélnek. Ebben a folyamatban jelátviteli molekulákat használnak, de a jelenség megismeréséhez először a baktérium populációt képező baktériumok tanulmányozását lehetővé tévő módszerek kifejlesztésére volt szükség.

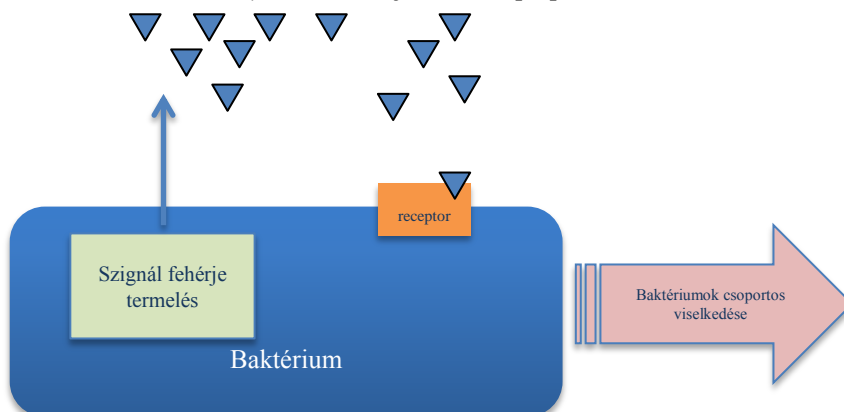
A kvórum érzékelés biológiai rendszerekben játszott szerepe szolgál számos számítógépes és modellalkotó robot technika alapjául is. A kvórum érzékelés jelátviteli mechanizmusa érvényesülhetnek baktériumtörzsekben belül és baktériumtörzsek között. Ez egyfajta nyelv, amelyen a baktériumok egymással beszélnek. A szavakat, illetve a kommunikáció egységet, a jelátvitelt molekulák képezik, amelyeket a baktériumok termelnek és magukból a környezetükbe juttatnak (ezeket autoinducereknek vagy feromonoknak is nevezik). Amikor a baktérium populáció száma, illetve az általunk termelt autoinduktor molekulák száma elér egy bizonyos küszöb értéket, az ún. kvórum szintet, akkor a baktériumok egységes, a csoport számára kedvező aktivitást indítanak. Számos kvórum érzékelő rendszer ismert ma már a különböző baktériumokban. Az egyik jellegzetes baktériumok által termelt

autoinduktor molekula az N-acyl-homoserine lacton (AHL), ami az 1. ábrán látható. Ez kémiaiilag egy homoszerin lakton gyűrű, amihez az R betűvel jelzett helyen különböző hosszúságú, általában 4-18 szénatomos oldalláncok csatlakoznak.



1. ábra Autoinduktor molekula (AHL és oldalláncai)

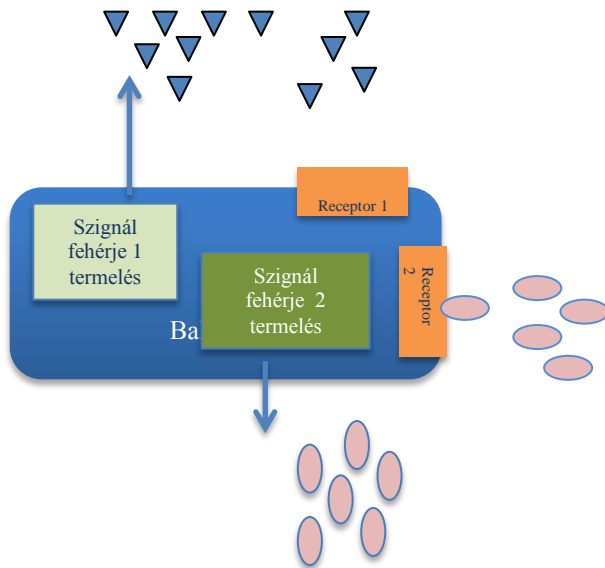
A 2. ábrán mutatja, hogy a jelátvivő molekulák a baktériumok felületén lévő receptorokhoz kötődnek, aminek hatására bizonyos gének működésbe lépnek, közöttük azok is, amelyek magukat a jelátvivő molekulákat kódolják, és azok termeléséhez vezetnek. Ezekre a jelátviteli molekulákra a baktériumok saját maguk is rendelkeznek receptorokkal, vagyis „hallják” és „értik” saját és más baktériumok „szavait”. Viszont kicsi annak a valószínűsége, hogy a baktérium a saját maga által termelt jelátvivővel találkozzon, tehát az aktiváció bekövetkezése elsősorban a környezetében lévő baktériumok által termelt jelátvivő molekulák révén valószínű. Amikor az „azonos nyelvet beszélő” baktériumok kevesen vannak, akkor a diffúzió miatt az aktiváló molekulák koncentrációja alacsony. De a populáció növekedésével az



