

## ADATOK A FELSZÍN ALATTI LÉGTEREK HŐMÉRSÉKLET VISZONYAINAK VIZSGÁLATÁHOZ

KÁROSSY CSABA és SOÓS GÁBOR

A különböző felszíni kőzet és talajrétegek hőgazdálkodásának legfontosabb tényezője és egyben létrehozója a sugárzástartásból a felszínre jutó hőenergia. A sugárzási egyenleg területi és időbeli eloszlásának rendszere hazánkban DOBOSI [1], TAKÁCS [2] és MAJOR [3] munkái nyomán ismertek. Hasonlóképpen ismert és feldolgozott a felszínre jutó hőenergia hővezetéssel történő mozgása is a mélyebb talaj és kőzetrétegekben [4], [5], [6].

A sugárzási egyenleg területi és időbeli eloszlásának hazai vizsgálatai általában a síkvidéki területekre vonatkozóan adnak információkat. A hegyvidéki területeken jellemző felszíni és felszín alatti energiaeloszlás vizsgálatával viszonylag kevés feldolgozás foglalkozik [7], [8], [9]. Még kevesebb ismeretünk van a napi és évi hőmérsékleti inverziós réteg alatti talaj és kőzetrétegek hőmérsékleti viszonyairól [10]. A talaj és kőzetrétegek napi és évi inverziós rétege alatti szintek és légterek hőmérsékleti viszonyainak vizsgálata pedig igen értékes információkat nyújthat a felszíni energiahatásoktól csak áttételesen befolyásolt energiarendszerek sajátosságaira vonatkozóan. Ilyen felszín alatti légtereknek tekinthetők az egyes városok alatt húzódó csak részben ismert pincék és katakombák, a karsztos barlangok, de akár az elhanyagolt és termelésből kivont bányák is.

Munkánkban a felszíni hőmérséklet-változások felszín alatti légterek hőmérséklet viszonyaira kifejtett hatásának kapcsolatát, és ezen kapcsolat részletes vizsgálatának felszín alatti légterek kutatásában való alkalmazhatóságát tárgyaljuk.

A karszt- és barlangkutatásban tevékenykedő szakemberek már régóta keresik a felszín alatti üregek feltárásának leggyorsabb és leggazdaságosabb módszerét. Ezért különösen érdekes elméleti gondolatsor-felvetést nyújt, majd gyakorlati bizonyítást is igyekszik adni VÁROSI—MIKLÓS ezen témakörben készült két dolgozata [11], [12].

VÁROSI és MIKLÓS által felvetett elméleti megfontolás két vagy több bejáratú, összefüggő nagy barlangrendszerekre vonatkozóan állapít meg hipotetikus összefüggéseket a felszíni klimatikus paraméterek és a barlangi mikroklima-térség klímajellemzői között.

Az átmenő vagy dinamikus barlangok klímajellemzőinek változásai a modell szerint még a nyári barlangi légáramlási rendszerben is magukon viselik a külső légtér klímaadatainak megváltozását. A folyamatos légcirkuláció, ha eltérő nagyságrenddel is, de minden felszín alatti nyitott üregrendszernél kimutatható. A felszín alatti nyitott üregrendszerbe jutott levegőrészecskék felszín fölötti légtérben szerzett klímainformációit a matematikai statisztikából ismert keresztkorrelációs függvényelemzés módszerével nagyon jól nyomon követhetjük, így a korreláció változásából

a felszínről érkező levegőrészecskék által megtett úthosszra és annak sajátosságaira következtethetünk.

A keresztkorrelációs függvényelemzés módszerének lényegéről a következőket állapíthatjuk meg: Ha  $\xi$  és  $\eta$  egy-egy sztochasztikus folyamat valószínűségi változói, (a  $\xi$  a felszíni hőmérséklet, az  $\eta$  a felszín alatti légtér hőmérséklete) és mindkettő az idő függvénye, akkor a két változó időtől függő értékei között értelmezhető a következő összefüggés [13].

$$\Gamma_{\xi\eta}(\tau) = M[\xi(t)\eta(t+\tau)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi(t)\eta(t+\tau) dt$$

A  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau)$  az ún. keresztkorrelációs függvény, a  $\xi(t)$  és  $\eta(t)$  folytonos értékei esetében. Ha a fenti keresztkorrelációs számítást a két függvény közötti különböző  $\tau$  időeltolásokkal végezzük el, a kapott eredmény a  $\tau$  függvénye lesz.

Ha a  $\xi(t)$  és  $\eta(t+\tau)$  között még végtelenül kicsiny  $\tau$  esetén sincs kapcsolat, az egymásra következő pillanaterőtekek függetlenek egymástól, nincs közöttük kapcsolat. Ekkor a  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau) = 0$ . Ha a  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau)$  értéke  $\tau \rightarrow \infty$  esetében lassan csökken zérusra, akkor a  $\xi(t)$  pillanaterőtekének hosszantartó hatása van a  $\eta(t+\tau)$  pillanaterőtekére. Periodikus komponenseket nem tartalmazó jelek esetén a  $\xi(t)$  és  $\eta(t+\tau)$  egymástól függetlenek, ha  $\tau \rightarrow \infty$ . Ebből következik, hogy

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \Gamma_{\xi\eta}(\tau) = 0,$$

illetve, ha  $\tau$  növelésével  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau)$  jelentősen növekedni kezd, akkor periodikus összetevő jelenléte következtethetünk, és viszont. Ha periodikus összetevőkből állanak a  $\xi(t)$  értékei, akkor a  $\tau$  növelése a  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau)$  keresztkorrelációs függvény értékeinek növeléséhez vezet [14].

A keresztkorrelációs függvény segítségével a periodikus összetevők  $\Gamma_{\xi\eta}(\tau)$  maximális értékeinek figyelembevétele a fáziskésés időtartamának meghatározását teszi lehetővé.

A folyamatos légcserével rendelkező felszín alatti légtér mikroklíma-paramétereinek és a felszíni klímáparaméterek keresztkorrelációs függvényei által meghatározott fáziskésések értékei a folyamatos légcseré sebességének meghatározása után lehetőséget adhat arra, hogy a téli légáramlási helyzetben, vagyis a belső légtérből történő kiáramlás esetén közvetlenül meghatározzuk a még ismeretlen felszín alatti légtér közelítő térfogatát.

