

Muladi Beáta–Csépe Zoltán

VEZETÉK NÉLKÜLI SENZORHÁLÓZATOK ALKALMAZÁSA BARLANGI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

ÖSSZEFOGLALÁS

A barlangi klíma megfigyelése a barlangok kutatásának egyik legfontosabb alapja. A mai korszerű barlangkutatás megkívánja a klíma egyes komponenseinek pontos mérését, hosszú időn keresztül, monitoring jelleggel. Az ehhez használható műszerek és módszerek sokfélék. A barlangi klíma és körülmények sok esetben szigorú követelményeket támasztanak a műszerekkel szemben. Legnehezebb feladat egy mérő rendszer esetén az időszinkron mérés biztosítása. A legtöbb esetben vezetékes érzékelő hálózatot használnak, amely biztosítja az egyes érzékelők időszinkron működését. Sok esetben azonban nem lehetséges vezetékes hálózatot kiépíteni.

A mai korszerű informatikai eszközök lehetővé teszik azt, hogy vezeték nélküli mérő hálózatot telepítsünk barlangba – figyelembe véve az elektromágneses hullámok barlangbeli terjedési sajátosságait – egy ilyen hálózat tervezése és építése összetett feladat. Készítettünk egy barlangi környezetben használható vezeték nélküli mérő rendszert. A szenzorok alacsony költségűek, valamint egyszerű a kezelhetőségük. Ezek a műszerek megfelelő mennyiségű adatot biztosíthatnak egy adott időpillanatban különböző területekről, mely lehetővé teszi komplett barlangokban vagy akár a karszt kisebb területein a hőmérséklet változásának figyelését.

A mérő rendszert a Mecsek hegységben, a Szuadó-völgy Trió-barlangjában próbáltuk ki, cikkünkben a mérőrendszert, a barlangi hálózat kiépítését és első eredményeit mutatjuk be.

1. BEVEZETÉS

A barlangi klíma nagyon összetett rendszer, melyben a legfontosabb tényező a hőmérséklet, de számos más fő- és segédtevényező befolyásolhatja. A rendszeres hőmérséklet- és radonmérésekkel rengeteg információt kaphatunk a karsztról. Addig azonban „fekete doboz” modelltől beszélhetünk, amíg pusztán magukat az elemeket vizsgáljuk, és nem tudjuk, milyen kapcsolat van közöttük. „Szürke doboz” modelltől akkor beszélhetünk, ha az elemek közötti kapcsolatról és anyagvándorlásról is ismeretet nyerünk. A célunk az lenne, hogy a „fehér doboz” modell megvalósuljon: ily módon olyan egzakt adatbázishoz tudnánk hozzáférni, mellyel matematikai modellek formájában vizsgálhatnánk egyes folyamatokat, így jelentősen felgyorsítva az elemzéseket, valamint előrejelzések készítésére is lehetőség nyílna. Mint minden más szakterületen, a barlangkutatásban is jelentős technikai fejlődések mentek végbe. Olyan új mérőeszközök, elektronikai eredmények, laboratóriumi és terepi kísérletek láttak napvilágot, amelyekről eddig csak álmodozhattunk. Így egyre közelebb kerülvén a „fehér doboz” modellhez (ZÁMBÓ L. 2002), a mi célunk is az volt a műszerfejlesztéssel, hogy a modell megvalósításához hozzájáruljunk, valamint a terepi munkát jelentősen megkönnyítsük.

A Hajnóczy-barlangban 3 éven át nyaranta mértek légáramlást és hőmérsékletet. Az akkori hőmérsékletmérés hagyományos hőmérővel történt, a termekben és a járatokban a kádakban összegyűjtött vízben mérték a hőmérsékletet 0,3–1,5 méter magasságban. Ezeket a méréseket hőmérővel végezték,

valamint a kijárat szakaszban elektromos távhőmérővel, összesen nyolc mérőfejjel működtek. Ezzel meg tudták határozni, hogy az átlaghőmérséklet $9,43\text{ }^{\circ}\text{C}$, valamint a Leyla-járatban $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os ingadozást mutattak ki. (MIKLÓSI G. 1978). A mostani műszerekkel már nem kellene folyamatosan a barlangban tartózkodni, míg az adatrögzítést végezzük, mert a szenzorok elvégzik helyettünk, valamint nagyobb pontossággal is mérnek, mint a hagyományos hőmérők. Ma már lehetőség van vezeték nélküli hőmérők telepítésére is, így nem kell a szenzorhoz kábel. Ha a barlangban járattágítást, bontást végeznek, vagy esetleg barlangtúrán résztvevő személyek tartózkodnak lent, nyugodtan haladhatnak el a szenzor mellett, mert a kábelek nem akadályozzák őket.