2. ábra: Fajon belüli kommunikáció

induktor molekula mennyisége átlépi azt a küszöb értéket, ami még több induktor termelődését váltja ki, mintegy pozitív visszacsatolással a receptor maximális aktiválódását eredményezi. Ez a baktérium törzsön belüli kommunikáció módszer a baktérium csoport viselkedését határozza meg. Bizonyos jelátvivő molekulák a baktérium törzsek közötti kommunikációt is lehetővé teszik, ami viszonyt a baktérium csoportok egymáshoz viszonyuló viselkedését befolyásolja. Az egyes baktérium törzsek által használt jelátviteli molekulák eltérőek és jellemzőek a törzsekre. De vannak jelátvivő molekulák (a közös nyelv), amelyekre minden baktérium rendelkezik receptorral (mindegyik baktérium érti). Ezt az egyszerű nyelvet – az emberi kommunikációban az eszperantónak felelhetne meg- maga az N-acyl-homoserin jelenti. Ezáltal ugyanabban a környezetben élő, egymástól nagyon távoli baktériumok között is kialakulhat párbeszéd. Néha ez a kommunikáció csak egyirányú. A kvórum érzékelés a gyorsan változó környezetben a baktériumok túlélését is szolgálja. Például a bélben a az állandóan változó rendelkezésre álló tápanyag, és a baktériumok számára toxikus anyagok hatásának a kivédése. A baktériumok által termelt jelátvivő molekulák az eukariota sejtekhez is kötődnek, adott esetben a bél hámsejtjeihez vagy a bélfalban lévő immunsejtekhez is. Ennek a kommunikációnak a révén összefognak, és közösen támadásba lendülve tudják a gazdaszervezet védekező rendszerét, az immunrendszert leküzdeni vagy kijátszani. Az egyik legfejlettebb kvórum érzékelő rendszert fejlesztett ki a *Pseudomonas aeruginosa* nevű baktérium, amely egy opportunista kórokozó, és a legsúlyosabb kórházi környezetben kialakuló fertőzésekért felelős. Rendkívül ügyes baktérium, fejlett kvórum érzékelésük révén számos különböző számukra ellenséges környezethez is jól adaptálódnak. Kiirtása a kórházi környezetből néha lehetetlen.

Ezeknek a molekuláknak a megismerése alkalmazása a baktériumokkal kommunikációt alakíthatunk ki, ami az általuk okozott betegségek kezelése új utakat nyitna meg. Jelenleg a baktériumok által okozott betegségek kezelése során az antibiotikumokkal a beavatkozás ebbe a bonyolult ökoszisztémába megjósolhatatlan, és nem ritkán olyan baktériumok számára biztosít életteret, amelyek már ellenállóvá váltak a legtöbb antibiotikumra, sőt némelyek kifejezetten az antibiotikumot tartalmazó környezetet szeretik (pl. Vacomycin Dependens Enterococcus). Ezek a baktériumok egyre gyakrabban okoznak olyan súlyos betegségeket, amelyek akár halálos kimenetelűek is lehetnek.



3. ábra Fajok közötti kommunikáció

Egyelőre a baktériumok nyelvét még nem beszéljük, így a dysbiosis kialakulása esetén az egyensúly helyreállítása a mikrobióta transzplantációval, magyarul széklet átültetéssel érhető el. Az antibiotikum kezelt betegekben előfordul, hogy a *Clostridium difficile* nevű baktérium szaporodik el és az általa termelt toxin rendkívül súlyos, ún. álhártyás vastagbélgyulladást okoz, ami az esetek mintegy 2-3%-ában halálos kimenetelű lehet. Az utóbbi években az antibiotikumra nem reagáló *Clostridium* okozta bélgyulladások kezelésben látványos sikereket értek el a széklet transzplantáció alkalmazásával. Ez a módszer nem egészen új, egy *Eismann* nevű orvos 1958-ban már adott egészségesekből származó székletet beöntés formájában 4 súlyos bélgyulladásos betegnek, akik mind meggyógyultak. Sőt a kínai orvoslásban már a 4. században fellelhető a széklet transzplantáció alkalmazása. 2013-ban a vancomycinre nem reagáló esetekben, illetve azzal szemben alkalmazott széklet transzplantáció tudományos vizsgálata drámai sikert eredményezett. Számos más vizsgálat is bizonyította hasznát ebben a betegségben, mindazonáltal a gyógymódként való széleskörű elfogadása még várat magára. A mikrobióta a bél idegrendszerén keresztül kommunikál a központi idegrendszerrel is, miáltal számos pszichopathológia jelenségben és betegségben vizsgálják a szerepét, mint a depresszió, nyugtalanság, anorexia nervosa. Mindazonáltal az orvosi irodalomban a

módszer jövőbeni alkalmazásának lehetőségét számos, a mikrobiota megváltozásával összefüggésbe hozott, vagy avval járó betegség, mint pl. cukorbetegség, Parkinson kór, sclerosis multiplex, autismus, kezelésében felvetik.

A jövőben az antibiotikumok ígéretes alternatíváját a kvórum érzékelést befolyásoló molekulák jelentik. Ehhez azonban még számos kérdést kell kísérletekkel megválaszolni. Mindezt megelőzik a számítógépek segítségével végzett gyógyszertervezési folyamatok. Ezek segítségével kiválaszthatók azok a molekulák, amelyek a kötődése a célfehérjékhez nagy valószínűséggel bekövetkezik. Ezek a molekulák nem a baktériumok szaporodását gátolják, hanem az aktivitásukat befolyásolják. Ehhez a kulcsot a baktériumok kommunikációjának, jelátviteli mechanizmusainak jobb megértése által kapjuk meg.

V. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Lederberg J.: 'Ome Sweet 'Omics – A genealogical treasury of words. *The Scientist* 2001. 17(7).
2. Kumari, A.; Pasini, P.; Deo, S. K.; Flomenhoft, D.; Shashidhar, S.; Daunert, S. "Biosensing Systems for the Detection of Bacterial Quorum Signaling Molecules". *Analytical Chemistry* 2006, 78, 7603–7609.
3. Barriere, S.L. Clinical, economic and societal impact of antibiotic resistance. *Expert Opin. Pharmacother.* 2015, 16, 151–153.
4. Alanis, A.J. Resistance to antibiotics: Are we in the post-antibiotic era? *Arch. Med. Res.* 2005, 36, 697–705.