A nyári levegő kiáramlási helyzetben, vagyis folyamatos levegő beáramlás esetében viszont a beáramló levegő sebességéből következtethetünk az ismeretlen járatrendszer méretére.

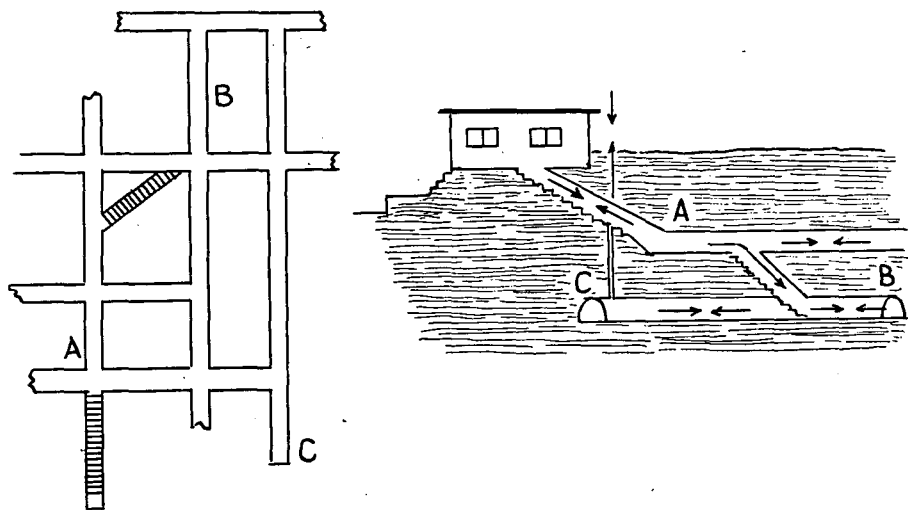
VÁROSI—MIKLÓS Baradla-barlangban végzett mérései minden kétséget kizáróan bebizonyították, hogy a külső légtér és a barlangi mikroklíma térség klímáparamétereinek keresztkorrelációs függvényei jól kimutatják a barlangi légtér légcseré rendszerének felszíni levegővel való kapcsolatait [12].

További nyitott kérdések maradtak viszont a felszíni légtér klímáparaméterei változásának felszín alatti légtérben kimutatható út—idő—sebesség relációi, valamint a keresztkorreláció évszakos légáramlási rendszertől függő sajátosságainak vizsgálata.

Az említett kérdések részletes vizsgálatára igen jó lehetőséget nyújtott a JATE Éghajlattani Tanszéke által 1975. decemberétől 1976. decemberéig végzett pinceklíma vizsgálat adatainak keresztkorrelációs vizsgálati módszerrel történő feldolgoása.

A Tokaj-Hegyaljai Állami Gazdasági Borkombinát tolcsvai üzeme 5. számú pincéjének több mint 3 km hosszú szakaszában termoelemes hőmérséklet-regisztrálóval regisztráltattuk a pince 3 különböző részének léghőmérsékleti értékeit, valamint a pince riolittufa falának hőmérsékleti értékeit a fal 5 cm-es mélységében.

A mérési helyeket a pince 3 jellegzetesen különböző mikroklímával rendelkező szakaszában jelöltük ki. A jellegzetesen eltérő mikroklímát a pince falán megtelepült nemespenész-állomány vastagságából, illetve állapotából ítéltük meg. A vizsgált pincszakaszok sematizált alaprajzát és vertikális metszetét az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. A vizsgált pincerész járatainak sematizált alaprajza és metszete

A bejáratától mintegy 20—25 m-re elhelyezett hőmérőkkel a külső légtér hőmérséklet-változásainak a bejárat pincelegtér hőmérséklet-változásaira gyakorolt hatását kívántuk kimutatni (A. mérőhely). A bejárat küszöbszintje és az A. mérőhely szintje közötti 8 m-es magasságkülönbség, valamint a 20 m-es bejáratúthossz biztosította, hogy a mérőhely hőmérséklet-érzékelői ne az ún. napi keveredési réteg hőmérsékletét, hanem egyértelműen a pince légtérének hőmérsékletét mérik.

A vizsgált pincszakasz belső részén, a bejáratától mintegy 150—160 m-re, kb. 15—18 m-rel a bejárat szintmagasság alatti elhelyezett (B. mérési hely) hőmérséklet-érzékelők csaknem az egész pincére jellemző (3—5 cm-es) nemespenésszel borított pincefalakkal határolt légtérben voltak elhelyezve.

A bejáratától legtávolabb és legnagyobb szintkülönbséggel elhelyezett (C. mérési hely) hőmérséklet-érzékelők (200—220 m távolság a bejáratától, és 20—25 m-es szintkülönbség) állandóan vizes-nyálkás nemespenész réteggel borított pincefalakkal határolt légtérben kerültek elhelyezésre.

A pincejárat keresztmetszetének átlagos méretei alapján meghatároztuk az egyes mérési helyek és a bejárat közötti légoszlop térfogatát. Az A. mérési helynél  $125 \text{ m}^3$ , a B. mérési helynél  $942 \text{ m}^3$ , és a C. mérési helynél pedig  $1257 \text{ m}^3$  levegő helyezkedik el a bejárat és a hőmérséklet-érzékelők között.

Tekintettel arra, hogy a pince légtérének levegőcseréjét az igen lassú és a belső munkálatokkal erősen zavart légmozgások miatt nem állt módunkban vizsgálni,

így a keresztkorrelációs függvények periodicitásából próbáltunk következtetéseket levonni a felszín alatti légterek advekción és molekuláris hővezetési energiaviszonyait illetően.

Vizsgálatainkban a felszíni és a pince légtérben mért hőmérsékletek 3 óránkénti adatait elemezzük. A keresztkorrelációs vizsgálathoz a felszíni 3 óránkénti léghőmérsékleti adatokat a debreceni Meteorológiai Obszervatórium mérési adataiból vettük [15]. Így a keresztkorrelációs együtthatók értékei a felszíni adatsor jelentős távolsága miatt mindenkor tartalmaznak egy bizonyos hibaértéket, amit az eredmények értékelésénél feltétlenül figyelembe kell vennünk [16].