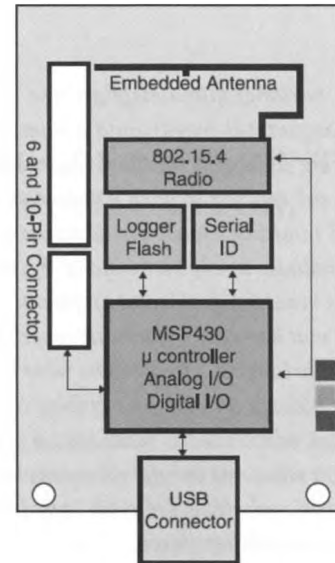
2. AZ ESZKÖZ



1. ábra. A TELOSB szenzor

Forrás: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/eszkozok.phtml?id=0>

Az általunk használt eszköz a TELOSB alacsony fogyasztású vezeték nélküli szenzor modul (1. ábra). Támogatja az IEEE 802.15.4/ZigBee vezeték nélküli kommunikációs szabványt, melynek segítségével az alacsony adatátviteli sebességet megvalósítja. A rádió modul 250kbps adatátvitelre képes, melyet 2.4 GHz-es ISM sávban biztosítja. A rádióhoz tartozó antenna az alaplapra van integrálva, melynek hatótávolsága barlangban elérheti a 15 métert is. A vezérlésről egy 8 MHz-es MSP430-as mikroprocesszor gondoskodik, mely 10 kB RAM-mal rendelkezik. Az eszközben gyárilag többféle érzékelő van beépítve. Található rajta látható és infravörös fény szenzor, továbbá egy hőmérséklet és páratartalom érzékelő szenzor. Az adatok tárolására 1 Mbyte flash memória áll rendelkezésünkre. A ki- és bemeneti perifériák; egy darab nyomógomb és 3 darab Led. A felprogramozás USB-n keresztül lehetséges, melyet az adatok kinyerésére is használhatunk. Az eszközön található még két csatlakozó felület, mellyel további szenzorokat és perifériákat tudunk csatlakoztatni. Az eszköz operációs rendszere a nyílt forráskódú TinyOS, melynek segítségével bárki tudja programozni az eszközt. Az áramellátásról 2 db LR6-os elem gondoskodik (2. ábra). Az általunk elkészített rendszerben kétféle módon programozhatók fel az egyes eszközök. Az egyik egy mérőprogram, mely a hőmérsékletet tudja tárolni az eszközön, és a rádiókommunikációt valósítja meg a többi eszközzel. A másik program pedig a számítógéphez csatlakoztatott bázisállomás vezérlőprogramja.



2. ábra. A szenzor felépítése

Forrás: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/eszkozok.phtml?id=0>

3. A SZOFTVEREK

Az eszközök működtetéséhez TinyOs-ben készültek el a megfelelő programok, melyek egy C alapú programozási nyelvre épülnek. Míg a felhasználóval való kommunikációra szolgáló szoftverek Java-ban készültek. A hőmérsékletmérő programnak két fő eleme van.

Az egyik elem valósítja meg a hőmérsékletmérést. Ezen programrészt bizonyos időközönként lekéri az hőmérsékletszenzor adatait, melyet ezután eltárol a flash memóriába. Egy letárolt csomag a hőmérsékletértékből és a mérés időpontjából áll. A tároláshoz a program a TinyOs LogStorage modulját használja, melynek segítségével kisméretű adatokat tudunk biztonságosan tárolni. Ha a rendszerben bármi hiba történik, pl. áramellátás megszűnése, akkor sincs adatvesztés. Az adattárolás kétféle módon történhet: az egyik a lineáris, amikor a tárolás megáll, amint a memória betelt. Másik lehetőség a cirkuláris tárolás, ekkor a memória megtelése után mindig az utolsó adatot írja felül. A cirkuláris adattárolás előnye, hogy az utolsó két adatból már el tudjuk dönteni, volt-e adatvesztés.

A másik fő eleme a programnak az IEEE 802.15.4 szabványra épülő rádiós kommunikáció. A rádió vezérlése során két protokollt alkalmazunk.

FTSP (Flooding Time Synchronization Protocol)

Ha vezeték nélküli szenzorhálózatot építünk ki, akkor általában több szenzor alkalmazásáról esik szó. Az eszközök szinkronizálása jelentősen megkönnyítheti munkánkat az adatok feldolgozásakor. Az eszközök alapesetben szinkronizálatlanok, mert nem minden szenzor processzora megy ugyanazzal a sebességgel, ez lehet akár 7,9, de 8,1 MHz is a gyári 8 Mhz-cel szemben. Ez függ a külső hőmérséklettől, a rázkódástól és egyéb környezeti tényezőktől. Az eszközök lokális időmérővel rendelkeznek, ezért nem tudjuk pontosan megadni a mérések egymáshoz való viszonyát. Az FTSP segítségével globális időt számítunk ki, amely minden eszközön megegyezik. *Lokális idő* az eszköz helyi ideje, a *globális idő* az egész szenzorhálózatban adja meg az időt.