Vizsgálatainkhoz szükséges számításokat a Juhász Gyula Tanárképző Főiskola WANG típusú asztali számítógépével végeztük el. A keresztkorrelációs csúsztatást a nagy mennyiségű adat és a számítógép háttér memóriájának a figyelembevételével, a még fizikális kapcsolatot mutató reális korreláció szintjéig végeztük el [16].

A reális korreláció határát elméleti megfontolások és gyakorlati próbálgatások alapján, a pincében mért adatok kétszeres terjedelmének megfelelő csúsztatás szintjéig fogadtuk el [17].

A 2—4. ábrákon a pincejáratok A., B. és C. szakaszainak a felszíni hőmérsékletekhez 3 óras időintervallumonként csúsztatott keresztkorrelációs függvényeit mutatjuk be.

A különböző pinceszakaszok 3 óránkénti hőmérsékleti értékeinek a felszíni hőmérsékletekhez rendelt keresztkorrelációs függvényei független változói a felszíni hőmérsékletek 3 óránkénti értékei, a függő változók pedig a pince légtérben ( $\tau + t$ ) időpontokban mért hőmérsékletek voltak. A ( $\tau + t$ ) időben egymást követő pillanatértékek és a sztochasztikus kapcsolat fizikai realitásának biztosítása végett mind a független változót, mind pedig a függő változót fordított időrendben vettük figyelembe számításainknál.

A 2—4. ábrákon a függőleges vonalakkal az egyes hónapok utolsó napjainak utolsó mérési adataitól (22 óra) 3 óránként visszafelé csúsztatott időpontok 24 óránkénti értékeit adtuk meg. A vastagon kihúzott vízszintes vonalak a korrelogramok 0 értékeit, a vékonyabb vízszintes vonalak pedig az adott mintaelem szám alapján meghatározott 5%-os szignifikancia szintek értékeit mutatják [18].

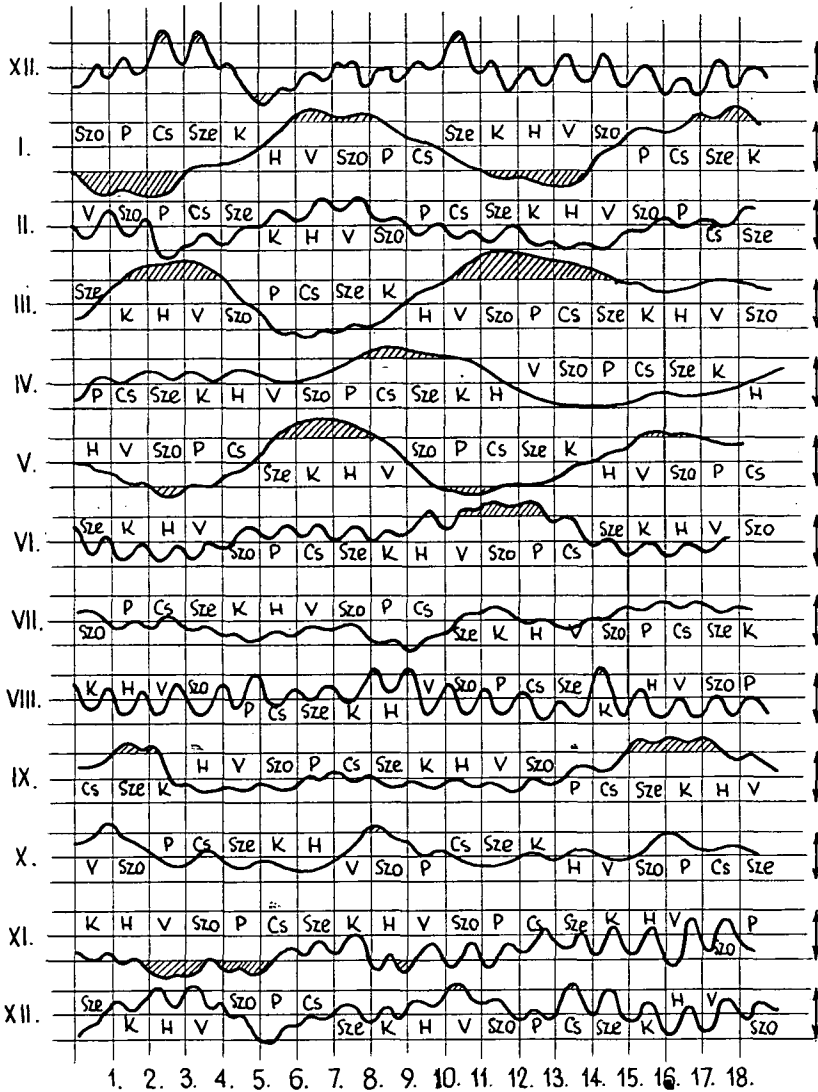
Az adott felszín alatti légtér kijáratához legközelebbi (A.) mérési helyének korrelogramjai (2. ábra) a téli hónapokban negatív korrelációs értékekkel indulnak. A szabad légtér periodikusan változó, de egyértelműen csökkenő hőmérsékleteivel szemben a bejárat szakasz léghőmérséklete növekvő tendenciájú. A pincebejáratok feletti riolittűz löszben nyári félévből tárolt energia a belső járatrészekből részben az igen lassú légáramlással (a szellőzőkön keresztül bejövő levegő), részben pedig a levegő molekulák hőátadásával kifelé áramlik a pincéből. A téli levegőkiáramlási helyzetnek megfelelően a pincelégtér energiamérlege negatív. A kiáramló levegővel hozott energia elsősorban a bejárat közelében emésztdődik fel a bejárat keveredési zónában alul beáramló külső hideg levegő felmelegítésére.

A téli légáramlási helyzetenél fellépő jelentős energiaveszteség különösen fontos lehet a mesterségesen fűtött felszín alatti tárolóhelyek energiaellátásában [19].

A téli energia-transzport a pince kijárat részén elhelyezett A. mérőhely keresztkorrelációs függvényéből is jól kimutatható. A pince üzemeltetésével kapcsolatos heti munkarend, az ajtók hétfégi huzamos zárvatartása, a korrelációs értékek hétfői, vasárnapi és szombati jelentős megnövekedését eredményezi. A munkarendtől függően egy-egy, vagy egy-két napra bezárt pincejáratok jelentősen felmelegednek, akár több tízed  $^{\circ}\text{C}$ -kal is, és ez a heti ajtónyitási periódus a napi periódustól független, nagyobb korrelációs hullámot eredményez a keresztkorrelációs függvény érté-

Sze K H V Szo P Cs Sze K H V Szo P Cs Sze K H V Szo

A



2. ábra. A bejárat A. mérési hely felszíni hőmérsékletekkel keresztkorreláltatott korrelációs értékek évi menete

kein. A heti ajtónyitási periódus a pince mérési helyén, az évszakok során csaknem mindenkor felismerhető a korrelogramok futásából.

Szabad levegő kiáramlási helyzetben, amikor a pinceajtók nyitva vannak. BERÉNYI—JUSTYÁK [20] mérései szerint átlagosan  $0,05 \text{ m sec}^{-1}$ -os légáramlási sebességgel számolhatunk. Ez a légáramlás sebesség 200 m-es járáthosszúságot tekintve lamináris áramlás esetén körülbelül 10 perc alatt biztosítaná a levegő cseréjét az adott pinceszakasban. Figyelembe kell azonban vennünk azt is, hogy a pince légáramlása

csak a járat középvonalában lamináris (csatornaszerű), s ez is erősen csökkenő sebességű a pincefalak felé, mint ahogyan azt BERÉNYI—JUSTYÁK kimutatta [20], [21]. Ez a falak felé csökkenő sebességelrendeződés jelentős mértékben lecsökkenti a járat egész keresztmetszetére vonatkoztatott átlagos levegőmozgás sebességét.

A bejárat közelében levő pincerész légtérének az átmeneti évszakokban jelentkező indifferens légmozgását a korrelogramok erős heti periodicitásából láthatjuk. Az 5% alatti szignifikanciával megjelenő maximális korrelációs értékek a hétvégeken bezárt ajtók miatt felmelegedő pincelégtér pozitív korrelációját adják, s ezért a keresztkorreláció értékei hosszan elnyúló és erős fizikális kapcsolatot mutatnak a tavasszal felmelegedő külső légtérrel. Az őszi hónapokban a külső levegő lehülése viszont csökkenti a kapcsolat szorosságát, s ezért az őszi hónapokban kisebb pozitív korrelációs értékek jelentkeznek.

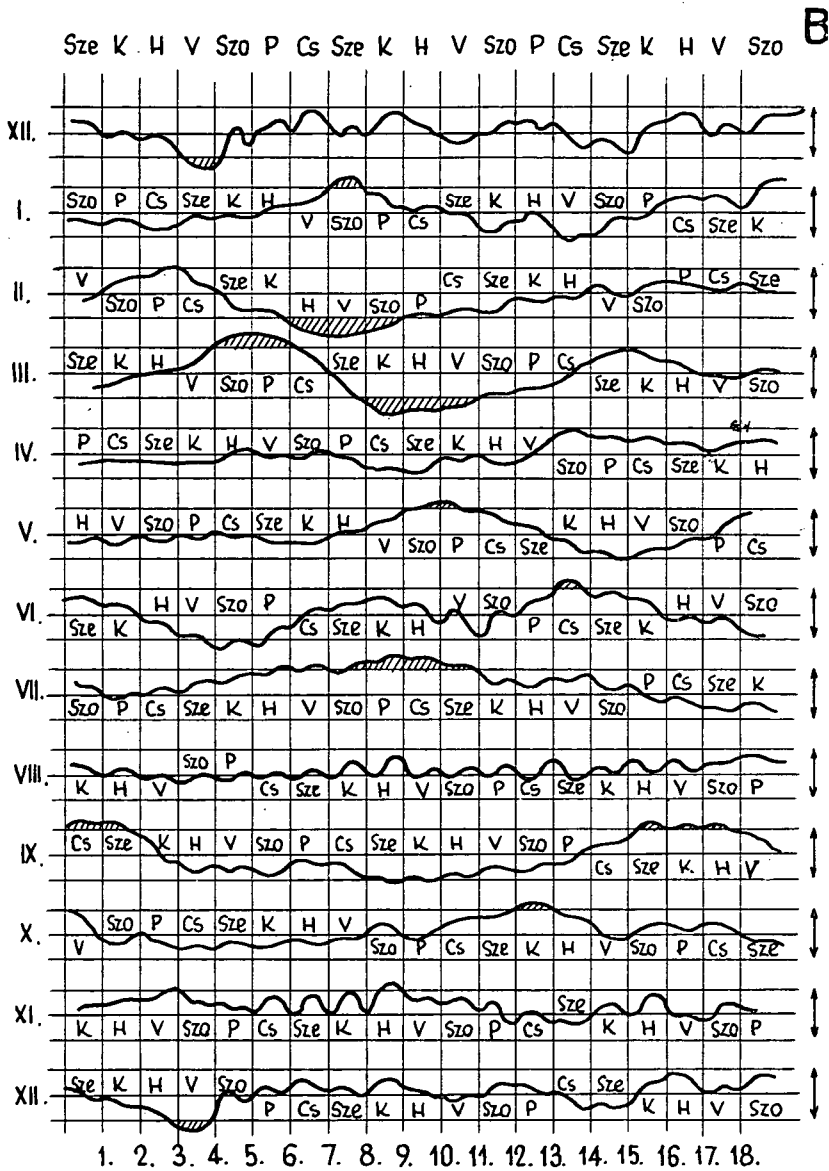
A nyári évszakban a külső légtérből a pincébe történő beáramlás intenzív légcserejét bizonyítja a keresztkorrelációs értékek erős napi periodicitása. A napi periodicitás teljes-egészében megfelel a külső légtérben érvényesülő napi hőmérsékleti periódusnak. A heti munkarenddel összefüggő periódus elsimul, és augusztusban már alig vehető észre.

Az őszi hónapokban ismét megjelenik a heti periódus, azonban sokkal kisebb amplitúdókkal, mint a tavaszi indifferens légáramlási helyzetben. Novembertől kezdve, a téli levegő-kiáramlási helyzetnek megfelelően ismét negatív korrelációs értékek jelentkeznek a keresztkorrelációs függvények legkisebb ( $\tau + t$ ) időpontjainál. Vagyis a külső légtér fokozatos lehülése ellenére a pince kijáratí része a belső pincerészekből szállított és a pincefalakból kisugárzott hőenergiát veszi fel, amelyet az ajtónyitásoknak megfelelően tovább ad a bejárat előtti keveredési zónának.