Az FTSP az eszközökön broadcast – mindenki által megkapható – üzenetekkel kerül megvalósításra, multi-hop rendszerben, melyet 10 másodpercenként küld a rendszer. A broadcast üzeneteket minden eszköz megkapja egy adott hatótávolságon belül, majd ezek az eszközök továbbadják az üzenetet a saját hatótávolságukon belül, így minden eszköz több lépésben kapja meg a szinkronizációs üzenetet. Az eszközök közti távolságból adódó időeltolódásra megoldást jelent, hogy mikroszekundum pontossággal ismerjük az üzenet elküldésének helyi idejét. Mivel az üzenet érkezésének időpontja is ismert a fogadó eszköz lokális idejében, így e két információból statisztikai módszerek segítségével megkaphatjuk a globális időt. A rendszer elméletileg végtelen sok „hop”-ig működhetne, de a valóságban ez körülbelül 20–50 hop.

LPL (Low Power Listening)

Az LPL segítségével az energiafogyasztás minimalizálható, hogy az elemeket minél hosszabb ideig tudjuk használni. Energiatakarékosság céljából a rádió nem folyamatosan üzemel, csak meghatározott időközönként. Ha tehát egy szenzor üzenetet továbbít egy másiknak, bekapcsolja a rádiót és elkezdődhet az adatok továbbítása, majd fogadó üzemmódra vált, visszaigazolásra várva. Amennyiben nem történik meg a nyugtázás, ismét elküldi az adatokat. Ez addig ismétlődik, míg egy másik szenzor meg nem kapja az adatot, és a nyugtát vissza nem küldte erről.

Az eszköz a vezérlő parancsokat is rádión keresztül kapja meg. Három parancsot tud fogadni: mérés, törlés és letöltés. A mérés esetén az előre beállított időközönként mér. A törlés parancs esetén a falsh-t törli majd készenléti üzemmódba áll az eszköz. Ha a letöltő parancsot kapja meg, akkor a számítógéphez kapcsolt basestation eszközön keresztül a számítógépre küldi az adatokat, amelyek ott formázott struktúrában tárolódnak.

3.1. Tokozás

A szenzorok dobozolására az IP54-es 10x10-es műanyag villanyszerelési elosztódobozokat használtuk, melyek egységes nagyságúak és térfogatúak, valamint csepegő vizek ellen teljesen jól zárnak. A dobozok alkalmasak voltak a barlangban való szállításra is.

4. BARLANGI HŐMÉRSÉKLET VIZSGÁLATOK

4.1. Barlangi hőmérsékletmérés mintaterület bemutatása

A nyugat-mecseki karsztban, kis mérete ellenére, igen sok karsztos objektum, köztük barlang előfordul. Közvetlenül szinte mindegyik azonos – triász korú – karbonátos kőzetekben alakult ki. A barlangokat befoglaló kőzet napjainkban jelentős vastagságban különböző típusú talajok borítják, melyek feltehetőleg erősen korlátozzák a barlangi légtér és a felszín közötti légcserét a mikrotöréseken keresztül. Ebből kifolyólag az ismert légcseré feltehetőleg a fejlettebb járatrendszerekhez kötődik

A barlangot befoglaló kőzet 240 millió éves története alatt számos részre töredezett, melyek vetők mentén elmozdultak, így a barlangok kutatása meglehetősen nehéz feladat, melyet nagymértékben megkönnyíthetnek a barlangi klimatológiai vizsgálatok.

A Trió-barlang a 255 méteres hosszával és -58 méteres mélységével, a Mecsek második legmélyebb és hetedik leghosszabb barlangja, bejárata 297 m magasságban található. Tipikus völgytalpi víznyelő-barlang, jelenlegi állapotában már csak időszakosan aktív. A völgy három barlangja közül feltételezések szerint a legidősebb, de a nyelők szimultán működtek, így nem jelentheti azt, hogy a legfejlettebb.

A barlangot morfológiailag három részre lehet osztani. A bejáratától az aknarendszerig szűk egyenletes lejtésű 30 méter hosszán. Ez a szakasz három függőleges aknából és a hozzájuk tartozó vízszintes részekből áll. Majd a harmadik akna után az elágazás található, ahol az Agyagos-ágon és Vizás-ágon eljuthatunk a barlang két végpontjába (BAUER M. 2010).

4.2. Barlangi körülményekre felkészítés – szenzor térkép

A szenzor térkép megalkotásával a barlangi légáramlás vizsgálatát szerettük volna megalapozni. A barlangi légáramlást több tényező befolyásolja egy adott barlangnál: a felszíni hőmérséklet, milyen a barlang alakja (vízszintes vagy függőleges járatokról van-e szó), milyen a kőzet repedezettsége, hőmérséklete (ez az adott helyen uralkodó levegő- és vízforgalomtól függ) (ROSE GY.–NÉMETH T. 1995). A léghőmérséklet-mérés célja lehet tudományos vagy gyakorlatias. Az első esetben a barlangi klíma törvényszerűségeit szeretnénk vizsgálni, míg a másik esetben a kutatást megkönnyíteni (RAJCZY M. 2008).