A belső pincejáratban mért hőmérsékletek felszíni hőmérsékletekkel alkotott keresztkorrelációs függvényeit a 3. ábrán mutatjuk be. A függvények kezdő értékei, a legkisebb ( $\tau + t$ ) időpontoknál jelentkező korrelációs értékek a téli hónapokban határozottan negatív, vagyis ellentétes irányú kapcsolatot mutatnak a külső légtér hőmérsékletének a változásával. A téli levegő-kiáramlási helyzetben ugyanis az évi felszíni középhőmérsékletnek nagyjából megfelelő hőmérsékletű pincefalak hőt adnak le a kiáramlással és molekuláris hővezetéssel lehűlő pincelevegőnek. A korrelációs értékek görbéjének kisímitott menete azt mutatja, hogy a külső levegő napi hőmérséklet-változásainak nincs jelentős szerepe a belső pincerészek hőmérséklet-változásainak létrehozatalában. A munkaszünetes napokkal összefüggő heti periódus azonban elég jellegzetesen jelentkezik a korrelogramokon. Az ellentétes előjelű korrelációs értékek vagy felmelegedést vagy lehülést hozó időjárási helyzetekben bekövetkezett erős áramlási zavar jelenlétére engednek következtetni. Az 5%-os szignifikancia szintet meghaladó korrelációs értékek egyértelműen a külső légtér hőmérsékletének jelentős megváltozását és a munkaszünetes napokon bezárt ajtók által fékezett légmozgás hatását mutatják.

Júniustól szeptemberig a korrelogramokon a nyári légáramlási helyzetnek megfelelően, erős napi periodicitás mutatkozik. A korrelációs értékek pozitív korrelációval kezdődnek, s ez azt mutatja, hogy a beáramló levegő még a belső pincerészen is jelentősen megnöveli a levegő hőmérsékletét. A heti periódus csaknem eltűnik, a korrelogramok enyhe ívelésű és a napi periódussal erősen oszcillált menetet vesznek fel. Október végétől ismét megjelenik a heti periódus, és november-decemberben újra kifejezett kettős hullámú korrelogramok rajzolódnak ki.

A pozitív korrelációs együtthatók azt mutatják, hogy a pince légtere még a téli levegő-kiáramlási helyzetben is melegszik a pincefalakban nyári félévben tárolt energiából.

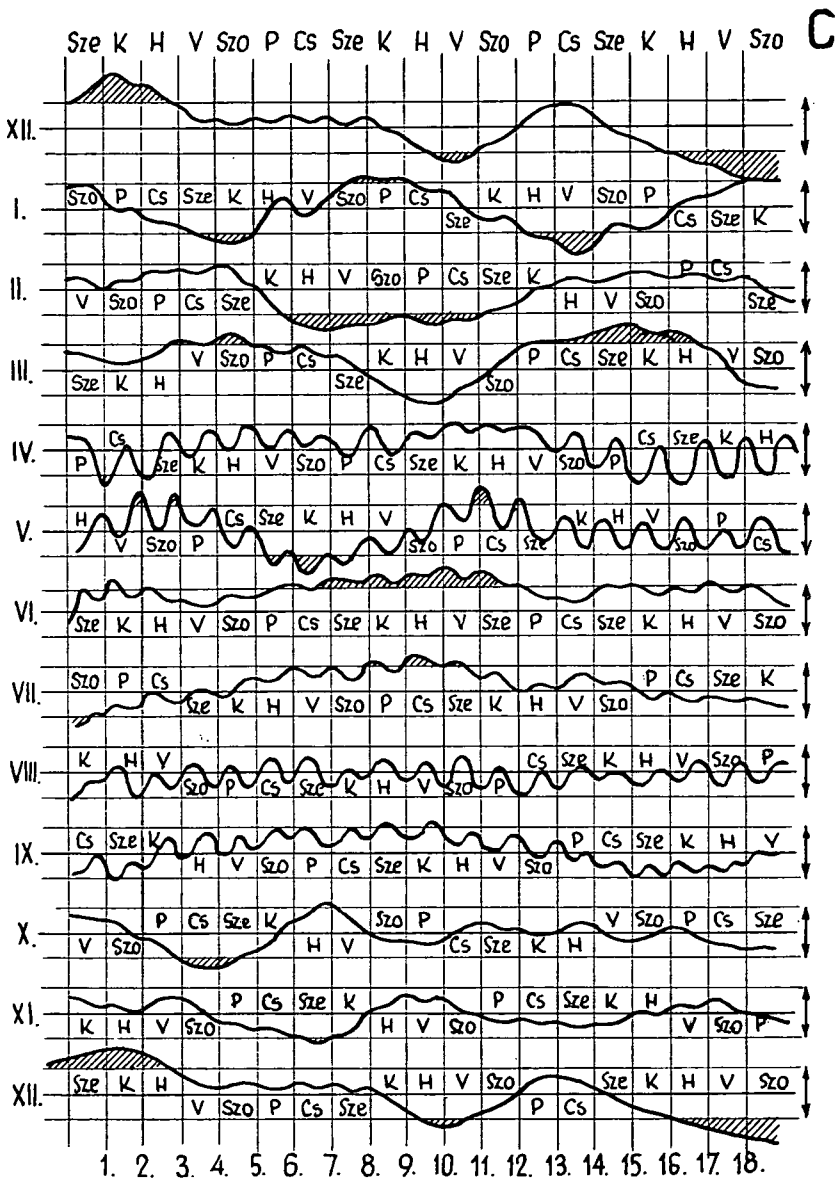


3. ábra. A középső pincerész B. mérési helyének felszíni hőmérsékletekkel keresztkorreláltatott korrelációs értékeinek évi menete

A legfelső pincerész korrelogramjait a 4. ábrán mutatjuk be. A bejáratottól 200–250 m-re és jelentős (20 m-es) szintkülönbséggel húzódó pincerszakasz a téli légáramlási helyzetben mint az energiáttranszport forrása, a nyári légáramlási helyzetben pedig mint az energia felvevője szerepel. Ennek megfelelően a téli hónapokban a levegő energiát vesz fel a pincefalakból, ez a pozitív kezdeti korrelációs értékből is látható. A felvett energia a légmozgással és a molekuláris hővezetéssel

a bejárat és a szellőző nyílások felé áramlik, miközben energia többlete felhasználódik a beáramló hidegebb levegő felmelegítésére.

A nyári légáramlási helyzetben a bejáraton beáramló levegő a pincejáratokban leadja energia többletét, vagyis a megtett út során hőmérséklete egyre jobban csökken. A májustól szeptemberig tartó időszakban a korrelogramok legkisebb ( $\tau+t$ ) időpontokra eső értékei valóban ezt mutatják az egyértelműen negatív korrelációs együtthatóikkal.



4. ábra. A legbelső pincerész C. mérési helyének felszíni hőmérsékletekkel keresztkorreláltott korrelációs értékeinek évi menete

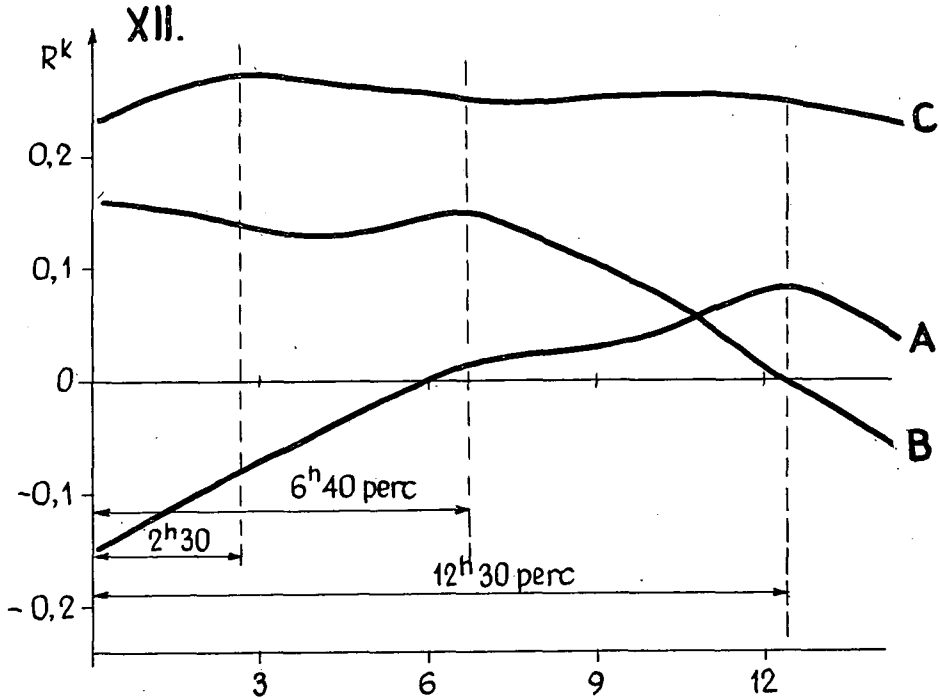


A munkarenddel kapcsolatos heti periódus meglepően erős és jellegzetes a téli félév minden hónapjában. Ez az erős heti periodicitás véleményünk szerint nem a pince légterén keresztül áramló külső levegővel érkező hatás eredménye, hanem a pince legbelső részein elhelyezkedő szellőző nyílásokon érkező levegő hűtő vagy melegítő hatásának az eredménye. A szellőzőkön a téli légáramlási helyzetben viszont csak akkor tud levegő beáramolni, ha a pince légterének melegebb levegője egy másik nyíláson, például a heti munkarendnek megfelelően nyitott vagy zárt ajtón keresztül szabadon kiáramolhat. Így a heti ajtónyitási periódus a legbelső pincerészben csak mint a szellőzőkön át beáramló levegő mozgását befolyásoló és előidéző tényező játszik szerepet.

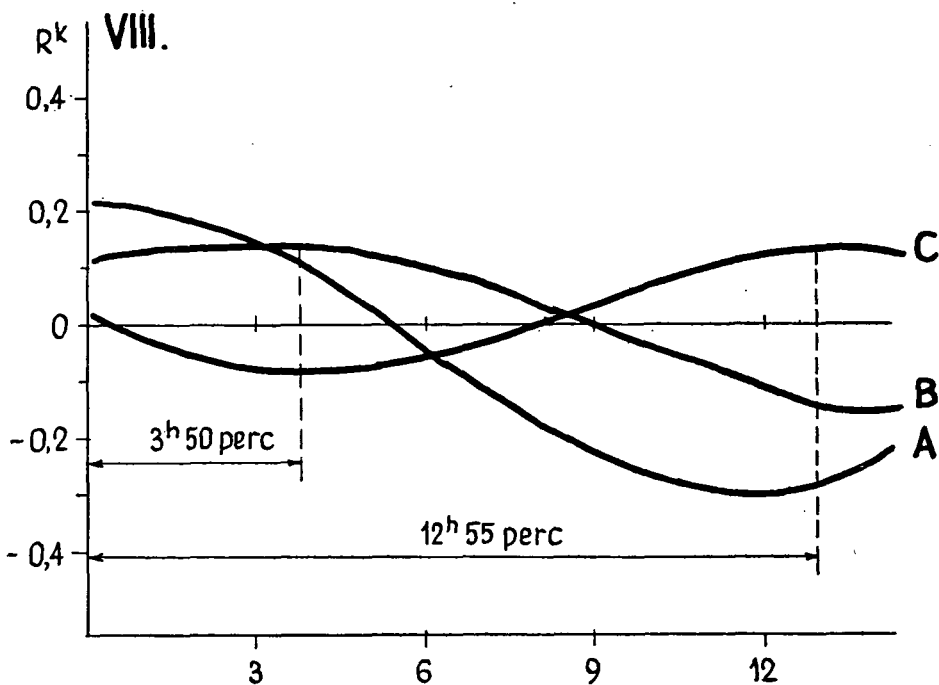
A továbbiakban a téli és a nyári levegőáramlási helyzetnek megfelelően egy-egy jellegzetes külső energiahatás pince légterében való terjedésének részletesebb vizsgálatával foglalkozunk.

Az 5. és 6. ábrán a pince különböző szakaszainak hőmérsékletei és a felszíni hőmérsékletek keresztkorrelációs értékeit mutatjuk be december és augusztus hónapokban ( $\tau + t$ )  $t = (0 \rightarrow p)$   $p = 4$  időpontokra vonatkozóan.