Az első mérés során azt térképeztük fel, hány szenzor kellene ahhoz, hogy a felszíntől a Tamás-aknáig le tudjunk mérni úgy, hogy a műszerek kommunikálnak egymással. Ehhez egy olyan programot használtunk, amelynek segítségével egyrészt könnyebben el tudjuk készíteni ezt a szenzor térképet, másrészt a LED-eken (azaz a kijelzőn) láthatjuk azt, hogy a műszerek kommunikálnak-e egymással. A TELOSB szenzoron 3 színű LED került elhelyezésre: piros, kék és sárga. A program segítségével láthattuk, hogy a világító piros LED csupán a készenléti állapotot jelezte, a kék LED felvillanása azonban arra utalt, hogy a műszerek érzékelik egymást. A szenzoroknak olyan helyzetben kellett látniuk egymást, ahol rögzíteni is tudjuk őket. A mérést 2010. február 12-én végeztük.

Méréseink arra engednek következtetni, hogy a Trió-barlangban 45 méter hosszán, 34 méter mélységben szenzorhálózatot tudunk kialakítani: 14 szenzort barlangban, egyet a felszínen elhelyezve (3. és 4. ábra). Az a feltételezésünk nem igazolódt be, hogy a műszerek akár 20 méter távolságban is tudnak kommunikálni a rádióhullámok segítségével a Trió-barlangi körülmények között, mivel a legnagyobb távolság 12 méter volt. Annak ellenére, hogy a felszínen akár 100 méter távolságban is észlelik egymást a szenzorok, a barlangban mért távolságot meghatározza a barlang geometriája is, az elérhető távolság akár 20–25 méter is lehet. A mérés során hőmérsékletet nem mértünk, csak a távolság adatokat jegyeztük fel 2 szenzor segítségével. A szenzorhálózat kialakítása ebben a barlangban ekkor nem valósult meg, mivel nem tudunk hosszú időre elhelyezni ennyi szenzort a barlangban.

Célszerű volt kimérnünk, hány szenzor szükséges a megadott pontig, mert így megbizonyosodhatunk arról, hogy 15 szenzor elhelyezése a II. akna aljáig biztosítja a méréshez szükséges feltételeket.



3. ábra. Szenzortérkép ábrázolása a kiterített hosszmetseti térképen
Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

Trió-barlang szenzortérkép (alaprjz)



4. ábra. Szenzortérkép ábrázolása az alaprajzi térképen
Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

Amennyiben egy évig rendelkezésünkre állhatna 15 db eszköz, megfigyelhetnénk a téli-nyári hőmérsékletváltozást, a hőmérők reakcióit a változásra, valamint lehetőségünk nyílna az adatok elemzésével a bekövetkező változások kimutatására és a hideg pont meghatározására.

4.3. Az első nyári barlangi hőmérsékletmérés

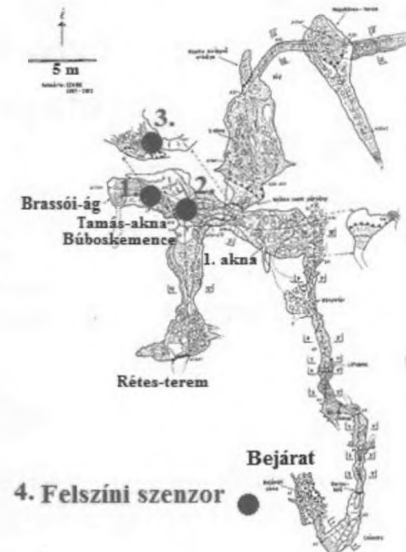
A harmadik mérésünkre ismét a Trió-barlangban került sor, mely vizsgálat során a barlangi légáramlással kapcsolatos kérdésekre szerettünk volna választ kapni, valamint arra, hogy a TELOS-B-k milyen mértékben segítik a vizsgálatokat.

A mérés időtartama a 2010-es nyári kutatótábor ideje alatt, 2010. augusztus 5-én 15²⁰-tól augusztus 7-én 18⁵⁵-ig tartott. Ebben az időszakban 4 szenzorral volt lehetőségünk vizsgálatokat végezni. Az eszközök közül az egyik szenzort a közvetlen a barlang mellett lévő fára helyeztük el. A többi három mérőeszköz a barlangban a Tamás-akna különböző pontjain kapott helyet. Az egyik szenzort a Tamás-aknában, a következő szenzort a Tamás-akna és sziklapárkány közötti részen, elég közel a létrához tudtuk elhelyezni. Ezt a két szenzort belógatva tudtuk elhelyezni, míg a harmadikat a sziklapárkányon egy kis hasadékba, a barlang falához rögzítve (5. ábra). A szenzorok 5 percenként rögzítették a hőmérsékletadatokat. Előzetes mérések során vizsgáltuk, hogy nincs különbség a szenzorok működése között attól függően, hogy a falhoz rögzítve vagy légtérbe belógatva helyezzük-e el azokat.