A téli légáramlási helyzetben a pincéből kiáramló levegőben mintegy 12 óra 30 perc alatt jut el a kijáratához a szellőzőkön bejutott hideg levegő hűtő hatása. Ez az igen lassú energiaátvitel nem jelenthet folyamatos lamináris levegőáramlást a pince egész hosszában és keresztmetszetében. A lamináris áramlás csupán ott terjedhet ki a pince egész keresztmetszetére, ahol a járat leszűkülése miatt az egyéb-



5. ábra. A különböző pincszakaszok decemberi korrelációs értékei a  $(\tau + t)t = 0 \rightarrow p$   $p = 4$  időpontokban



6. ábra. A különböző pincszakaszok augusztusi korrelációs értékei a  $(\tau+t)t=0 \rightarrow p$   $p=4$  időpontokban

ként turbulens áramlással haladó levegő sebessége megnő (pl. ajtóknál, szellőző nyílásoknál).

Nyáron a bejáraton bejutó levegő energiatöbblete mintegy 12 óra 50 perc alatt jut el a legbelső pincerészhez. A két egymással csaknem megegyező időtartam azt mutatja, hogy a pincejáratban levő levegő hőmérsékletkülönbségei a turbulens légcserével és molekuláris hővezetéssel télen és nyáron is egyforma sebességgel haladva egyenlítődnek ki [22].

A 2—4. ábrák korrelogramjai valóban igazolják a hőmérsékleti hatás kiegyenlítődének 12 órás időtartamát. Jól megfigyelhető, hogy a napi hőmérsékleti változás periódusa a belső pincszakaszokba körülbelül fél nap múlva jut el. A pincejáratokban tehát a járat felső részének középvonalában haladó laminárisan áramló vékony légszatorna megléte mellett az egész járat-keresztmetszetre vonatkozóan turbulens légáramlást kell feltételeznünk. Vagyis a lamináris áramlásokra alkalmazható út—idő—sebesség reláció nem adhatja meg helyesen a hőmérsékleti hatások felszínalatti légtérben való terjedésének paramétereit. A barlangi vagy pincei légáramlás-sebességek adott járat keresztmetszetre vonatkozó értékei [11], [21] szerint a járat középvonalától a járat falai felé fokozatosan csökkennek. A szellőzőkön és egyéb bejáratokon érkező levegő mozgása a megnövekedett járatkeresztmetszet [23] és az oldalfalak mentén elhelyezett akadályok (hordók) miatt turbulenssé válik, eközben keveredik a környezete levegőjével, energiát ad le vagy vesz fel, és közben elveszíti származási helyének adekvát klímajellemzőit.

A turbulens áramlásokra vonatkozó tételek [23] értelmében így alkalmaznunk kell a PRANDTL által bevezetett keveredési úthosszfogalmát, amely szerint a keve-

mdési út az a távolság, amelyet a turbulens örvények úgy futnak be, hogy közben eregtartják a kiindulási szinten megszerzett tulajdonságukat. A kiindulási szintet  $z$ -vel jelölve  $z+1'$  lesz az a távolság, ahol bekövetkezik ez a keveredés. A pillanatnyi  $u$  sebességet ennek értelmében az

$$u = \bar{u}_{z+1'} - \bar{u}_z$$

összefüggés adja meg. A turbulens fluktuációt, vagyis a dinamikus vagy sűrűlási sebességet a következő formulával kaphatjuk meg:

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau'_{zx}}{\rho}} = \sqrt{(u'w')}$$

ahol a  $\tau'_{zx}$  az  $x$  irányába ható toldaléknyomásként fellépő turbulens feszültség,  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $w'$  a turbulens fluktuáció függőleges irányú erőösszetevőjét,  $u'$  pedig a turbulens fluktuációt jelenti.

Tekintve azt, hogy a barlangi és felszín alatti légterek levegő mozgásának függőleges összetevője a járatok boltozata miatt igen kicsi, így a turbulens dinamikus légáramlás sebességének értéke az

$$u_* = \sqrt{(u'w')}$$

összefüggésből kiszámítható.

Így a kicsiny  $w'$  szorzata esetén a lamináris áramlásnál feltételezhető sebesség értékeknél lényegesen, akár több nagyságrenddel is kisebb dinamikus turbulens légáramlás sebességet kaphatunk.

A felszín alatti légtereknél a turbulens légáramlás  $w'$  komponensének nagyságára vonatkozóan — a számunkra hozzáférhető irodalomban utalásokat nem találtunk. A keresztkorrelációs számításokkal meghatározott energiahatás-terjedés sebességének  $w'$  értéke a pince légtérben  $0,1-4,0^{-4}$  m sec<sup>-1</sup> közötti határokkal adhatók meg [23].

Számításainknál a 12 órás fáziskésés és  $0,000\ 357\ w'$  m sec<sup>-1</sup> valóban nagyon jól megadja a 200 méter körüli vizsgált járáthosszúságot.

Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy a felszín alatti légterek hőmérséklet-változásából keresztkorrelációs vizsgálati módszerrel számított fáziskésések értéke a turbulens áramlásokra értelmezett út—idő—sebesség relációk figyelembevételével elég jó közelítéssel megadja a járatrendszerek keresett hosszúsági paramétereit.

A keresztkorrelációs vizsgálati módszerrel és a turbulens áramlás feltételezésével végzett kutatásainkat a jövőben nagyobb számú mérési adatra és még ismeretlen barlangi járatok feltárására kívánjuk felhasználni.

## IRODALOM

- [1] DOBOSI Z.: A globális sugárzás területi eloszlása Magyarországon. Időjárás, 63. 2. sz. 82—84.
- [2] TAKÁCS O.: A globálisugárzás területi eloszlása Magyarországon mért adatok alapján. Beszámoló az 1971-ben végzett Tudományos kutatásokról XXXVIII. kötet. 521—556.
- [3] MAJOR GY.: A Napsugárzás Magyarországon 1958—1972. Az Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai Magyarország Eghajlata 10. sz.
- [4] ANDERKO A.: A talaj melegének periódusos ingása. Budapest, 1909.
- [5] WAGNER, R.: Temperaturzonen des Bodens. Acta Climatologia, Tomus VII. Fasc. 1—4, 3—15, 1967.
- [6] KÁROSSY Cs.: A Bükk-fennsík talajhőmérsékletének jellemzői. A Szegedi Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei, Szeged, 1974. 61—74.