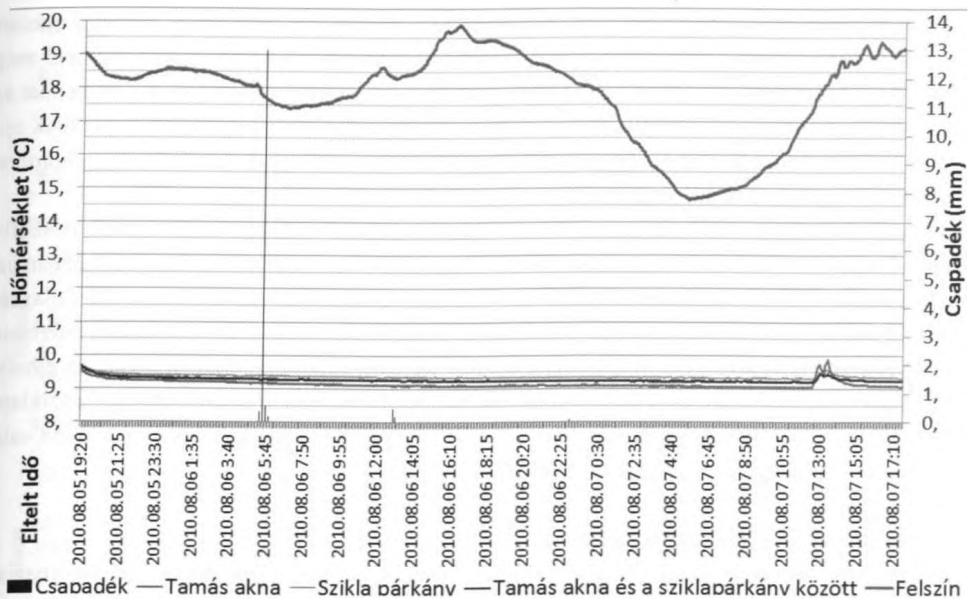
A barlangi leszállásunk 16 óra 20 perckor történt. A Tamás-aknában 17³⁰-kor helyeztük el a szenzorokat, 20 perc alatt értünk ki a barlangból, és 17⁵⁰ kor elhelyeztük a felszíni eszközt. Ezután 1 óra telt el, mire a 16 °C-ot mérő barlangi hőmérők adatrögzítései 10 °C alá estek. A felszíni eszköznek pedig 25 perc kellett, hogy 16 °C-ról 19 °C-ra emelkedjen a hőmérséklet.

A felszíni hőmérőn látható, hogy követi a nappalok és esték változásával bekövetkező hőmérsékletingadozást. A diagramon (6. ábra) az is észrevehető, hogy 2010.08.06-án 6 óraker hirtelen zivatar érkezett a Szuadó-völgy felé, és a csapadékadatok is azt mutatják, hogy a vihar miatt csökken a hőmérséklet. Ezután még aznap 12 óraker is beborult az ég, és megint visszaesett a hőmérséklet. Mivel a barlangi szenzorokat már a barlangklíma-vizsgálat során abban a szakaszban helyeztük el, ahol a felszíni hőmérséklet nem befolyásolja a mérést, ezért a vizsgálatok ideje alatt nem történt nagy hőmérsékletváltozás, kivéve, amikor egy 12 fős csoport tartózkodott a barlangban.

A mérésnél azt észleltük, hogy tized fokos eltérések vannak a különböző szenzorok között. A sziklapárkányon elhelyezett szenzor – ami a legvédettebb helyen volt a hasadékban – mutatta a legmagasabb hőmérsékletet 9,3 °C-ot, a középső szenzor mért 9,2 °C-os hőmérsékletet, és a legmagasabban elhelyezett szenzor mérte a legalacsonyabb hőmérsékletet, 9,1 °C-ot. A csoport megérkezésekor viszont a legnagyobb hőmérséklet-emelkedést a Tamás-aknában elhelyezett szenzor mutatja, valamint ezen a mérőműszerezen jelentkezik először a hőmérsékletemelkedés. Ez azzal magyarázható, hogy a csoport a létrán való leereszkedés kezdetén e mellett a szenzor mellett haladt el. A csoport 15 percig tartózkodott a teremben, a diagramon két csúcsa van a hőmérsékletemelkedésnek: az első a csoport érkezésekor, ekkor a hőmérséklet 0,8 °C-kal megemelkedik, majd a csoport továbbhalad a barlangban, ekkor 20 perc alatt 0,3 °C-ot csökken. Majd amikor a csoport visszahalad a barlangból, akkor megemelkedik a hőmérséklet egészen 10,3 °C-ig.



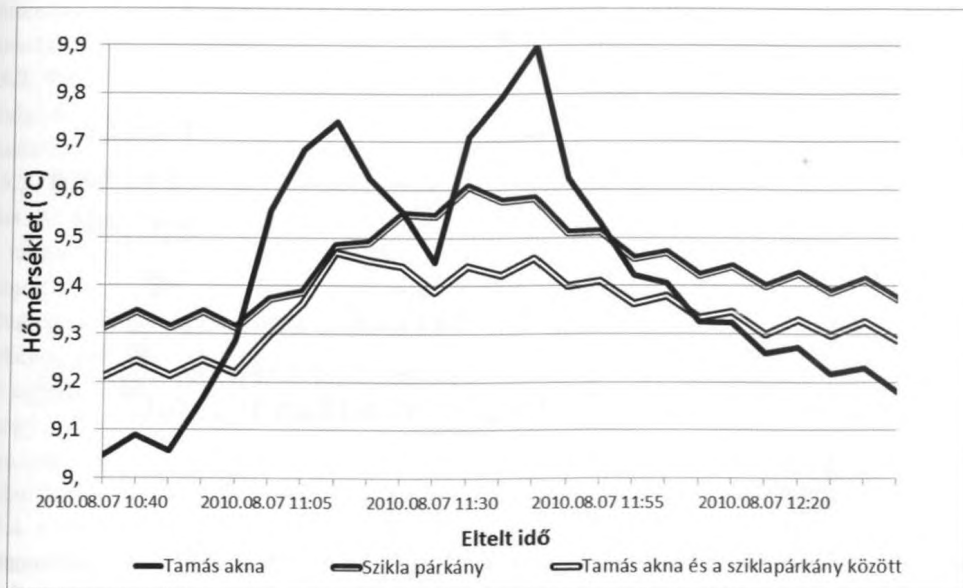
5. ábra. Szenzorok elhelyezése a Trió-barlangban hőmérsékletmérésnél
1. Tamás-aknában levő szenzor; 2. Tamás-akna és sziklapárkány közötti szenzor; 3. Sziklapárkányon elhelyezett szenzor
Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés



6. ábra. A Trió-barlang és felszínben mért adatok
 Csapadék adatok forrása: Hetvehelyi meteorológiai állomás

Ezt a legmagasabb hőmérsékletet 13²⁵-kor mértük, és amikor visszaállt a hőmérséklet 9 °C-ra, 15⁰⁰ volt. Viszont ez a hőmérsékletcsökkenés nem egyenletesen következett be, hanem 15 perc alatt csökkent a hőmérséklet 0,8 °C-ot, majd 1 óra 20 perc alatt 0,3 °C-ot (7. ábra).

A Tamás-akna és a sziklapárkány közötti szenzor mérési adatain is megfigyelhető a két hőmérsékleti maximum, de ebben az esetben nem olyan nagy a hőmérsékletemelkedés. Itt 15 perc alatt 0,3 °C-ot emelkedik a hőmérséklet a csoport megérkezésekor, amikor tovább haladnak, akkor 0,2 °C-ot csökken, majd amikor kifelé haladnak a barlangból, és várakoznak a létránál, megint megemelkedik ugyanarra a maximumra, 9,5 °C-ra.



7. ábra. A csoport barlangban tartózkodásának hőmérséklet változása

A sziklapárkányon elhelyezett szenzornál is jelentkezik hőmérsékletemelkedés, holott a műszer közelében nem is tudtak állni a barlangtúrázók, viszont ennél az emelkedésnél nem figyelhető meg két maximum érték. A diagramon az látszódik, hogy egyenletes emelkedés következik be, és az adat egyetlen maximum értéke akkor jelentkezik, mikor a többi mérő a második maximumot érzékeli. A csoport érkezésénél 0,3 °C-ot emelkedett a hőmérséklet 35 perc alatt, majd egy óra telt el, míg a hőmérséklet 0,3 °C fokat csökkent és visszaállt az eredeti értékre.

Megvizsgáltuk a diagramon a hőmérsékletváltozást korreláció számítás segítségével. A szoftveres lehetőségeink miatt nem tudtunk keresztkorrelációt számítani. A korrelációs számítást csak abban az időszakban végeztük, amikor a csoport megjelenése miatti emelkedés látható a hőmérséklet diagramon, a végét kb. 15 órára tettük, amikor az érték visszaállt az eredeti hőmérsékletre. A leginkább összekorreláló eredményeket a sziklapárkány és Tamás-akna közötti szenzor, valamint a Sziklapárkányon elhelyezett szenzor mutatja 0,9-es korrelációs értékkel. A Tamás-aknába belőgátott szenzor, valamint a sziklapárkányon elhelyezett szenzor korrelál a legkevésbé, az érték ebben az esetben 0,72. A Tamás-akna valamint a Tamás-akna és a sziklapárkány között 0,79 a korreláció.