- [7] WAGNER, R.: Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges, Zeitschrift für Angewandte Meteorologie, Band 5, Heft 3—4, 92—99, 1964.
- [8] KÁROSSY Cs.: Adatok a rövidhullámú sugárzás-forgalom összetevőinek vizsgálatához a Bükk fennsíkön végzett mérések alapján. Szegedi Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei 85—97, 1973.
- [9] KÁROSSY Cs.: Adatok egy bükki töbör rövidhullámú sugárzásviszonyainak vizsgálatához. Acta Iuvenum. Acta Univerzitatatis Szegediensis Tomus Sectio Scientiarum Naturalium 49—52, 1970.
- [10] JAKUCS L.: A karsztok morfofenetikája. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1971.
- [11] VÁROSI J.—MIKLÓS G.: Barlangok elméleti feltárása. Diákköri Dolgozat. Szeged, 1976.
- [12] MIKLÓS G.—VÁROSI J.: Csúsztatásos korrelációval végzett elméleti barlangfeltárás — igazoló mérések a Baradlában. Diákköri Dolgozat. Szeged, 1977.
- [13] TAUBENHEIM J.: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. Leipzig 1969. 245—248.
- [14] AMBRÓZY A.—JÁVOR A.: Mérésadatok kiértékelése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1976.
- [15] ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT Központi Meteorológiai Intézete Évkönyvei CVI, kötet. 1976. 1. rész.
- [16] TOKÁRNÉ RUDAS J.: Vízhozamsorozatok autokorrelációs-függvényei. Hidrológiai Közlöny. 1973. 6. sz. 282.
- [17] EZEKIEL M.—FOX K. A.: Korreláció és regresszió analízis Közgazdasági és Jogi Kiadó. Budapest, 1970. 378.
- [18] KOMAROV—KOCINSZKI: Bányák szellőztetése. Nehézipari Könyvkiadó, Budapest, 1951.
- [19] BERÉNYI D.: Mikroklima vizsgálatok a Tokaji borospincékben. Természettudományi Közlöny 1957. 6. sz.
- [20] BERÉNYI D.—JUSTYÁK J.: A Tokajhegyaljai borospincék mikroklimatikus viszonyai. Acta Geographica Debrecina. 1959. 287.
- [21] BÉLL B.: A levegő áramlása bányákban és barlangokban. Időjárás. 49. évf. 1945. 1—12. sz. 1.
- [22] DÉSI F.—RÁKÓCZI F.: A légkör dinamikája. Tankönyvkiadó 1970. 109—238.
- [23] PÉCZELY Gy.: Éghajlatlan. Egyetemi jegyzet. Szeged, 1977.

## EIN BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER TEMPERATURVERHÄLTNISSE IN DEN LUFTRÄUMEN UNTERHALB DER ERDOBERFLÄCHE

*Csaba Károssy und Gábor Sós*

Die Veränderungen der Klimacharakteristika in temporären oder dynamischen Grotten tragen — bei Voraussetzung einer kontinuierlichen Luftzirkulation — die Veränderungen der Klimaparameter des äusseren Luftraumes an sich. Die kontinuierliche Luft-Zirkulation ist — wenn auch in unterschiedlicher Grössenordnungen jedem offenen Höhlensystem unter der Erdoberfläche nachweisbar. Die von den in das Höhlensystem unter der Erdoberfläche gelangten Luftteilchen im Luftraum oberhalb der Oberfläche erworbenen Klimainformationen lassen sich mit Hilfe der aus der mathematischen Statistik bekannten Methode der Kreuzkorrelations-Funktionsanalyse verfolgen. So kann aus der Änderung der Korrelation auf die von den von der Oberfläche kommenden Luftteilchen zurückgegebte Weglänge und deren Eigentümlichkeiten geschlossen werden.

Mit der Kreuzkorrelations-Berechnungsmethode wurden mit den in umgekehrter Zeitreihe laufenden Werten der Oberflächentemperaturen die ebenfalls in umgekehrter Zeitfolge aufgenommenen Temperaturwerte unter der Erdoberfläche in Korrelation gebracht.

Aus dem An- und Abstieg der Werte der Kreuzkorrelationskoeffizienten wurde auf die Enge der vom Wechsel der Oberflächentemperaturen auf die Temperaturänderungen im unterirdischen Luftraum ausgeübten Wirkung gefolgert. Aus den Veränderungen der Korrelationswerte wurde auf das Vorhandensein periodischer Komponenten geschlossen; die Phasenverzögerungen der periodischen Komponenten liefern die Parameter der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Oberflächen-Energiewirkung unter der Erdoberfläche.

Aufgrund dessen lassen sich aus der Fortbewegungsgeschwindigkeit der Oberflächentemperaturänderungen im unterirdischen Luftraum die Ausmasse des unbekanntes Luftraumes unter der Erdoberfläche errechnen.

## ДАнные К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ВОЗДУШНЫХ ЗОН ПОД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

*Ч. Кароши—Г. Шош*

Изменения климатических свойств проходимых или динамических пещер при наличии постоянной циркуляции воздуха отражают изменения параметров климата наружной воздушной зоны. Постоянную циркуляцию воздуха, хотя и в различной степени, можно выявить у всех открытых пещерных систем. Информацию о климате попавших в пещерную систему частиц воздуха, приобретенную ими над поверхностью земли, мы можем определить методом анализа перекрестно-корреляционной зависимости, известным в математической статистике. Таким образом, по изменению корреляции мы можем установить длину пути, пройденного воздушными частицами, проникающими снаружи, и особенности этого пути.

Методом перекрестно-корреляционных вычислений мы соотнесли величину наружной температуры в обратной последовательности времени с величиной температуры под поверхностью земли, полученной также в обратной последовательности времени.

По возрастанию величины перекрестно-корреляционных коэффициентов и по их уменьшению мы могли определить степень влияния изменений наружной температуры на колебания температуры воздушной зоны в пещерах. Изменения корреляционной величины указывают на присутствие периодических составных; фазисные запаздывания периодических компонентов дают параметры скорости распространения влияния наружной энергии под землей.

На основе всего этого по скорости изменения наружной температуры в воздушной зоне под землей мы можем определить размер неизвестной подземной воздушной зоны.