4.4. A Tamás-aknában mért eredmények

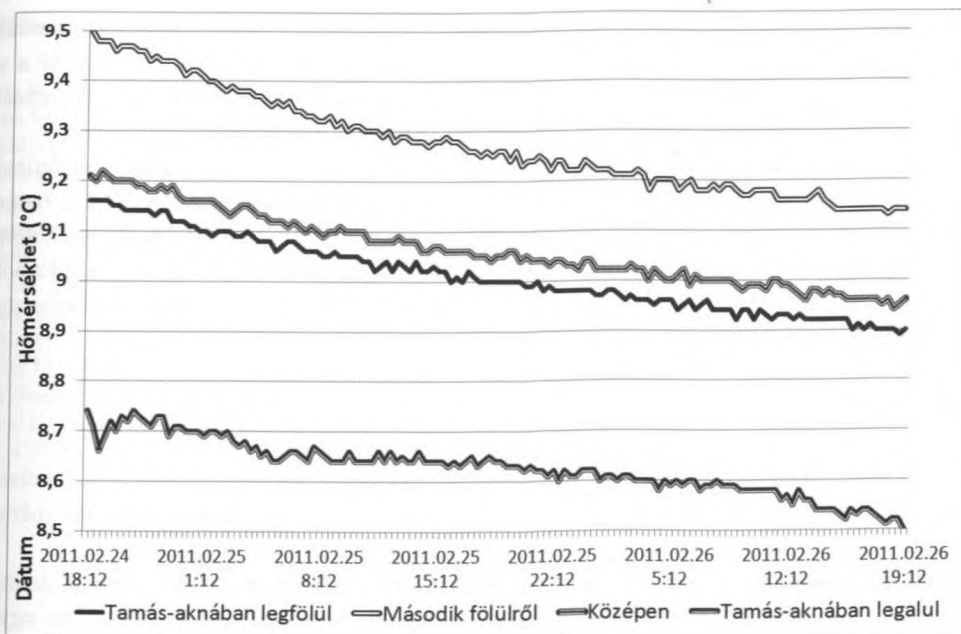
A nyári mérések arra engedtek következtetni, hogy bár a szenzorok majdnem egy magasságban voltak (kb. 1 méter lehetett a szintkülönbség köztük), mégis mutatkozott némi hőmérsékletkülönbség. Ezért célszerűnek tűnt a Tamás-aknában – amely 6,3 méter mély – egy olyan mérés elvégzése, amelynek során fény derülhet az aknában tapasztalható hőmérsékletkülönbségekre. A mérés eredményei ugyanis következtetni engednek arra, mekkora hőmérsékletkülönbség várható nagyobb barlangok mérésekor, ha egy kisebb aknában is látható az eltérés.

A mérés időtartama a 2011. február 24-én 18¹²-től, február 26-án 19¹²-ig tartó intervallumban volt. Az aknában egyenlő távolságra helyeztünk el 4 szenzort, és kötél segítségével a Búbos kemence melletti nyíláshoz rögzítettük, és innen lógattuk be a kötelet (8. ábra).



8. ábra. Tamás-aknában a szenzorok helye
Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001–2002, alapján saját szerkesztés

A hőmérséklet-adatok megjelenítése után az látható, hogy az aknában különböző magasságokban eltérő hőmérsékletek mérhetők. A legalacsonyabb hőmérsékletet a legalsó szenzor mérte. Amelyik szenzor legfőlü volt elhelyezve, az mérte a második legalacsonyabb értékeket. A két középen elhelyezett



9. ábra. Tamás-aknában mért hőmérséklet

szenzor közül a feljebb elhelyezett mérte a melegebbet, míg az alatta lévő a második melegebb hőmérsékletet. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy az aknában alul a leghidegebb a levegő, míg fölül melegebb a levegő, középen pedig az örvénylési szakasz helyezkedik el (9. ábra).

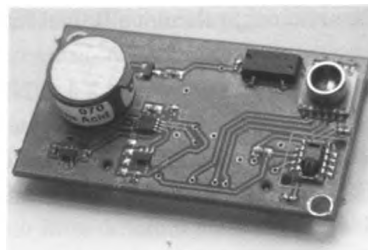
4.5. További tervek a barlangi klímavizsgálatokban

4.5.1. A Szuadó-völgyi barlangok hőmérsékletének összehasonlítása. A barlangkutatás tekintetében elképzelhető, hogy a következtetések levonása után egy lépéssel közelebb kerülünk a nagy rendszerbe történő bejutáshoz.

4.5.2. Teljes szenzorhálózat kiépítése, hosszú időre. Eddig nem volt még alkalmunk kialakítani teljes szenzorhálózatot hosszabb időre a barlangban, ezt a 2011. évi nyári kutatótábor idejére tervezzük.

4.5.3. Tervezünk még nagyobb barlangokban hőmérsékletmérést. Amennyiben elég eszköz áll a rendelkezésünkre egy vezeték nélküli szenzorhálózat kialakításához, tervezzük nagyobb barlangok klímavizsgálatát. Ha azonban az eszközpark nem teszi lehetővé egy komplett szenzorhálózat kiépítését, készíthetünk szenzortérképet, valamint a barlang különböző pontjain el tudunk helyezni egyéni hőmérsékletmérőket. Az is a terveink között szerepel, hogy a Hajnóczy-barlang 1978-as mérési helyeire ismételtel kihelyezzük a szenzorokat, és összehasonlítjuk az akkori és mostani adatokat.

4.5.4. Szén-dioxid mérés a barlangban szenzorok segítségével. A barlangi levegő vizsgálat rendkívül hasznos lenne, mivel eddig nem volt lehetőségünk arra, hogy a levegő szén-dioxid koncentrációjának vizsgálatakor a szén-dioxid mennyiségének változására



10. ábra. Szén-dioxidérzékelő szenzor
Forrás: UCSB-AIR



11. ábra. Giroszkópos szenzor
Forrás: Wireless Gyro Sensor

következtessünk. A barlangkutatásnál jelentős mértékben megnehezíti a munkát, ha a levegő minősége nem megfelelő. Eddig a levegőminőségre egyéni tünetek alapján tudtunk következtetni, de a széndioxid feldúsulására mindenki máshogy reagál. Az UCSB-AIR szenzorkártya alkalmas légnyomás-, ill. hőmérsékletmérésre, valamint a levegő CO₂-tartalmának, páratartalmának mérésére (10. ábra).

4.5.5. Giroszkópos szenzor alkalmazása barlangtérképezésnél. A giroszkópos szenzor fejlesztése jelentős mértékben segítené a barlangtérképezés hosszás folyamatát, mivel ez a szenzor 3 tengelyes szögsebesség-érzékelővel van ellátva (WIRELESS GYRO SENSOR). Ezt a szenzort úgy tudnánk alkalmazni, hogy a barlang bejáratánál bekapcsolnánk, és az északi irányba fordítanánk a giroszkópot, majd a poligon zsinór mentén végighaladnánk a barlangban, mivel a szenzor érzékeli mind a jobb-bal irányba történő elfordulást, mind a járatok dőlésszögét (11. ábra).

5. ÖSSZEGZÉS

A vezeték nélküli szenzorhálózat eszközeinek alkalmazása még kezdeti stádiumban van. A műszerekre írt programok már alkalmazhatók, de még fejlesztésre szorulnak, tesztelésükhöz további mérésekre van szükség.

A barlangi hőmérsékletmérésre alkalmazott műszer a vártnál jobban működött. A rövid, de több típusú mérések során elkészült egy barlangi szenzortérkép, mely segítségével a későbbiekben egyszerű lesz egy szenzorhálózat kialakítása hosszabb időre. Az is bebizonyosodott, hogy a műszer pontosan méri a barlangban történő hőmérsékletváltozást, kimutatható a mérések ideje alatt egy csoport látogatása, valamint a barlangi műszak okozta minimális hőmérsékletemelkedés is.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk megköszönni a segítséget az Szegedi Karszt- és Barlangkutató Egyesületnek, a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai kar Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékének, valamint a Bólyai Intézetnek.

„A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

Az eszközöket támogatta:

Kedvezményezett: Szegedi Tudományegyetem

Projekt azonosító: TÁMOP-4.2.2.-08/1/2008-0008

Projekt cím: Szenzorhálózat alapú adatgyűjtés és információfeldolgozás

Projekt támogatás: 341.185.099 HUF; (ESZA + hazai forrás) (85%)

Saját erő: 60.209.141 HUF (15%)

A konzorciumi tagszervezet: MTA Szegedi Biológiai Kutató



Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszechenyiterv.gov.hu
06 40 638 638



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

IRODALOMJEGYZÉK

- BARTA K. (2009): *Terepi segédlet Nyugat-Mecseki-karszt*, pp. 1–9., Szeged
- BAUER M. (2010): *A Szuadó-völgy barlangjainak kutatása* – IN. Beregi-Nagy E. (szerk.) SZKBE Hírmondó 38. szám, Kiadja a Szegedi Karszt és Barlangkutató Egyesület
- CROSSBOW (2007): *Wireless Sensor Networks Product Reference Guide*
- CROSSBOW (2006): *MTS/MDA Sensor Board Users Manual Revision B*
- CROSSBOW (2004): *TELOSB MOTE PLATFORM*
- KORDOS L. (1970): *Klímamegfigyelések a barlangok bejárati szakaszában* – Karszt és Barlang 1970. évf. I. füzet, pp. 31–34. Budapest
- KRAUS S. (2001): *Barlangföldtan* p.151. Budapest
- MIKLÓS G. (1978): *A Hajnóczy-barlang mikroklímája* – Karszt és Barlang 1978. évf. I–II. füzet, pp. 11–18., Budapest
- RAJCZY M. (2008): *A barlangi klíma vizsgálata* – IN. Dr. Lénárt L. és Vid G. (szerk.) Barlangi kutatásvezetői ismeretek, Budapest pp. 142–145.
- ZÁMBÓ L. (2002): *Karsztkutató* – IN. Dr. Karátson D. (szerk.) Magyarország földje – Magyar Könyvklub, Budapest pp. 470–472.

APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS IN CAVE RESEARCH

ABSTRACT

Observation of cave climate is one of the most important bases of researches on caves.

Today's modern cave researches require the exact measuring of some climate components during longer time monitoring in character. There are many kinds of instruments and methods used for the task. Very often, the cave climate and conditions raise strict requirements in the use of instruments. In case of a measure system the most difficult task is assuring the time synchronization measurement. In many cases they use a wired sensor network which assures the time synchronization work of different sensors. However, in many cases it is not possible to expand a wired network.

Today's modern technical instruments make it possible to place a wireless sensor network in caves – considering how electromagnetic waves travel in caves. Planning and building up of a network like this is a complex task. We have made a wireless measure system. The sensors are cheap and easy to use. The instruments provide an appropriate amount of data in a given moment from different places which helps to check changes in temperature of complete caves or karsts. We have tried out the measure system in Mecsek hills, in Trió cave of Szuadó valley. In this article we are presenting and showing the measure system, the expansion of cave network and its first results.

Muladi Beáta

Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
H-6722 Szeged, Egyetem u. 2.
E-mail: muladi.beata@gmail.com

Csépe Zoltán

Szegedi Tudományegyetem, Bólyai Intézet
H-6720 Szeged, Aradi Vértanúk tere 1.
csepe.zoltan@gmail.com